



NIVEAU D'ÉMISSIONS DE RÉFÉRENCE DES FORÊTS
POUR LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS
DUES À LA DÉFORESTATION
EN RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO

SOUMISSION À LA CONVENTION-CADRE DES NATIONS
UNIES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

JANVIER 2018

PRÉAMBULE

Nul n'est besoin de présenter l'importance de la forêt de la République Démocratique du Congo dans le contexte national ou international. Il est toutefois utile de rappeler que la RDC, précédemment catégorisé comme pays couvert forestier important et faible déforestation, a entamé, depuis 2010 déjà, sa transition vers un taux de déforestation important, la sortant de fait de cette catégorie. Cela représente un défi pour le pays qui s'est engagé, dans sa Stratégie-Cadre Nationale REDD+, à stabiliser le taux de couvert forestier à 63,5%, partant de 67% en 2000. Avec une population croissante et un taux de fécondité qui ne cesse d'augmenter, les études préconisent que la RDC deviendrait, en 2050, le 11^e pays le plus peuplé de la planète.

Touchée par le paradoxe de l'abondance, la RDC, malgré ses immenses richesses naturelles (comme les réserves minières les plus importantes du monde - notamment en termes de minerais destinés aux industries émergentes de la communication et des énergies renouvelables), présente toujours un taux de pauvreté particulièrement élevé qui continue à dépasser 60% dans toutes les provinces du pays. Eu égard aux richesses naturelles et au potentiel de développement, le défi auquel le pays fait face est bien de découpler la croissance économique nécessaire de la déforestation.

Reconnaissant dans le mécanisme REDD+ un levier potentiel de développement durable, la RDC s'est résolument engagée dans ce processus depuis 2009. En effet, au-delà de la mesure financière incitative qu'elle représente, la REDD+ donne au pays l'opportunité de porter le domaine forestier au cœur des débats et des décisions sur le développement économique et social du pays. Ce débat nécessite un outil d'aide à la décision que le Système National de Surveillance des Forêts commence à pourvoir au pays. A cet effet, l'opérationnalisation du SNSF a permis le renforcement de capacités pour la conduite du premier inventaire forestier national complet et pour l'utilisation de la télédétection dans l'analyse de la déforestation et des changements d'affectation des terres, notamment dans le but de construire le Niveau d'Émissions de Référence des Forêts de la RDC.

En plus du renforcement des capacités techniques de la RDC pour la collecte et l'analyse d'informations sur l'état et l'évolution des ressources forestières du pays en vue de favoriser leur gestion durable, le processus de construction et de validation du NERF a également permis de susciter une prise de conscience de la dynamique des forêts ainsi que des menaces qui pèsent sur cette richesse.

L'ensemble de ces efforts, menés par la Direction des Inventaires et Aménagements Forestiers, a été effectué en partenariat avec de nombreuses institutions dont notamment la FAO, JICA et WCS. La structuration et la coordination de ce partenariat, à travers la mise en place de la Plateforme Technique de Concertation du SNSF sous l'égide de la Direction du Développement Durable du Ministère de l'Environnement et Développement Durable, est une innovation fonctionnelle ayant permis l'affectation des appuis techniques et financiers des différents partenaires de manière transparente et efficiente. Son organisation et son fonctionnement, constituant d'ailleurs un apprentissage, ont grandement contribué à la finalisation du NERF après de longues années d'expérimentation et d'évaluation de différentes approches méthodologiques.

En définitive, le développement du SNSF a permis d'établir que la RDC, longtemps considérée comme pays à couvert forestier important et faible déforestation, a de fait commencé une transition vers une

déforestation significative. De plus, la construction du NERF a contribué à la prise de conscience des acteurs et des décideurs de l'ampleur de la menace et de la tâche qui nous incombe collectivement. C'est là la contribution ultime du SNSF et du NERF, que les outils qui y sont associés – le système de surveillance des terres par satellite, l'inventaire forestier national et l'inventaire des gaz à effet de serre – sous-tendent l'aide à la décision et à l'orientation périodique de nos politiques et de nos investissements.

Sans attendre les prochaines évaluations, la RDC a entamé les investissements sur le terrain qui doivent permettre d'infléchir la courbe de déforestation et de maintenir notre contribution en tant que poumon vert de l'Afrique et de la planète.

Amy AMBATOBE NYONGOLO

Ministre de l'Environnement et Développement Durable

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Pays à couvert forestier important, la République Démocratique du Congo s'est **résolument engagée dans le processus de la REDD+ depuis l'année 2009**, œuvrant dès lors à la mise en place des éléments du cadre de Varsovie et des décisions de Cancun sur les sauvegardes. Cet engagement du pays a abouti à la validation en conseil des Ministres de la Stratégie-Cadre Nationale REDD+ qui engage la RDC à contrôler la déforestation afin de maintenir son couvert forestier à 63,5% d'ici 2030. Reconnaisant que, toutes choses égales par ailleurs, la croissance démographique seule (3% en zones rurales et 6% en zones urbaines) a un effet multiplicateur sur la déforestation, la RDC s'est engagée dès le départ à tester des programmes pilotes REDD+ puis à mobiliser dès 2013 un partenariat intersectoriel autour de son plan d'investissement REDD+ dont la mise en œuvre est estimée à plus d'1 Milliard US\$. Afin de mobiliser les financements pour la mise en œuvre des politiques et réformes nécessaires à freiner la transition vers un statut de pays à couvert forestier important et forte déforestation, le choix a été fait de produire un niveau de référence qui quantifie clairement et projette géographiquement les défis auxquels est soumise la forêt.

Pour élaborer son Niveau d'Émissions de Référence pour les Forêts au titre de la Convention-Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique en suivant les recommandations émises par le GIEC dans le Guide des Bonnes Pratiques de l'année 2006, **la RDC a initié un système national de suivi des forêts opérationnel et complet**. Ce système comprend un inventaire forestier national, un inventaire des gaz à effet de serre du secteur forestier national et un système national de surveillance des terres par satellite. **La RDC a décidé de concentrer son premier NERF sur la déforestation**, l'activité pour laquelle les données sont disponibles, transparentes et fiables. **La période de référence du NERF s'étend de l'année 2000 à 2014 et le pays a décidé que sa période d'actualisation ne peut être inférieure à cinq ans**. Toutefois, en fonction de la disponibilité de données plus précises, robustes et cohérentes, le pays pourrait actualiser son NERF endéans une période inférieure à 5 ans. L'année 2000 a été choisie comme année de référence car elle est un point de convergence de la grande majorité de produits cartographiques relatifs aux étendues forestières de la RDC et elle est en outre l'année de référence choisie par la RDC pour sa CPDN au titre de la CCNUCC. L'année 2014 précède l'année charnière entre les phases de préparation et d'investissement de la Stratégie-Cadre Nationale REDD+ de la RDC.

Le NERF se base sur la définition suivante de la forêt, qui a été considérée tout au long du développement du NERF et qui sera également la définition appliquée à l'IGES et à l'Annexe Technique du BUR : la forêt est **l'ensemble des terres occupant une superficie de plus de 0,5 hectares, avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à trois mètres avec un couvert arboré de plus de 30%, ou avec des arbres capables d'atteindre ces seuils in situ**. La déforestation est quant à elle définie comme la conversion d'une terre forestière vers une terre non forestière. Les terres forestières comprennent 4 types d'occupation du sol à savoir **la forêt dense humide sur terre ferme, la forêt dense humide sur sol hydromorphe, la forêt secondaire et la forêt sèche ou forêt claire**, tel que retenu dans la stratification nationale du pays. Celle-ci est basée sur **le guide opérationnel de la stratification forestière en RDC** et sur une comparaison exhaustive des différentes cartes d'occupation du sol à l'échelle du territoire national.

L'analyse historique des données d'activités pour la période de référence 2000-2014 est basée sur l'utilisation d'images satellites de type Landsat (30 m de résolution spatiale). Une **définition opérationnelle** de la forêt a été retenue lors de l'estimation des données d'activités. La définition opérationnelle de la forêt considère une superficie forestière de la taille d'un carré de 30 m de côté, soit

0,09 ha, pour être cohérent avec l'échelle à laquelle la déforestation est détectée sur les images Landsat utilisées pour la cartographie de la forêt stable, de la non-forêt stable et de la déforestation. La définition opérationnelle considère en outre une couverture de canopée de l'ordre de 50%, soit la règle de la majorité, qui est plus aisée à identifier techniquement, par comparaison au seuil de 30%, lors de l'analyse visuelle des points de référence sur des images à haute et très haute résolution spatiale pour l'estimation des superficies forestières et de déforestation. Cette définition opérationnelle de la forêt ne prend pas en compte de manière explicite la hauteur des arbres. **Cependant, la définition opérationnelle de la forêt qui a été adoptée permet de réduire les erreurs d'estimation des données d'activités, ce qui améliore la précision du NERF, au même moment qu'elle se révèle être plus pertinente pour le suivi de l'évolution de la couverture forestière en RDC à l'échelle des principaux moteurs directs de la déforestation, dans le cadre des efforts du pays pour la gestion durable des forêts.** Il existe en effet **un consensus national sur les moteurs de la déforestation** en RDC, dont les principales causes directes sont l'agriculture itinérante sur brûlis, l'exploitation artisanale du bois, la carbonisation et le bois-énergie/bois de chauffe, des activités se déroulant à petite échelle d'un point de vue spatial.

La RDC a en outre décidé d'inclure la **biomasse aérienne et la biomasse souterraine** comme principaux compartiments du carbone forestier dans la construction de son NERF. La biomasse souterraine a été estimée à partir de la biomasse aérienne selon les recommandations du GIEC. **Le CO₂ est le seul gaz** qui a été retenu pour la construction du NERF de la RDC. Les estimations du stock de carbone forestier dans les différentes strates forestières retenues s'appuient sur des équations allométriques permettant de convertir les mesures biophysiques de terrain (dimensions des arbres, identification des espèces, etc.) en tonnes d'équivalent CO₂. En l'absence d'équations allométriques nationales ou régionales disponibles pour les forêts tropicales africaines, le pays a décidé d'utiliser **l'équation pantropicale de Chave et al. (2014)** pour la construction du NERF. Celle-ci a été préférée à **l'équation Chave et al. (2005)** car elle intègre des données de biomasse de 1 006 arbres d'Afrique tropicale, y compris des essences forestières d'Afrique centrale. **Pour la RDC, les facteurs d'émissions sont calculés en prenant en compte l'état post déforestation de l'occupation du sol.** Les émissions de CO₂ durant la période de référence ont été estimées à 351,41 MtCO_{2e} ± 38,23 MtCO_{2e} pour la période 2000-2010 et à 829,56 MtCO_{2e} ± 84,71 MtCO_{2e} pour la période 2010-2014. Enfin, **le NERF est construit grâce à une extrapolation des émissions de la période de référence.** Celle-ci est une **projection linéaire, simple, transparente, intuitive et facilement reproductible.** L'extrapolation pour les émissions issues de la déforestation est essentiellement liée à ses causes indirectes (la croissance démographique et le développement des infrastructures) qui ont un effet multiplicateur sur les causes directes ; on anticipe que celles-ci évolueront selon un scénario de type *business-as-usual* durant la période comptable du NERF (2015-2019). Le NERF extrapolé a ainsi été estimé à 1 042 MtCO_{2e} pour l'année 2015, 1 113 MtCO_{2e} pour l'année 2016, 1 184 MtCO_{2e} pour l'année 2017, 1 255 MtCO_{2e} pour l'année 2018 et 1 326 MtCO_{2e} pour l'année 2019.

Le plan d'amélioration du NERF est décliné sous différentes perspectives dont (1) la réduction de l'erreur autour de l'estimation des données d'activités, notamment l'erreur d'interprétation des échantillons liée à la variabilité pouvant exister entre opérateurs dans l'attribution d'une classe d'occupation du sol à un même échantillon de référence. Cette source d'erreur sera ainsi estimée – et intégrée aux intervalles de confiance – en mettant en place une procédure de réinterprétation d'une certaine proportion des échantillons de référence par l'ensemble des opérateurs ; (2) l'augmentation du nombre de parcelles de terrain pour améliorer les estimations de biomasse par strate forestière, dans le cadre d'un inventaire forestier national dont les résultats sont attendus en fin d'année 2018 ; (3) l'intégration d'autres réservoirs tels que la litière,

le bois mort et le carbone organique du sol, dont les informations pour l'estimation de la biomasse seront compilées durant l'inventaire forestier national en cours et (4) l'exploration des possibilités d'intégration de la dégradation forestière, notamment occasionnée par l'exploitation industrielle du bois et la collecte du bois de chauffe.

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Bey, A., Sánchez-Paus Díaz, A., Maniatis, D., Marchi, G., Mollicone, D., Ricci, S., Bastin, J.-F., Moore, R., Federici, S., Rezende, M., Patriarca, C., Turia, R., Gomoga, G., Abe, H., Kaidong, E., Miceli, G. 2016. Collect Earth: Land Use and Land Cover Assessment through Augmented Visual Interpretation. *Remote sensing*, 8(10), 807.

Biloso, A., 2008. Valorisation des produits forestiers non ligneux des plateaux de Bateke en peripherie de Kinshasa (RD Congo). Thèse doctorale en Service d'Ecologie du Paysage et Systèmes de Production Végétale. Université Libre de Bruxelles (ULB), inédit, 252p.

Breiman, L. 2001. Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5-32.

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M.A., Chambers, J.Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145:87-99.

Chave, J. Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S.L., Swenson, N.G., Zanne, A.E. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12(4) : 351-366.

Chave, J. , Réjou-Méchain, M. , Búrquez, A. , Chidumayo, E. , Colgan, M.S., Delitti, W.B.C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P.M., Goodman, R.C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W.A., Muller-Landau, H.C., Mencuccini, M., Nelson, B.W., Ngomanda, A., Nogueira, E.M., Ortiz-Malavassi, E., Pélissier, R., Ploton, P., Ryan, C.M., Saldarriaga, J.G. et Vieilledent, G. 2014. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20(10):3177-3190.

CIA. 2010. The World Factbook. US Government Printing Office.

De Saint Moulin, L. 2006. Analyse par territoire et ville des résultats de l'enrôlement des électeurs et du référendum sur le projet de constitution. Congo-Afrique, Numéro Spécial:9-29.

Defourny, P., Delhage, C., and Kibambe Lubamba, J.-P. 2011. Analyse quantitative des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en République Démocratique du Congo. Technical report, Earth and Life Institute - Environment - Université catholique de Louvain.

DIAF-JICA. 2015. Rapport de Projet. Ministère de l'Environnement et Développement Durable.

Duveiller, G., Defourny, D., Desclée, B., Mayaux, P. 2008. Deforestation in Central Africa. Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts. *Remote Sensing of Environment*, 112: 1969-1981.

Ernst, C., Mayaux, P., Verhegghen, A., Bodart, C., Musamapa, C., 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.

FAO. 2016. Guide pratique pour l'évaluation de la précision des cartes et l'estimation des surfaces de la FAO.

FAO. 2001. Global forest resources assessment 2000. Technical report, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Feldpausch, T.R., Rondon, M.A., Fernandes, E.C.M. and Riha, S.J. 2004. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia. *Ecological Applications* 14: 164-176

Geist, H.J., Lambin, E.F. 2002. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *Bioscience*, 52(2): 143-150.

Germain, R., 1956, L'état actuel, les projets et les méthodes de la cartographie détaillée de la végétation au Congo Belge. Rapport final de la réunion de spécialistes en Phytogéographie, Yangambi, du 29 juillet au 8 août 1956, C.C.T.A./C.G.A.

- GFOI. 2016. Integrating remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observation Initiative. Edition 2.0. Food and Agriculture Organization, Rome.
- GIEC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 4, Chap. 4 : 83pp.
- GIEC. 2003. Recommandations en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie, 594 pp.
- GTCR (Société Civile). 2011, 2012. Etude sur les moteurs de la déforestation et de la dégradation des forêts en RDC – Analyse qualitative.
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S., Tyukavina, A., ... & Kommareddy, A. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850-853.
- Herderschee, J., Kaiser, K.-A., Samba Mukoko, D. 2012. Résilience d'une Géant Africain – Accélérer la croissance et promouvoir l'emploi en République Démocratique du Congo, Vol. 1, Chap. Synthèse, Contexte Historique et Macroéconomique, pp 1-352. Médiaspaul.
- Houghton, R.A., Hall, F., Goetz, S.J., 2009. Importance of biomass in the global carbon cycle. *J. Geophys. Res. Biogeosciences* 114
- ITTO. 2006. The database of Tropical Industrial Lasser-Used Wood Species - Reference guide to Tropical Timber Species" Nagoya University Museum, ITTO/PD58/97, 2006.
- Kachaka, E., Y., 2014. Carbone stocké dans un essai de provenances d'Acacia mangium à Ibi Village sur le plateau des Batéké en République Démocratique du Congo. Mémoire de maîtrise en agroforesterie. Université Laval, inédit, 111p.
- Kibambe Lubamba, J.-P. 2013. Modeling the Forest Cover Loss in Democratic Republic of the Congo – Methods Development and Application at National Scale. PhD Thesis, Université Catholique de Louvain, 177 pp.
- Marien, J.-N., Dubiez, E., Louppe, D., Larzillière, A., 2013. Quand la ville mange la forêt – Les défis du bois-énergie en Afrique central. Editions Quae.
- MECNT. 2012. Synthèse des études sur les causes de la déforestation et la dégradation des forêts en République Démocratique du Congo.
- Morton, D.C., Nagol, J., Carabajal, C.C., Rosette, J., Palace, M., Cook, B.D., Vermote, E.F., Harding, D.J., North, P.R.J. 2014. Amazon forests maintain consistent canopy structure and greenness during the dry season. *Nature* 506, 221–224.
- Nsombo, B., M., 2016. Évolution des nutriments et du carbone organique du sol dans le système agroforestier du plateau des Bateke en République Démocratique du Congo. Thèse doctorale en Aménagement et gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux. ERAIFT, inédit, 198p.
- Olofsson, P., Foody, G.M., Herold, M., Stehman, S.V., Woodcock, C.E., Wulder, M.A. 2014. Remote Sensing of Environment, 148 : 42-57.
- Plan d'investissement REDD+ (2015-2020), Version du 23 novembre 2015, Soumise au second Conseil d'Administration de CAFI du 7 décembre 2015. République Démocratique du Congo.
- PNUE. 2011. Analyse de terrain des facteurs de la déforestation, dans le cadre du Programme « Evaluation environnementale post-conflit ».
- Potapov, P.V., Turubanova, S.A., Hansen, M.C., Adusei, B., Broich, M., Altstatt, A., Mane, L., Justice, C.O. 2012. Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000–2010, with Landsat ETM + data. *Remote Sensing of Environment*, 122: 106-116.

- Réjou-Méchain, M., Tanguy, A., Piponiot, C., Chave, J., Hérault, B. 2017. Biomass: an r package for estimating above-ground biomass and its uncertainty in tropical forests. *Ecology and Evolution*, 8(9) : 1163-1167.
- Schmitz A., 1977, Atlas des formations végétales du Shaba, Fondation Universitaire Luxembourgeoise, Arlon, Belgique.
- SPIAF (Service Permanent d’Inventaire et d’Aménagement Forestiers). 2007. Guide Operationnel – Normes de Stratification Forestière.
- Tyukavina, A., Baccini, A., Hansen, M.C., Potapov, P.V., Stehman, S.V., Houghton, R.A., Krylov, A.M., Turubanova, S., Goetz, S.J. 2015. Aboveground carbon loss in natural and managed tropical forests from 2000 to 2012. *Environ. Res. Lett.* 10(7).
- Vancutsem, C., Pekel, J.-F., Evrard, C., Malaisse, F., and Defourny, P. 2008. Mapping and characterizing the vegetation types of the Democratic Republic of Congo using SPOT VEGETATION time series. *International Journal Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11 (1):62-76.
- Verhegghen, A., Mayaux, P., de Wasseige, C., and 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.
- Zarnoch, S.J., Bechtold, W.A. 2000. Estimating mapped-plot forest attributes with ratios of means. *Canadian Journal of Forest Research*, 30: 688-697.

ABRÉVIATIONS

AGB	: <i>Above Ground Biomass</i> – Biomasse épigée
APA	: Argileux Peu Actifs
AT	: Autres Terres
BGB	: <i>Below Ground Biomass</i> – Biomasse souterraine
BMUB	: Ministère Fédéral Allemand de l’Environnement, de la Protection de la Nature, de la Construction et de la Sécurité Nucléaire
CPDN	: Contribution nationale Prévue Déterminée au niveau National au titre de la CCNUCC
CAFI	: <i>Central Africa Forest Initiative</i> – Initiative pour la Forêt d’Afrique Centrale
CCNUCC	: Convention-Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique
CIF	: <i>Climate Investment Fund</i> – Fonds d’Investissement Climat
CM&M	: <i>Carbon Map and Model</i> – Carte de Carbone et Modèle
CN-REDD	: Coordination Nationale REDD de la République Démocratique du Congo
COS	: Carbone Organique du Sol
CRCA	: Culture et Régénération de Culture Abandonnée
Cu	: Culture
DA	: Données d’Activités
DDD	: Direction de Développement Durable
De	: Terrain dénudé
DHC	: Forêt dense Humide semi-Caducifoliée
DHM	: Forêt dense Humide de Hontagne
DHP	: Diamètre à Hauteur de Poitrine
DHS	: Forêt dense Humide Sempervirente de basse et moyenne altitude
DIAF	: Direction des Inventaires et Aménagements Forestiers
DS	: Forêt dense Sèche de basse et moyenne altitude
DSCR	: Document Stratégique-Cadre pour la Réduction de la Pauvreté
DSM	: Forêt dense Sèche de Montagne
Ea	: Eau
ET	: Établissement
ETM+	: Enhanced Thematic Mapper Plus
FAO	: <i>Food and Agriculture Organization</i> – Organisation des Nations Unies pour l’Alimentation et l’Agriculture
FC	: Fraction de carbone ou Forêt Claire
FCPF	: <i>Forest Carbon Partnership Facility</i> – Facilitation du partenariat pour le carbone forestier
FDH	: Forêt Dense Humide
FDHSH	: Forêt Dense Humide sur Sol Hydromorphe
FDHTF	: Forêt Dense Humide sur Terre Ferme
FE	: Facteur d’Émission
FG	: Forêt Galerie
FM	: Forêt sur sol hydromorphe

FONAREDD	: Fonds National REDD de la RDC
FSc	: Forêt Secondaire
FSFC	: Forêt Sèche ou Forêt Claire
GEE	: <i>Google Earth Engine</i>
GES	: Gaz à Effet de Serre
GFA	: <i>GFA Consulting Group</i>
GFOI	: <i>Global Forest Observation Initiative</i> – Initiative Globale pour l’Observation de la Forêt
GIEC	: Groupe Intergouvernemental d’Experts sur l’Évolution du Climat
GTCR	: Groupe de Travail Climat REDD
ICRAF	: <i>World Agroforestry Centre</i>
IGES	: Inventaire des Gaz à Effet de Serre
SPIAF	: Service Permanent d’Inventaires et Aménagements Forestiers
IKI	: Initiative Internationale pour le Climat de la BMUB
JAFTA	: <i>Japanese Forest Technology Association</i> – Association Japonaise pour la Technologie Forestière
JICA	: <i>Japanese International Cooperation Agency</i> – Agence Japonaise de Coopération Internationale
JRC	: <i>Joint Research Center</i> – Centre Commun de Recherche de la Commission Européenne
KfW	: Banque Allemande de Développement
LiDAR	: <i>Light Detection And Ranging</i>
Lo	: Localité
MECNT	: Ministère de l’Environnement Conservation de la Nature et Tourisme
MEDD	: Ministère de l’Environnement et Développement Durable
MOM	: Matière Organique Morte
NDC	: <i>Nationally Determined Contribution</i> – Contribution Déterminée Nationale
NDVI	: <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> – Indice de végétation par différence normalisée
NERF	: Niveau d’Émissions de Référence pour les Forêts
OLI	: <i>Operational Land Imager</i>
OSFAC	: Observatoire Satellital des Forêts d’Afrique Centrale
PI	: Plan d’Investissement
PIF	: Programme d’Investissement Forestier
PRE	: Programme de Réduction des Émissions
PRE-IFN	: Pré-Inventaire Forestier National
PTC	: Plateforme Technique de Concertation
R-PP	: <i>Readiness Preparation Plan</i>
RSR	: <i>Root-Shoot-Ratio</i> – Ratio Tige-Racine
SA	: Forêt Secondaire Adulte
SEPAL	: <i>System for Earth Observation Data Access, Processing and Analysis for Land Monitoring</i>
SJ	: Forêt Secondaire Jeune
SMC	: <i>Southern Mapping Company</i>
SNSF	: Système National de Surveillance des Forêts
SOS	: Section d’Occupation du Sol
TC	: Terres Cultivées
TF	: Terres Forestières
TH	: Terres Humides

TM	: <i>Thematic Mapper</i>
tMS	: Tonne de Matière Sèche
UCLA	: <i>University of California at Los Angeles</i> – Université de Californie à Los Angeles
UE	: Unité d’Echantillonnage
WCS	: <i>Wildlife Conservation Society</i> – Société de Conservation de la Faune Sauvage
WWF	: <i>World Wildlife Fund</i> – Fonds Mondial pour la Nature

TABLE DES MATIÈRES

PRÉAMBULE	I
RÉSUMÉ EXÉCUTIF	III
DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	VI
ABRÉVIATIONS	IX
TABLE DES MATIÈRES	XII
LISTE DES FIGURES.....	XV
LISTE DES TABLEAUX	XVI
LISTE DES ANNEXES	XVII
1 INTRODUCTION.....	1
1.1 La République Démocratique du Congo : Pays à couvert forestier important et à déforestation croissante	1
1.2 Objectifs de la soumission du NERF	3
1.3 Processus d'élaboration et partenaires	3
1.4 Chronologie de la construction du NERF	4
1.5 Structure du document de soumission du NERF de la RDC	4
2 EFFORTS REDD+ AU NIVEAU NATIONAL ET DÉFORESTATION	6
2.1 Contexte de la REDD+ en RDC	6
2.2 Moteurs de la déforestation en RDC.....	7
2.3 Perspectives de la REDD+ en RDC.....	8
2.4 Initiatives nationales de construction des données d'activités et des facteurs d'émissions	12
2.4.1 Projet DIAF-JICA Forêts.....	12
2.4.2 Programme de réduction des émissions du Mai-Ndombe.....	12
2.4.3 Projet de cartographie de la biomasse forestière par LiDAR aéroporté (<i>Carbon Map and Model</i>).....	12
3 DÉFINITIONS	13
3.1 Définition de la forêt.....	13
3.2 Opérationnalisation de la définition de la forêt pour l'estimation des données d'activités et des facteurs d'émissions.....	14
3.3 Description des catégories d'utilisation des terres et des strates forestières nationales	15
3.3.1 Catégories d'utilisation des terres	15
3.3.1.1 Forêt dense humide sur terre ferme (FDTF)	16
3.3.1.2 Forêt dense humide sur sol hydromorphe (FDHSH)	16
3.3.1.3 Forêt secondaire (FSc).....	17
3.3.1.4 Forêt sèche ou forêt claire (FSFC)	17
3.3.1.5 Savane	17
3.3.1.6 Culture Pérenne (CP)	18
3.3.1.7 Culture et régénération de culture abandonnée (CRCA)	18
3.3.1.8 Zone d'eau.....	18
3.3.1.9 Agglomération	18

3.3.1.10	Autres terres.....	18
3.4	Définitions des activités REDD+ pour le NERF.....	19
4	ÉCHELLE ET PORTÉE	21
4.1	Échelle du NERF	21
4.2	Portée des activités REDD+	21
4.3	Portée des réservoirs de carbone.....	24
4.3.1	Biomasse vivante	24
4.3.2	Matière organique morte	24
4.3.2.1	Le bois mort.....	24
4.3.2.2	La litière	24
4.3.3	Sols.....	24
4.4	Portée des gaz pris en compte	25
5	PÉRIODE DE RÉFÉRENCE ET DE VALIDITÉ DU NERF	26
5.1	Période de référence du NERF.....	26
5.2	Période de validité	27
6	LES DONNÉES D'ACTIVITÉS.....	28
6.1	Approche générale.....	28
6.2	Sources des données	29
6.3	ÉTAPE 1: Composition des mosaïques	29
6.3.1	Sélection des scènes	30
6.3.2	Assemblage des scènes.....	30
6.4	ÉTAPE 2: Établissement du modèle de changement.....	31
6.5	ÉTAPE 3 : Génération de la carte des changements	32
6.5.1	Carte forêt / non-forêt.....	32
6.5.2	Carte des changements entre les années 1 et 2.....	32
6.6	ÉTAPE 4 : Établissement du système de réponse.....	32
6.6.1	Unité d'évaluation spatiale	32
6.6.2	Sources des données de référence	33
6.6.3	Protocole d'assignation des classes aux points de référence.....	33
6.6.4	Règles d'accord entre échantillons de référence et valeur carte.....	33
6.7	ÉTAPE 5 : Système d'échantillonnage.....	34
6.8	ÉTAPE 6 : Interprétation des échantillons de référence	35
6.9	ÉTAPE 7 : Production des statistiques	35
6.9.1	Estimation des surfaces de forêt stable, de non-forêt stable et de déforestation.....	35
6.9.2	Désagrégation de la déforestation en données d'activités.....	35
6.10	Analyse des incertitudes	36
6.10.1	Incertitude sur les estimations de déforestation.....	36
6.10.2	Incertitude sur les proportions des transitions.....	37
6.10.3	Incertitude totale sur les données d'activités.....	37
6.11	Résultats des données d'activités	38
7	LES FACTEURS D'ÉMISSIONS.....	40
7.1	Sources des données	40
7.2	ÉTAPE 1 : Compilation des données	41
7.3	ÉTAPE 2 : Estimation de la biomasse.....	42
7.3.1	Distribution des UE par classe d'occupation du sol	42

7.3.2	Estimation de la densité de bois	42
7.3.3	Estimation des hauteurs d'arbres	43
7.3.4	Estimation de l'AGB des arbres.....	43
7.3.5	Estimation de l'AGB des classes d'occupation du sol.....	43
7.3.6	Estimation de la biomasse souterraine.....	44
7.3.7	Estimation de la biomasse totale	44
7.4	ÉTAPE 3 : Calcul des facteurs d'émissions	46
7.5	ÉTAPE 4 : Analyse de l'incertitude	46
7.5.1	Erreur sur les estimations d'AGB moyennes des classes d'occupation du sol.....	46
7.5.1.1	Sources d'erreurs	46
7.5.1.2	Procédure d'estimation de l'erreur totale.....	47
7.5.2	Conversion des AGB _{10cm} moyennes des classes d'occupation du sol en facteur d'émission	47
7.5.2.1	Erreur sur la conversion d'AGB _{10cm} en AGB _{1cm}	47
7.5.2.2	Erreur sur l'estimation de la biomasse souterraine.....	47
7.5.2.3	Erreur sur l'estimation de la biomasse totale	47
7.5.2.4	Erreur sur la conversion de la biomasse totale en stock de carbone	48
7.5.2.5	Erreur sur la conversion de stock de carbone en équivalent CO ₂	48
7.6	Résultats des estimations des facteurs d'émissions	48
8	LES ÉMISSIONS HISTORIQUES	50
8.1	Calcul des émissions	50
8.2	Analyse de l'incertitude.....	51
8.3	Résultats des estimations des émissions	52
9	LE NIVEAU D'ÉMISSIONS DE RÉFÉRENCE POUR LES FORÊTS	54
9.1	Justification de l'approche d'extrapolation	54
9.2	Extrapolation des émissions historiques	56
9.3	Le NERF.....	58
10	PLAN D'AMÉLIORATION DU NERF	59
11	ANNEXES.....	62
	Annexe 1- Établissement du système de réponse pour l'encodage et l'interprétation des points de référence.	63
	Annexe 2 - Nombre d'échantillons théorique, pratique et répartition des échantillons à l'échelle des provinces..	68
	Annexe 3 - Calcul des données d'activités et des erreurs associés entre 2000 et 2010 pour la province du Kwango	74
	Annexe 4 - Méthodologie de l'inventaire forestier du Projet DIAF-JICA Forêts.....	78
	Annexe 5 - Document technique de construction du NERF des provinces de Mai-Ndombe, Kwilu et Kwango...	89
	Annexe 6 - Programme de Réduction des Émissions du Maï-Ndombe.....	125
	Annexe 7 - Projet Carbon Map and Model de WWF pour la cartographie de la biomasse forestière LiDAR par Télédétection LiDAR aéroporté.....	133
	Annexe 8 - Méthodologie de production de la carte de stratification nationale	149
	Annexe 9 - Méthodologie du Pré-Inventaire Forestier National	150

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1-1 : Courbe de transition forestière – Adaptée de Conrad (2007) (Plan d’Investissement REDD+ RDC, 2015).</i>	2
<i>Figure 2-1 : Causes directes et indirectes de la perte de couverture forestière en RDC (Adapté de Geist et Lambin, 2002).</i>	7
<i>Figure 2-2 : Points chauds de la déforestation au niveau national (Plan d’Investissement REDD+ RDC, 2015).</i>	10
<i>Figure 6-1 : Approche méthodologique générale pour la production des données d’activités.</i>	29
<i>Figure 6-2 : Blocs de saisonnalité homogène des forêts congolaises.</i>	31
<i>Figure 6-3 : Organisation hiérarchique des classes d’occupation du sol attribuées aux points de référence à chaque année d’interprétation.</i>	33
<i>Figure 7-1 : Approche méthodologique générale pour le calcul des facteurs d’émissions.</i>	40
<i>Figure 9-1 : Extrapolation du NERF.</i>	57

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3-1 : Stratification nationale de la RDC.	16
Tableau 3-2 : Matrice de conversion d'affectation des terres. Acronymes des classes d'occupation du sol : FDHSH (forêt dense humide sur sol hydromorphe), FDHTF (forêt dense humide sur terre ferme), FSFC (forêt sèche ou forêt claire), FSc (forêt secondaire), CRCA (culture et régénération de culture abandonnée).	20
Tableau 4-1 : Justification des sources et puits comptabilisés dans les activités REDD+ pour le NERF.	22
Tableau 6-1 : Scènes utilisées pour la génération des mosaïques des années 2000, 2010 et 2014 (LT5 = Landsat 5 TM, LE 7 : Landsat 7 ETM+, LC 8 : Landsat 8).	30
Tableau 6-2 : Nombre de points collectés dans Google Earth Engine pour calibrer les modèles de détection de changement pour chaque grand bloc du pays (Nord, Centre et Sud) et chaque période d'analyse.	31
Tableau 6-3 : Synthèse nationale de l'allocation des échantillons de référence aux strates i des cartes des changements. L'échantillonnage étant réalisé à l'échelle provinciale, le détail des allocations par province est fourni en Annexe 2-C.	34
Tableau 6-4 : Estimation des données d'activités (en ha/an) pour la province de Kwango entre 2000-2010. « DEPUIS » et « VERS » designent les classes de départ et d'arrivée des transitions, respectivement. Acronymes des classes d'occupation du sol : FDHSH (forêt dense humide sur sol hydromorphe), FDHTF (forêt dense humide sur terre ferme), FSFC (forêt sèche ou forêt claire), FSc (forêt secondaire), CRCA (culture et régénération de culture abandonnée).	36
Tableau 6-5 : Estimation des données d'activités (en ha/an) au niveau national entre 2000-2010 et 2010-2014. « DEPUIS » et « VERS » désignent les classes de départ et d'arrivée des transitions, respectivement. Acronymes des classes d'occupation du sol : FDHSH (forêt dense humide sur sol hydromorphe), FDHTF (forêt dense humide sur terre ferme), FSFC (forêt sèche ou forêt claire), FSc (forêt secondaire), CRCA (culture et régénération de culture abandonnée).	39
Tableau 7-1 : Sources de données	41
Tableau 7-2 : Superficies inventoriées et nombre de SOS par classe d'occupation du sol. Acronymes des classes d'occupation du sol : FDHSH (forêt dense humide sur sol hydromorphe), FDHTF (forêt dense humide sur terre ferme), FSFC (forêt sèche ou forêt claire), FSc (forêt secondaire), CRCA (culture et régénération de culture abandonnée).	42
Tableau 7-3 : Estimation des valeurs de biomasse par strate. Acronymes des classes d'occupation du sol : FDHSH (forêt dense humide sur sol hydromorphe), FDHTF (forêt dense humide sur terre ferme), FSFC (forêt sèche ou forêt claire), FSc (forêt secondaire), CRCA (culture et régénération de culture abandonnée).	45
Tableau 7-4 : Facteurs d'émissions par type de transition entre classes d'occupation du sol.	49
Tableau 8-1 : Emissions annuelles par activité, intervalle de confiance et erreur relative pour les périodes 2000-2010 et 2010-2014.	53
Tableau 9-1 : Table de calcul du NERF.	58

LISTE DES ANNEXES

<i>Annexe 1- Établissement du système de réponse pour l'encodage et l'interprétation des points de référence.</i>	63
<i>Annexe 2 - Nombre d'échantillons théorique, pratique et répartition des échantillons à l'échelle des provinces</i>	68
<i>Annexe 3 - Calcul des données d'activités et des erreurs associés entre 2000 et 2010 pour la province du Kwango</i>	74
<i>Annexe 4 - Méthodologie de l'inventaire forestier du Projet DIAF-JICA Forêts</i>	78
<i>Annexe 5 - Document technique de construction du NERF des provinces de Mai-Ndombe, Kwilu et Kwango</i>	89
<i>Annexe 6 - Programme de Réduction des Émissions du Mai-Ndombe</i>	125
<i>Annexe 7 - Projet Carbon Map and Model de WWF pour la cartographie de la biomasse forestière LiDAR par Télédétection LiDAR aéroporté</i>	133
<i>Annexe 8 - Méthodologie de production de la carte de stratification nationale</i>	149
<i>Annexe 9 - Méthodologie du Pré-Inventaire Forestier National</i>	150

1 INTRODUCTION

Le présent document récapitule de manière détaillée les aspects fondamentaux de la construction et de la quantification du Niveau d'Émissions de Référence des Forêts (NERF) de la République Démocratique du Congo (RDC), ainsi que de ses différentes composantes. La construction du NERF de la RDC est guidée par les Lignes Directrices du GIEC 2006. La RDC a décidé, sur une base volontaire, de soumettre son NERF à la Convention-Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC) en 2018.

Le NERF de la RDC couvre l'ensemble du territoire national, avec une période de référence comprise entre les années 2000 et 2014. L'unique activité visée par ce NERF est la déforestation et les données d'activités y relatives sont calculées au niveau des provinces, pour ensuite être agrégées au niveau national. Les facteurs d'émissions sont quant à eux dérivés à l'échelle nationale à partir des transitions des classes forestières vers des classes non forestières. Les réservoirs considérés dans le NERF sont la biomasse aérienne et la biomasse souterraine et le CO₂ est le seul gaz pris en compte. Les justifications de la portée des activités, des réservoirs et des gaz pris en compte sont présentées au Chapitre 4.

1.1 La République Démocratique du Congo : Pays à couvert forestier important et à déforestation croissante

La République Démocratique du Congo est un vaste pays au cœur de l'Afrique, couvrant une superficie estimée à 2 345 409 km², soit une étendue équivalente à celle de l'Europe de l'Ouest. La RDC est ainsi le plus grand pays au Sud du Sahara et le plus peuplé d'Afrique Centrale, avec une population estimée à plus de 80 millions d'habitants, dont près de 70% dépendant quasi exclusivement des ressources forestières pour leur survie. Environ 67% du territoire national de la RDC est couvert de forêts tropicales, représentant 60% des forêts du Bassin du Congo et près de 10% de cette ressource au niveau mondial. La RDC est ainsi le second pays forestier tropical au monde.

Les forêts congolaises sont réparties de part et d'autre de la ligne équatoriale et comprennent ainsi des écosystèmes variés. Les forêts humides sempervirentes et semi-décidues occupent une bonne partie des régions du centre et de l'ouest, de vastes étendues de forêts édaphiques poussent dans le nord-ouest, le long du fleuve Congo et de ses affluents, tandis que des forêts de pré-montagne et de montagne s'étendent sur les plateaux de l'est et sur les versants des Monts Mitumba. Le massif forestier le plus riche et d'un seul tenant (environ 100 millions d'hectares) est circonscrit dans la cuvette centrale (Communication nationale #3, 2015).

Le taux de déforestation sur les 30 dernières années en RDC a toujours été considéré comme étant relativement faible en comparaison à celui d'autres pays forestiers tropicaux. Pour la période 1990-2000, le taux annuel de déforestation a été estimé à 0,4% par la FAO (2001), à 0,25% ± 0,06% par Duveiller et *al.* (2008) et à 0,15 % ± 0,02% par Ernst et *al.* (2013). Entre 2000 et 2005, Ernst et *al.* (2013) rapportent ce taux à 0,32% ± 0,05%, soit deux fois plus que durant la décennie précédente. Sur la même période, Potapov et *al.* (2012) rapportent une déforestation annuelle de 0,22%, et de 0,25% pour la période 2005-2010, soit une augmentation de 14% entre les 2 périodes. Sur l'ensemble de la période 2000 – 2010, Potapov et *al.*

(2012) rapportent une déforestation annuelle de 0,23% (soit 3 711,8 Kha). La même équipe de recherche rapportera, l'année suivante, un taux de déforestation de 0,27% (soit 5 896,3 kha) pour la période 2000 – 2012 (Hansen et *al.*, 2013), laissant présager une accélération substantielle de la déforestation entre 2010 et 2012. Enfin, dans sa 3^{ème} communication nationale en 2015, la RDC a indiqué que le rythme de la déforestation et de la dégradation des forêts s'est maintenu en dessous des moyennes mondiales, soit entre 0,2% et 0,3% sur les 20 dernières années, contre 0,6% de moyenne mondiale.

En 2015, Tyukavina et *al.* ont revu à la hausse les estimations publiées dans Hansen et *al.* (2013) et ont rapporté une déforestation annuelle de l'ordre de 9 680 kha entre 2000 et 2012 (soit 65% d'augmentation). Cette augmentation importante est résultante d'un basculement d'ordre méthodologique de l'état de l'art relatif au suivi de la déforestation par satellite suite à l'introduction des bonnes pratiques décrites dans Olofsson et *al.* (2013). Ce changement ne remet pas fondamentalement en cause la position de la RDC par rapport à celle des autres pays quant au taux de déforestation relativement bas, mais permet de corriger un biais dans l'estimation des surfaces concernées par la déforestation. À l'échelle de l'Afrique Tropicale Humide, Tyukavina et *al.* (2015) montrent par exemple que la déforestation est près de deux fois supérieure (+92%) aux estimations publiées deux années plus tôt dans Hansen et *al.* (2013).

Les différentes estimations de la déforestation en RDC durant les dernières décennies positionnent donc le pays comme un pays à couvert forestier important et à déforestation croissante. Cette évolution pointe vers un risque de glissement du pays dans la courbe de transition forestière, ce qui se traduirait par une accélération très forte des dynamiques de perte de couverture forestière dans les années à venir, à l'image d'autres pays tropicaux (Figure 1-1).

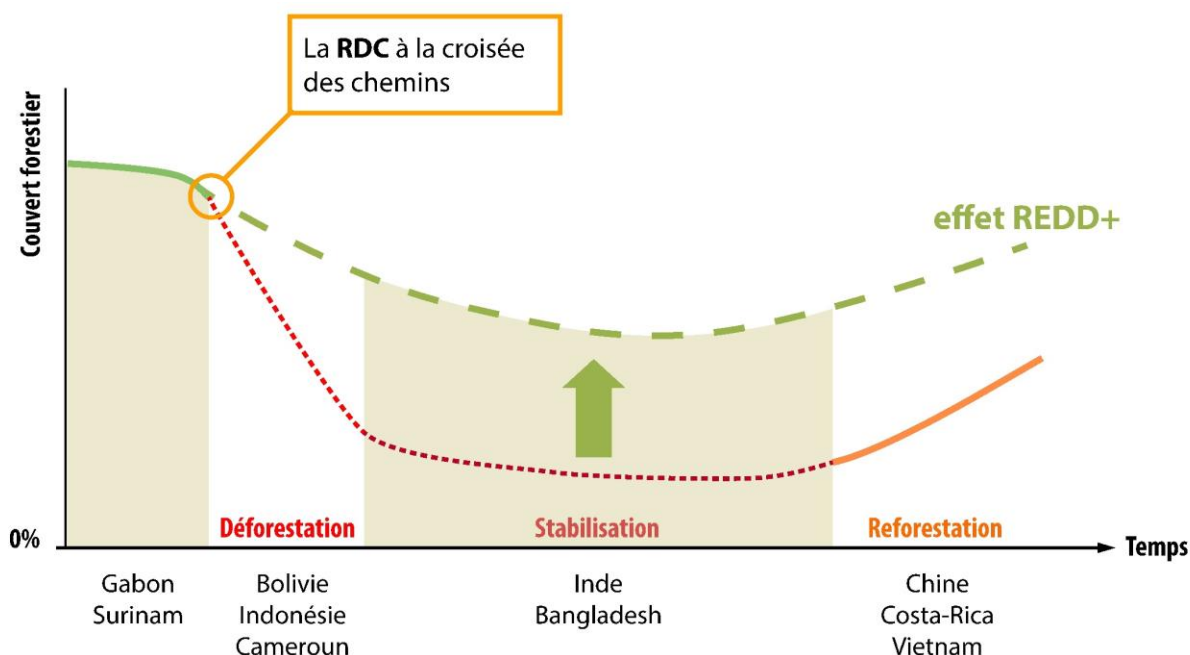


Figure 1-1 : Courbe de transition forestière – Adaptée de Conrad (2007) (Plan d'Investissement REDD+ RDC, 2015).

A l'instar de nombreux pays d'Afrique, la RDC vise à devenir un pays émergent à l'horizon 2030. Un enjeu majeur pour le pays dans les années à venir sera ainsi de réussir à capitaliser sur son gigantesque capital économique et humain tout en minimisant l'impact de ce développement sur les forêts. C'est donc à juste titre que le pays renseigne dans son plan d'investissement REDD+ pour la période 2015-2020, que la RDC souhaite faire de la REDD+ un levier important de son engagement vers un itinéraire de développement vert, sobre en carbone, alliant efficacité économique, durabilité et intégrité environnementale, équité sociale et progrès humain.

1.2 Objectifs de la soumission du NERF

La RDC étant un pays à couvert forestier important et ayant eu des taux de déforestation historiquement bas mais en croissance au fil des dernières décennies, les efforts consentis à la réduction des émissions pourraient être difficilement notables, surtout au vu des ambitions de développement économique du pays, du maintien de la croissance démographique à l'horizon 2050 et des investissements en moyens de communication visant à désenclaver le territoire. Ainsi, la soumission du NERF de la RDC poursuit des objectifs plus larges décrits ci-après.

1. Permettre la sollicitation de paiements basés sur les résultats

La RDC a décidé de soumettre ce NERF sur une base volontaire et en suivant les lignes directrices du GIEC, dans le but d'être dotée d'un repère pour mesurer les performances du pays dans la réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) issues du secteur forestier. Dans la mesure où des résultats seraient atteints, l'un des objectifs de cette soumission est de pouvoir notifier des réductions d'émissions en vue de mobiliser des paiements basés sur les résultats, mesure incitative ultime de l'initiative REDD+.

2. Mobiliser des financements pour infléchir la tendance de la déforestation

Les analyses quantitatives entreprises pour la construction du NERF viennent compléter les études sur les moteurs de la déforestation et permettent ainsi de mieux apprécier les efforts d'investissements qui doivent être réalisés afin d'éviter que la RDC ne s'engage sur la voie typique des pays forestiers en quête de développement économique. Les fonds mobilisés devront permettre de renforcer l'opérationnalisation de la stratégie-cadre nationale REDD+ et de son plan d'investissement, afin d'accroître la capacité financière du pays pour la mise en œuvre des mesures d'atténuation et d'adaptation au changement climatique.

3. Poursuivre les efforts du pays dans la lutte contre le changement climatique

Pays pionnier du processus REDD+ sous la CCNUCC, la RDC se devait de présenter son NERF dans une volonté de transparence vis-à-vis de la communauté internationale. Aussi, la RDC ne pouvait reporter davantage cette soumission, notamment afin d'initier un dialogue avec la communauté internationale autour de sa Contribution Déterminée Nationale (NDC) et des investissements requis pour sa réalisation.

1.3 Processus d'élaboration et partenaires

Les travaux relatifs à la construction du NERF ont été conduits par le biais d'une série de consultations techniques et stratégiques pilotées par le Ministère de l'Environnement et Développement Durable (MEDD) de la RDC, à travers ses Directions de Développement Durable (DDD) et d'Inventaires et d'Aménagements Forestiers (DIAF). Ces consultations ont rassemblé différents profils d'acteurs

intervenant dans le secteur forestier de la RDC et réunis dans le cadre d'une Plateforme Technique de Concertation (PTC).

La PTC est chargée d'accompagner la mise en œuvre opérationnelle du Système National de Surveillance des Forêts (SNSF) de la RDC ainsi que du suivi du processus de soumission du NERF à la CCNUCC. La PTC assure ainsi un rôle de coordination des concertations entre les parties prenantes, pour assurer l'harmonisation méthodologique, le suivi et l'évaluation des politiques, des interventions et des activités dans le cadre de la mise en œuvre du SNSF.

La PTC est composée des délégués de la DDD, de la DIAF et des représentants des différents partenaires techniques du MEDD dont notamment l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), l'Agence Japonaise pour la Coopération Internationale à travers l'Association Japonaise pour la Technologie Forestière (JICA/JAFTA) et la Société de Conservation de la Faune Sauvage (WCS). Les autres parties prenantes à la PTC sont constituées de différents partenaires techniques du MEDD, des porteurs de projets REDD+, ainsi que des représentants des universités et des centres de recherche.

1.4 Chronologie de la construction du NERF

La RDC a été parmi les premiers pays, au sein de la Coalition pour les pays à forêt tropicale (*Rainforest Coalition*), à porter la cause de la REDD+ dans le contexte de la CCNUCC, créant ainsi un cadre global pour la REDD+. Au niveau national, ceci s'est traduit par une initiation des travaux sur les différentes phases de la REDD+ dès 2008. Avant même la conclusion des négociations à Cancun et à Varsovie définissant finalement les termes de la REDD+, la RDC avait déjà initié les travaux sur la phase préparatoire. Un décret signé en 2009 a créé les structures techniques de coordination de la REDD+, dont la Coordination Nationale REDD+ (CN-REDD) sous l'égide du Ministère de l'Environnement. C'est ainsi que le *Readiness Preparation Proposal* (R-PP) a été finalisé et adopté en 2010 et a permis à la RDC de démarrer son travail d'analyse sur les moteurs de la déforestation, d'identifier les acteurs clé impactant la forêt, d'entreprendre un effort national de sensibilisation sur les questions de la forêt et de la REDD, et surtout d'initier la préparation de la construction d'un NERF.

La finalisation de ce NERF national en 2018, alors que 26 soumissions de pays ont déjà été transmises à la CCNUCC, est la conséquence logique de l'immensité du territoire national, de la multiplicité d'approches de construction des NERF sous-nationaux (Annexes 5 et 6), de la nécessité d'un renforcement des capacités au niveau national et de l'approche de consultations d'évaluation itératives des différentes méthodologies de construction du NERF, ainsi que du désir d'incorporer au mieux les points clés soulevés par les évaluations techniques des pays ayant déjà soumis leurs NERF.

1.5 Structure du document de soumission du NERF de la RDC

Le document NERF de la RDC est organisé autour de l'estimation des émissions historiques de la déforestation. La suite du présent document de soumission est structurée en 10 chapitres y inclus l'Introduction.

Le **Chapitre 2** retrace le processus REDD+ en RDC, son historique et établit les liens entre la stratégie nationale REDD+ et le NERF.

Le **Chapitre 3** est consacré aux définitions, notamment celles de la forêt et des activités REDD+ mises en relation avec les catégories de changement d'affectation des terres du GIEC.

Le **Chapitre 4** décrit et présente l'échelle et la portée du NERF, y compris la justification des différents réservoirs retenus ainsi que les moteurs de la déforestation.

Le **Chapitre 5** présente et justifie le choix de la période de référence du NERF et en précise la période de validité.

Le **Chapitre 6** détaille la construction des données d'activités, des erreurs y relatives ainsi que les résultats obtenus, tandis que le **Chapitre 7** en est la contrepartie en ce qui concerne les valeurs de biomasse et des facteurs d'émissions utilisés.

Les **Chapitres 8 et 9** sont respectivement consacrés à la quantification du NERF et des incertitudes y afférentes, ainsi qu'à son extrapolation durant la période de validité du NERF.

Le **Chapitre 10** présente le plan d'amélioration du NERF.

Enfin, les **Annexes** au document de soumission du NERF sont présentées en fin de document.

2 EFFORTS REDD+ AU NIVEAU NATIONAL ET DÉFORESTATION

2.1 Contexte de la REDD+ en RDC

Reconnaissant son potentiel à contribuer aux efforts globaux de lutte contre le changement climatique, la RDC a été parmi les premiers pays, au sein de la Coalition pour les pays à forêt tropicale (*Rainforest Coalition*), à porter la cause de la REDD+ dans le contexte de la Convention Cadre sur le Changement Climatique, créant ainsi un cadre global pour la REDD+. Au niveau national, ceci s'est traduit par une initiation des travaux sur les différentes phases de la REDD+ dès 2009, avec l'adhésion de la RDC aux programmes ONU-REDD et *Forest Carbon Partnership Forum* (FCPF) de la Banque Mondiale. Avant même la conclusion des négociations à Cancun et à Varsovie définissant finalement les termes de la REDD+, la RDC avait initié les travaux sur la phase préparatoire.

La RDC s'est distinguée par son approche pionnière et, comme tout pays pionnier, a fait face aux tâtonnements et ajustements requis par l'exploration. Pour encadrer ce travail, la RDC s'est tout d'abord dotée d'un cadre institutionnel établi par le décret de 2009 portant sur la création des structures techniques de coordination de la REDD+, dont la Coordination Nationale REDD+ (CN-REDD) sous l'égide du Ministère de l'Environnement et Développement Durable (MEDD). S'en sont suivis la préparation de différents documents cadres évoluant au gré des négociations sous la CNUCC qui définissaient de manière plus précise les requis permettant aux pays engagés dans la REDD d'évoluer vers les Paiements Basés sur les Résultats, mesure incitative ultime de la REDD+.

C'est ainsi que le *Readiness Preparation Proposal* (R-PP), cadre programmatique commun du Programme ONU-REDD et du FCPF, a été finalisé et adopté par les assemblées de ces programmes en 2010. Ce cadre, précédant les accords de Cancun et le Cadre de Varsovie, a permis à la RDC de démarrer son travail d'analyse sur les moteurs de la déforestation, d'identifier les acteurs clé impactant la forêt, et surtout d'entreprendre un effort national de sensibilisation sur les questions de la forêt et de la REDD. Dans le cadre des appuis à la phase de préparation (connue comme la Phase 1 de la REDD+), ces deux initiatives ont également appuyé la RDC dans la mise en place de son Système National de Surveillance des Forêts. Le diagnostic initial de cette composante d'appui reconnaît le faible niveau d'organisation et de capacités, la tendance à l'expropriation des données et d'informations cartographiques vers des partenaires *ex-situ*, le manque de disponibilité d'informations et de données cohérentes à une échelle permettant une analyse robuste, la nécessité de renforcer les capacités propres de la RDC avant de pouvoir prétendre à la mise en place d'un SNSF, et la préparation d'un NERF. C'est ainsi que les deux programmes, à travers l'appui technique de la FAO, et en complémentarité avec d'autres partenaires tels que la JICA, se sont investis dans la tâche de renforcer la DIAF, misant ainsi sur une structure pérenne de l'administration pouvant porter à terme le SNSF sans appui significatif des Partenaires Techniques et Financiers.

2.2 Moteurs de la déforestation en RDC

La RDC, à travers sa stratégie-cadre nationale REDD+ adoptée en Conseil des Ministres en 2012, soutient qu'un consensus national a été trouvé depuis 2012 sur les causes de la déforestation et de la dégradation forestière au niveau national (MECNT, 2012). Ce consensus est l'aboutissement d'une série d'études qualitatives (GTCR, 2011, 2012 ; PNUE, 2011) et quantitatives (Defourny et *al.*, 2010) et de consultations variées diligentées par la Coordination Nationale REDD+ de la RDC. Ainsi, les principales causes directes identifiées sont par ordre d'importance au niveau national : (1) l'agriculture itinérante sur brûlis, (2) l'exploitation artisanale du bois, (3) l'exploitation industrielle du bois, (4) la carbonisation, le bois-énergie/bois de chauffe, (5) l'exploitation minière et (6) les feux de brousse. Ces causes sont illégales, légales ou juste non-règlementées, pratiquées par les populations locales pour subvenir à leurs besoins alimentaires et/ou monétaires et sont parfois pratiquées à grande échelle et/ou à grande intensité. Les causes sous-jacentes identifiées sont quant à elles : (1) la croissance démographique, (2) les aspects institutionnels (décisions politiques, mauvaise gestion, guerres civiles, etc.), (3) le développement des infrastructures et l'urbanisation ainsi que (4) les aspects économiques tels que le chômage, la pauvreté, etc.

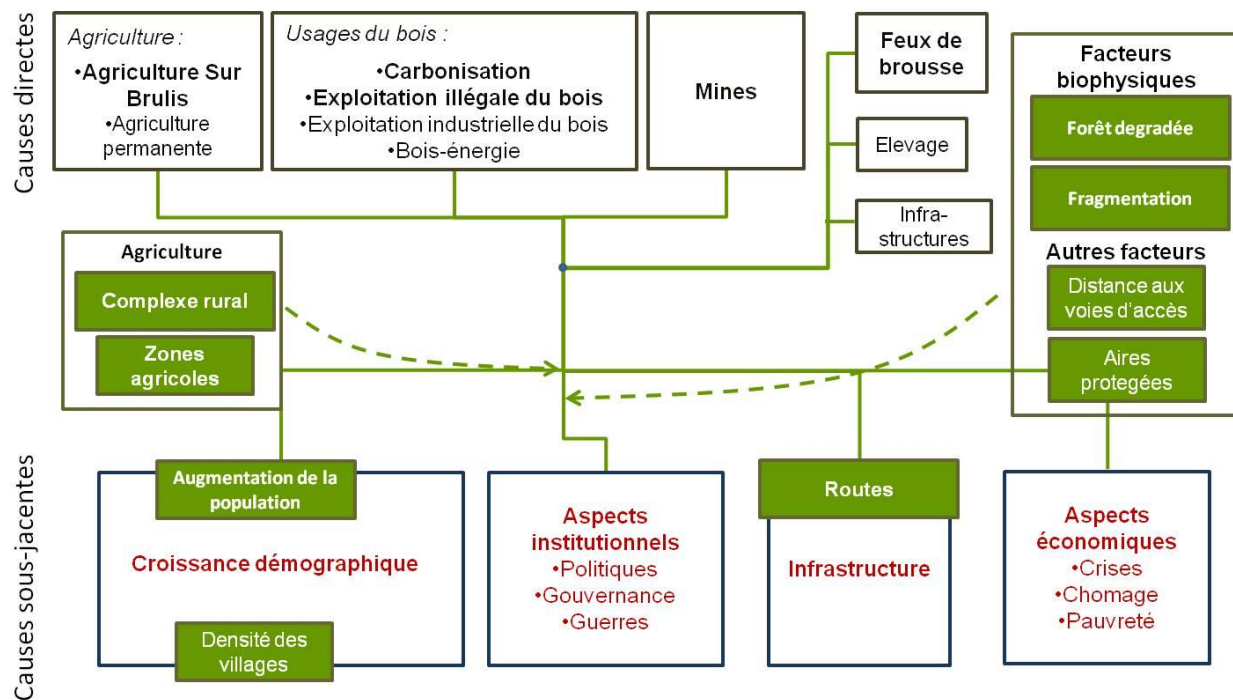


Figure 2-1 : Causes directes et indirectes de la perte de couverture forestière en RDC (Adapté de Geist et Lambin, 2002).

Les causes sous-jacentes ou moteurs indirects ne peuvent être minimisés, particulièrement au vu de leur effet multiplicateur sur les causes directes de la déforestation. En effet, avec un taux de fertilité soutenu à plus de 6 enfants/femme, la RDC accuse un des taux de croissance démographique parmi les plus élevés au monde et qui ne donne pas de signe d'inflexion. Il s'en suit que la population de la RDC double quasiment tous les 20 ans, avec toutes les conséquences que cela représente en termes de demande pour le bois de chauffe, l'agriculture et l'expansion des zones urbaines. Pays majoritairement rural, il n'en reste pas moins

que la croissance de la population en zones urbaines est de 6%/an, à comparer avec 3% par an en zones rurales. Ce différentiel de croissance de la population entre zone urbaine et rurale entraîne un impact important sur la forêt. En effet, le « makala » ou bois de chauffe est principalement produit afin d'alimenter les villes, alors que les populations rurales utilisent d'abord le bois mort et autres ressources disponibles de la forêt avant de s'orienter vers le charbonnage. Cette pression de la population urbaine sur les activités de production de bois et de produits agricoles est amplifiée par le développement de l'infrastructure et des moyens de transports. En effet, avec l'ouverture et la réhabilitation des axes routiers, les forêts en bords de routes sont ainsi désenclavées et deviennent ainsi plus exposées et vulnérables à l'exploitation. Les moyens de locomotion aidant, l'accès aux marchés principalement urbains est amélioré et enclenche une dynamique soutenue de dégradation forestière suivie de la déforestation. Finalement, l'étendue du territoire et les structures de gouvernance pas assez efficaces créent un vide légal et institutionnel qui facilite l'exploitation dérégulée des espaces forestiers.

L'étude quantitative (Defourny et *al.*, 2010) n'établit aucune corrélation entre la déforestation et la présence de concessions forestières tandis que les études qualitatives (GTCR, 2011, 2012 ; PNUE, 2011) font apparaître l'exploitation industrielle du bois comme cause relativement importante de la déforestation observée dans les provinces forestières du pays. Defourny et *al.* (2010) souligne enfin que les concessions forestières ont un impact indirect potentiel par la construction et l'entretien d'infrastructures de transport permettant l'ouverture et la colonisation de nouveaux espaces forestiers.

Globalement, les résultats de ces différentes études montrent très clairement l'importance des activités pratiquées par les populations rurales ayant des effets sur la déforestation, ce qui est confirmé par les variables explicatives identifiées dans l'étude quantitative (Defourny et *al.*, 2010). Un contexte économique difficile et un cadre institutionnel faible favorisent ces activités. A l'échelle sous-nationale, les travaux montrent une forte variabilité des causes directes et sous-jacentes de la déforestation. Seule l'agriculture itinérante sur brûlis semble être une cause répandue sur l'ensemble du territoire, et dans une moindre mesure le bois énergie (dont le charbon) et l'exploitation artisanale du bois.

2.3 Prospectives de la REDD+ en RDC

En parallèle à ces travaux techniques, la RDC s'est engagée dans la préparation de sa stratégie nationale REDD+ dès lors que ce cadre a été anticipé dans le contexte de la CNUCC. C'est ainsi que les études sur les moteurs de la déforestation ont permis l'émergence d'un consensus national sur les causes directes et indirectes de la déforestation telles que détaillées au § 2.2 ci-dessus. Cette stratégie nationale, adoptée en 2012 en Conseil des Ministres, se base sur ce consensus pour prioriser 7 secteurs principaux dont les

réformes devraient permettre d'en réduire les impacts destructeurs sur la forêt. Ceux-ci sont notamment : (i) l'agriculture ; (ii) l'énergie ; (iii) la gestion forestière ; (iv) l'aménagement des territoires ; (v) le foncier ; (vi) la démographie et (vii) la gouvernance. La stratégie nationale vise donc à adresser tant les moteurs directs que les moteurs indirects de la déforestation, et représente en tant que telle une stratégie de développement du pays tenant compte de son atout forestier. Les secteurs sélectionnés sont en effet le miroir des moteurs arrêtés de manière consensuelle et influencent l'affectation des financements. L'objectif global



de la stratégie nationale est de stabiliser le couvert forestier à 63,5% du territoire national et d'atteindre une perte forestière nette nulle à l'horizon 2030. Partant d'une couverture forestière d'environ 67% en 2000, la RDC anticipe donc d'accuser une certaine perte du couvert forestier d'ici 2030. Ceci est le défi auquel font face tous les pays à couvert forestier important et à faible déforestation historique ; il ne s'agit donc pas de stopper net la courbe de déforestation mais plutôt de l'infléchir.

Avec l'adoption de la stratégie nationale et en anticipation à l'émergence du Fonds Vert pour le Climat, instrument financier de la CNUCC, la RDC a établi en 2012 un Fonds National

REDD+ (FONAREDD), outil financier de la stratégie nationale. Cette action constitue une innovation importante dans la structuration institutionnelle de la REDD+ au niveau mondial, en ce que le Fonds est établi sous la co-tutelle du Ministère des Finances et du Ministère de l'Environnement. Ceci signale au monde que la RDC ne considère pas la REDD+ comme étant une initiative climatique marginale, mais la place au cœur de ses choix de développement et s'engage donc résolument dans les réformes et la mise en œuvre des politiques et mesures nécessaires à la stabilisation de son couvert forestier à 63,5 % du territoire national à l'horizon 2030. En plaçant la REDD au cœur d'un des Ministères de Souveraineté, la RDC s'engage donc non seulement à mobiliser et affecter les financements aux secteurs porteurs de changement, mais également, à terme, à y affecter ses propres ressources budgétaires. Le FONAREDD a pour objectifs spécifiques de :

- a) Mobiliser les sources de financement nécessaires à l'atteinte des objectifs nationaux de la REDD+ et au renforcement du leadership de la RDC dans ce domaine ;
- b) Financer les plans d'investissement au travers des programmes d'envergure et des programmes REDD+ qui y seront associés ;
- c) Financer l'accompagnement des réformes nécessaires et la promotion du dialogue des politiques associées au processus REDD+ ;
- d) Se doter d'un cadre de gestion basée sur les résultats et appuyer le développement des instruments nationaux capables de mesurer, notifier, et vérifier de façon continue et transparente les résultats des investissements financés par le Fonds conformément aux standards et directives de la CCNUCC ;
- e) Accroître les capacités de coordination du Gouvernement pour une mise en œuvre rapide, cohérente et efficace de la Stratégie et plans d'investissement REDD.

Alors que le consensus émerge globalement sur les chevauchements entre les différentes phases de la REDD+ et leur non-linéarité, la RDC expérimente ceci concrètement. En effet, alors que la Stratégie

Nationale REDD+ est déclinée en un premier plan puis second plan d'investissement en 2013 et 2015 respectivement, la CN-REDD continue en parallèle son travail sur les éléments du cadre de Varsovie et du Fonds Carbone. En particulier, un élément clé – le SESA – est validé en 2015, qui reprend tant les normes de la Banque Mondiale que les sauvegardes de Cancun contextualisées à la RDC. Ceci constitue un élément clé, sécurisant les aspects sociaux et environnementaux de tous les investissements dans la REDD+ et est d'autant plus nécessaire avec le démarrage des investissements. En effet, le Plan d'Investissement sur la Forêt – PIF – soumis au Fonds d'Investissement Climat (CIF) a démarré ses activités en 2015.

En Septembre 2015, la RDC a rejoint l'Initiative CAFI (*Central Africa Forest Initiative*) et a vu son plan d'investissement validé pour sa mise en œuvre par une capitalisation du FONAREDD en juin 2016. Ceci marque le démarrage des grands investissements visant les moteurs de la déforestation et ayant pour but d'infléchir la courbe de déforestation. L'année 2015 constitue ainsi le début de la phase de mise en œuvre de la REDD+, communément appelée phase 2 de la REDD+.

De fait, les choix et arbitrages sur les priorités tant sectorielles que géographiques ont été arrêtés sur la base des études quantitatives, qualitatives et territoriales des moteurs de la déforestation. Parmi les 26 nouvelles provinces, celles récipiendaires en priorité des investissements et ciblées par le plan d'investissement sont le plus touchées par la déforestation, telles la Tshopo, Bas Uele, Mai Ndombe, Sud Ubangi, Mongala, tel qu'illustré ci-dessous (Figure 2-2).

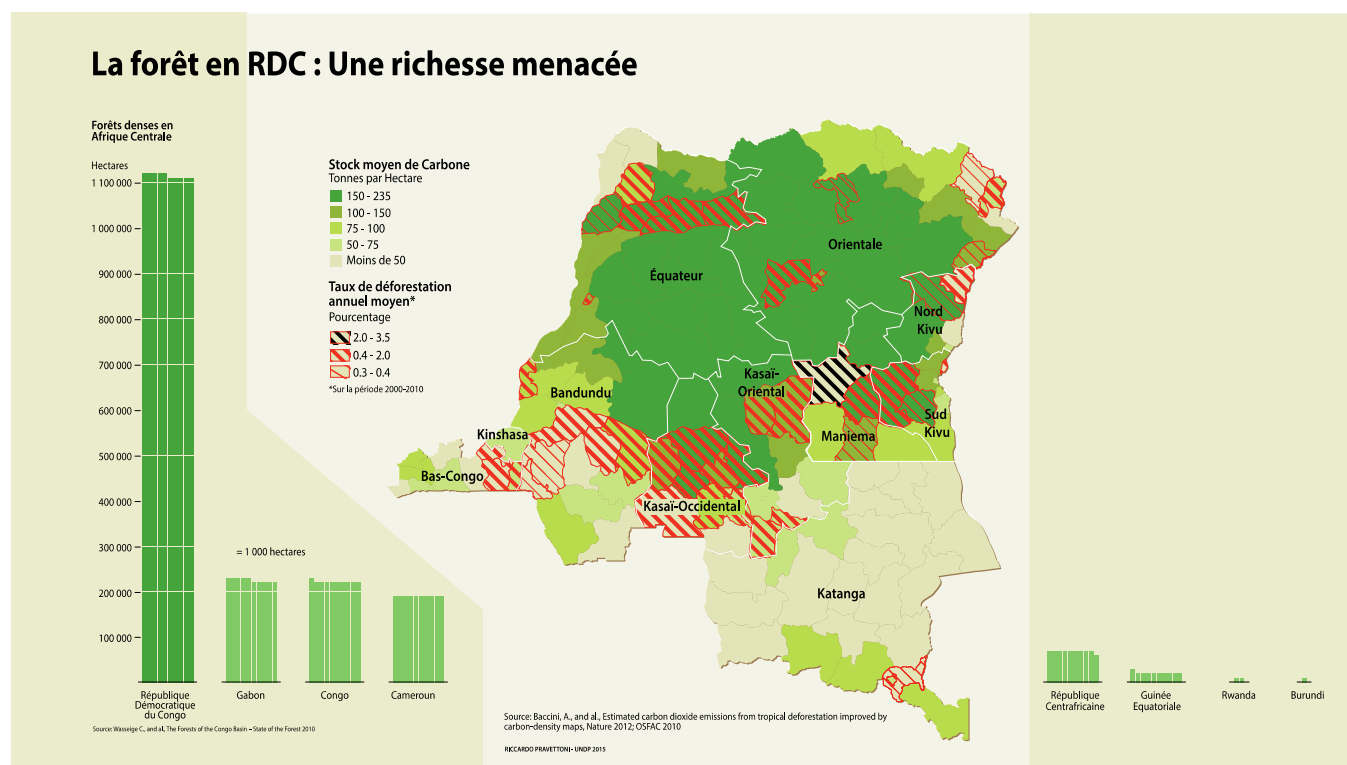


Figure 2-2: Points chauds de la déforestation au niveau national (Plan d'Investissement REDD+ RDC, 2015).

En effet, le plan d'investissement ambitionne de gérer le front de déforestation afin de permettre le maintien des forêts du centre, moins affectées par les impacts et influences humaines. Par ailleurs, ce même plan d'investissement hiérarchise les piliers d'intervention sectoriels selon la prévalence tant quantitative actuelle que potentielle sur la forêt. De ce fait, les investissements envisagés pour le secteur agricole

représentent près de la moitié du budget estimatif global du plan d'investissement, et ceci en raison de la prépondérance de ce secteur (i) sur tout le territoire national et (ii) en terme de son expansion future au vu de la croissance démographique. Par ailleurs, des réformes sectorielles dites habilitantes sont également soutenues par la première phase d'investissement, dont notamment la réforme de l'aménagement des territoires et la réforme sur le foncier.

La RDC n'a en effet jamais été dotée de Schéma National d'Aménagement des Territoires or une des raisons principales de la déforestation est souvent attribuée au manque de clarté dans l'affectation des terres. Un grand chantier de cette réforme a été initié en 2015 sous l'égide du Président de la République en accompagnement à la Vision 2030, qui vise la mise en place et la valorisation de grands ensembles socio-économiques, de zones de développement agricole, industriel etc. Conscient du danger que poserait un tel plan si les attributs forestiers étaient marginalisés, le plan d'investissement affecte un financement à l'accompagnement de cette réforme de manière à l'orienter vers une meilleure prise en compte de l'espace forestier et vers une affectation des terres qui permette la réalisation de l'objectif de la stratégie nationale de maintien du couvert forestier à 63,5% à l'horizon 2030.

Il en va de même pour l'accompagnement de la réforme foncière, visant non seulement à sécuriser le foncier forestier mais à le faire en respectant les sauvegardes de la REDD+, notamment en ce qui concerne les droits des peuples autochtones et des communautés dépendantes de la forêt. Il s'agit donc là d'orienter des réformes en cours en cohérence avec les engagements, normes et sauvegardes de la REDD+.

Sans appui externe et sans investissements significatifs, les causes de la déforestation vont très probablement évoluer selon un scénario de type *business-as-usual* au-delà de la période de référence (Kibambe Lubamba, 2013). En effet, la principale cause sous-jacente de la déforestation qu'est la croissance démographique (Plan d'Investissement, 2015) va se maintenir à un taux moyen situé entre 3 et 4%, tandis que la distribution spatiale de la population sera fonction des infrastructures routières et de l'accessibilité aux grandes villes. De même, la seconde cause sous-jacente de la déforestation relative aux aspects institutionnels liés aux décisions politiques, à la gouvernance et à la politique de gestion durable des écosystèmes forestiers, va très probablement se maintenir dans le cadre observé durant la période de référence car les orientations politiques majeures au niveau national ne prennent pas encore suffisamment en compte la gouvernance forestière. Aussi, les autres causes sous-jacentes de la déforestation que sont les infrastructures et l'urbanisation ainsi que les aspects économiques (crise économique, chômage, pauvreté, etc.) évolueront très probablement selon la tendance observée durant la période de référence, car les signaux de relance économique couplée à une politique solide de lutte contre le chômage et la pauvreté demeurent faibles à l'échelle nationale.

Tel qu'indiqué ultérieurement, l'année 2015 constitue la transition vers la phase d'investissement et l'initiation de la mise en œuvre des grandes initiatives et appuis nécessaires en vue d'adresser les moteurs de la déforestation. Toutefois, les impacts de ces investissements ne sont ressentis qu'avec un temps de latence. En effet, les changements de comportements ainsi que les effets des politiques sectorielles, des réformes légales et institutionnelles nécessaires pour freiner les impacts des moteurs de la déforestation ne se traduiront en impacts positifs sur la ressource forestière que quelques années après leur initiation, leur conceptualisation, puis leur mise en œuvre.

En définitive, durant la période de référence, la RDC a primordialement investi dans les études fondatrices de la REDD+, dans le renforcement des capacités et dans la préparation des documents cadres permettant d'orienter les investissements et d'en quantifier les impacts. Seules quelques initiatives à moindre échelle

de nature à piloter les activités de la REDD+ ont été entreprises lors de cette période. Etant donné qu'il n'y a pas eu durant la période de référence des politiques sectorielles mises en œuvre pour adresser de manière ciblée les moteurs directs et sous-jacents de la déforestation, il est attendu que durant la période de validité du NERF, ces derniers puissent se poursuivre à un rythme sensiblement identique à celui observé durant la période de référence, en l'absence d'interventions spécifiques.

2.4 Initiatives nationales de construction des données d'activités et des facteurs d'émissions

2.4.1 Projet DIAF-JICA Forêts

Dans le cadre de la mise en œuvre de la REDD+, le Japon a signé en 2011 un accord avec la RDC à travers le Ministère de l'Environnement et Développement Durable, pour la mise en place du Projet de Renforcement du Système National de Suivi des Ressources Forestières pour la Promotion de la Gestion Durable des Forêts et REDD+ en République Démocratique du Congo. Ce projet, dénommé «projet DIAF-JICA Forêts», a pour objectif d'assurer le suivi des ressources forestières suivant le plan d'opération du Système d'Inventaire des Ressources Forestières Nationales. Le projet DIAF-JICA Forêts est décrit en Annexe 4.

2.4.2 Programme de réduction des émissions du Maï-Ndombe

Le Gouvernement de la RDC a conçu un Programme de Réduction d'Émissions (PRE) dans la Province de Maï-Ndombe pour mettre en œuvre sa stratégie REDD+ au niveau juridictionnel. L'ambition du PRE est de mettre en œuvre un modèle de développement vert au niveau provincial offrant des alternatives à la déforestation et octroyant des primes à la performance afin d'atténuer le changement climatique, de réduire la pauvreté, de gérer les ressources naturelles de manière durable et de protéger la biodiversité. Le programme est conçu pour mobiliser différentes sources de financement afin d'intensifier les activités pilotes et soutenir le passage à une dynamique de planification d'occupation des sols à grande échelle. Le PRE du Maï-Ndombe est décrit en Annexe 6.

2.4.3 Projet de cartographie de la biomasse forestière par LiDAR aéroporté (*Carbon Map and Model*)

Le projet « *Carbon Map and Model* » (CM&M) a été développé par le *World Wildlife Fund for Nature* (WWF), avec le soutien de l'Initiative Internationale pour le Climat (IKI) du Ministère Fédéral Allemand de l'Environnement, de la Protection de la Nature, de la Construction et de la Sécurité Nucléaire (BMUB), la Banque Allemande de Développement (KfW), en collaboration avec le Ministère de l'Environnement et du Développement durable de la RDC, l'Université de Californie à Los Angeles (UCLA) et d'autres partenaires nationaux et internationaux (SMC, OSFAC, GFA). CM&M a pour objectif de produire une carte de la biomasse forestière nationale à l'aide d'un système laser aéroporté (*Light Detection And Ranging, LiDAR*) et de quantifier les stocks de carbone forestier afin d'appuyer le programme REDD+ de la RDC. Le projet CM&M est décrit en Annexe 7.

3 DÉFINITIONS

3.1 Définition de la forêt

La RDC définit la forêt comme l'ensemble des terres occupant une superficie de plus de 0,5 hectares, avec des arbres atteignant une hauteur supérieure ou égale à trois mètres, avec un couvert arboré supérieur ou égal à 30%, ou avec des arbres capables d'atteindre ces seuils *in situ* (Arrêté Ministériel 5094/CAB/MIN/ECN-T/JEB/08 du 22 Octobre 2008).

Cette définition officielle de la forêt a été considérée tout au long du développement du NERF, même si l'opérationnalisation de certains critères mène à des écarts entre définitions officielle et opérationnelle (voir Section 3.2). La définition officielle est aussi celle retenue dans le cadre de l'Inventaire des Gaz à Effet de Serre (IGES).

La définition officielle de la forêt en RDC, basée sur l'occupation du sol, est complétée par les définitions incluses dans le Guide de Stratification Forestière de la RDC (SPIAF, 2007) qui se rapportent à l'utilisation du sol, notamment en ce qui concerne les plantations agricoles pérennes. Dans la mesure où les plantations de cacao et d'hévéa satisfont aux trois critères de la définition officielle de la forêt (superficie, hauteur potentielle et couverture de la canopée), celles-ci sont considérées dans ce NERF comme des terres forestières plantées. Les plantations d'acacia, développées en RDC à des fins d'agroforesterie, de régénération forestière, de puits de carbone dans la perspective de paiement pour les services environnementaux et d'apport énergétique pour les ménages sous forme de charbon de bois, etc. (Nsombo, 2016 ; Kachaka, 2014 ; Dubiez, Louppe et Lazilliere, 2013 ; Biloso, 2008), sont aussi considérées comme des terres forestières plantées. A l'inverse, les plantations de palmier à huile, sur base des critères d'utilisation du sol, ne sont pas considérées comme des terres forestières plantées.

Afin d'être plus cohérent avec les lignes directrices contenues dans GIEC (2006), la RDC se propose à l'avenir d'établir une distinction entre les plantations agricoles pérennes pouvant être considérées comme forêt et les terres forestières, tel qu'indiqué dans le plan d'amélioration du NERF (Chapitre 10).

Le NERF de la RDC concerne uniquement les forêts naturelles. En effet, les forêts plantées, essentiellement d'acacias, ne couvrent qu'une étendue totale de l'ordre de 32 000 ha¹, soit environ 0,01% de l'ensemble du territoire national. Les plantations agricoles industrielles entrant dans la catégorie des « terres forestières », dont 23 sont abandonnées et 9 seulement demeurent encore actives, ne représentent aussi qu'une infime superficie du territoire national (9 688 ha², soit moins de 0,01%). Ainsi, les terres forestières plantées en RDC contribuent de manière insignifiante au bilan des gaz à effet de serre au niveau national.

La définition de la forêt en RDC converge sur certains points avec celle retenue dans le cadre de l'évaluation des ressources forestières mondiales (FRA, 2015). En effet, comme pour la RDC, la définition de la forêt

¹ Parc des Virunga, Sud Kivu, Projet WWF Ecomakala (5 746 ha) ; Gungu, Kikwit, Fondation Hans Seidel/EU (5 000 ha) ; Plateau des Bateke, Novacel - Ibi village (8 000 ha) ; Plateau des Bateke, CADIM/UE (5 500 ha) ; Bikoro, Equateur, PNUD/FEM (44 ha) ; Plateau des Bateke, Mampu, CIFOR (8 000 ha).

² <http://cod-data.forest-atlas.org>

selon FRA (2015) est basée sur l'occupation du sol, notamment en ce qui concerne le critère de superficie (0,5 ha). Les critères d'utilisation du sol tels que l'inclusion des plantations forestières (typiquement l'hévéa), des zones intertidales couvertes de mangroves, des terres couvertes d'arbres régénérés qui atteignent ou sont capables d'atteindre les seuils prescrits dans la définition, etc. sont d'autres éléments de convergence entre les deux définitions.

La définition de la forêt pour la RDC est cependant plus restrictive en ce qui concerne la couverture forestière (30% vs. 10%), ce qui a un impact important sur l'estimation des superficies forestières, et moins restrictive en ce qui concerne la hauteur des arbres (3 m vs. 5 m). Ce dernier critère est cependant moins déterminant car la taille potentielle à maturité de 3 m est probablement rencontrée dans toutes les formations forestières de la RDC, à l'exception de quelques savanes arbustives³.

Dans sa communication nationale initiale sur les changements climatiques en 2000, la RDC ne fait pas mention d'une définition spécifique pour les terres forestières et s'aligne sur la définition et la description des forêts du pays faite par la FAO dans le cadre de l'évaluation des ressources forestières mondiales. Pour la seconde communication nationale à la Convention-Cadre sur le Changement Climatique en 2009 ainsi que la suivante en 2015, les statistiques forestières nationales ont été dérivées par télédétection en accord avec la définition officielle de la forêt en RDC énoncée ci-dessus.

3.2 Opérationnalisation de la définition de la forêt pour l'estimation des données d'activités et des facteurs d'émissions

Il existe cependant un écart entre la définition officielle de la forêt et la définition opérationnelle de celle-ci pour la construction des données d'activités (Section 6) et des facteurs d'émissions (Section 7) dans le cadre du NERF.

En effet, la superficie forestière considérée de manière opérationnelle pour le calcul des données d'activités est de 0,09 ha (soit la taille d'un pixel Landsat), car cette superficie correspond à l'échelle à laquelle les changements du couvert forestier sont détectés sur les images satellites Landsat utilisées par l'algorithme décrit en Section 6.4. De même, c'est à cette échelle que sont évalués les échantillons de référence (taille d'un pixel Landsat) pour l'estimation des superficies de forêt stable, non forêt stable et déforestation (Section 6). Ce choix de superficie forestière implique qu'il existe donc un écart entre la superficie officielle de la forêt (0,5 ha) et la superficie opérationnelle de la forêt (0,09 ha). Cependant, le pays a pris l'option de cette superficie opérationnelle dans le but de réduire, *in fine*, les erreurs d'estimation des données d'activités et, dès lors, améliorer la précision du NERF.

La définition opérationnelle adoptée permet en outre de suivre la dynamique forestière à une échelle spatiale plus proche de celle des principaux moteurs directs de la déforestation en RDC (Section 2.2). La définition opérationnelle de la forêt se révèle ainsi plus pertinente pour le suivi de l'évolution de la couverture forestière dans le cadre des efforts du pays pour la gestion durable des forêts.

³ Illustration des choix des critères de l'UNFCCC pour la définition de la forêt pour la République Démocratique du Congo sur base d'une carte de végétation de l'Afrique Centrale, Université catholique de Louvain – Earth and Life Institute – Environmental Sciences, Novembre 2011.

Le critère de hauteur des arbres n'a pas été explicitement pris en compte pour la construction des données d'activités et des facteurs d'émissions dans le cadre du NERF, car il est attendu que la taille potentielle à maturité de 3 m est probablement rencontrée dans toutes les formations forestières de la RDC⁴.

Le critère du type d'occupation du sol a quant à lui été respecté dans l'opérationnalisation de la définition de la forêt pour l'estimation des données d'activités et des facteurs d'émissions dans le cadre du NERF. En effet, la détermination de l'occupation du sol est obtenue par le biais d'un protocole d'interprétation décrit brièvement au point 6.6.3 et détaillé en Annexe 1, permettant de distinguer sans ambiguïté les terres forestières des terres non forestières, selon la stratification nationale de la RDC (Section 3.3.1).

Enfin, pour distinguer les terres forestières des terres non-forestières lors de l'interprétation des échantillons de référence (voir Section 6 pour le protocole d'interprétation), un critère de couverture de canopée de l'ordre de 50% a été utilisé, du fait de son caractère pratique. Il n'est en effet pas aisé pour les opérateurs de déterminer avec précision une couverture de canopée de 30% (comparativement à 50%) lors de l'interprétation visuelle des échantillons de référence.

3.3 Description des catégories d'utilisation des terres et des strates forestières nationales

3.3.1 Catégories d'utilisation des terres

Pour collecter les données sur les superficies forestières et classer les terres, le Guide des Bonnes Pratiques du Groupe Intergouvernemental des Experts pour le Climat liées aux activités du secteur de l'utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (GIEC, 2006) fait une série de recommandations aux pays, notamment celle de classer les terres en six grandes catégories pour faciliter la préparation des inventaires de gaz à effet de serre. Ces catégories sont : les Terres Forestières (TF), Les Terres Cultivées (TC), les Prairies (P), les Terres Humides (TH), les Établissements humains (ET) et les Autres Terres (AT). Le GIEC précise aussi que les terres peuvent être classées en fonction de la classification adoptée par chaque pays en tenant compte des grandes catégories définies.

La RDC a adopté l'approche 2 (GIEC, 2006) pour la représentation cohérente des terres. Les types d'occupation des terres ont été stratifiés sur la base de critères biophysiques et écologiques afin de créer des unités spatiales relativement homogènes pour l'estimation des émissions de gaz à effet de serre. En particulier, les émissions de CO₂ relatives aux conversions des TF en terres non forestières, c.-à-d. la déforestation, ont été considérées.

L'ensemble de la déforestation observée au niveau national est considérée comme étant d'origine anthropique et la RDC ne distingue pas de manière systématique les terres gérées des terres non gérées. Cette distinction sera considérée à l'avenir dans le cadre du système national de surveillance des forêts congolaises.

⁴ Illustration des choix des critères de l'UNFCCC pour la définition de la forêt pour la République Démocratique du Congo sur base d'une carte de végétation de l'Afrique Centrale, Université catholique de Louvain – Earth and Life Institute – Environmental Sciences, Novembre 2011.

La stratification nationale de la RDC comporte ainsi dix classes présentées dans le Tableau 3-1 ci-dessous, avec leurs correspondances aux catégories d'affectation des terres du GIEC 2006. Les quatre premières concernent les forêts naturelles (classe 1 à classe 4) et les autres concernent les terres non forestières (classe 5 à classe 10).

Tableau 3-1 : Stratification nationale de la RDC.

Strate	Catégories d'affectation des terres du GIEC (2006)
1. Forêt dense humide sur terre ferme (FDHTF)	Terres Forestières (TF)
2. Forêt dense humide sur sol hydromorphe (FDHSH)	
3. Forêt secondaire (FSc)	
4. Forêt sèche ou forêt claire (FSFC)	
5. Savane	Prairies (P)
6. Culture Pérenne (CP)	Terres Cultivées (TC)
7. Culture et régénération de culture abandonnée (CRCA)	Terres Cultivées (TC)
8. Zone d'eau	Terres Humides (TH)
9. Agglomération	Établissements (ET)
10. Autres terres	Autres terres (AT)

Les différentes classes retenues pour la stratification nationale s'inspirent largement du Guide opérationnel des Normes de stratification forestière de la RDC (SPIAF, 2007), mais également de l'article Verhegghen *et al.* (2012) et du rapport du projet DIAF-JICA Forêts (2015). Elles sont décrites ci-dessous.

3.3.1.1 Forêt dense humide sur terre ferme (FDTF)

La classe nationale « Forêt dense humide sur terre ferme » regroupe les classes SPIAF (2007) suivantes :

- Forêt Dense Humide semi-caducifoliée (DHC)
- Forêt Dense Humide Sempervirente de basse et moyenne altitude (DHS)
- Forêt Secondaire Adulte (SA)
- Galeries forestières (FG)
- Forêt de Montagne (DHM, DSM)

La forêt dense humide sur terre ferme est une forêt mature (« climacique »), généralement localisée dans les zones du climat pluvieux (≥ 1200 mm par an). Elle présente une structure verticale complexe (plusieurs strates), une canopée souvent haute (comprise entre 30 - 50m) et fermée (dense). Le pool d'espèce qu'elle contient est riche et hétérogène, à dominance sempervirente ou semi-décidue.

3.3.1.2 Forêt dense humide sur sol hydromorphe (FDHSH)

La classe nationale « Forêt dense humide sur sol hydromorphe » correspond à la classe SPIAF (2007) « Forêt sur sol hydromorphe (FM) ». La végétation de cette classe possède des caractéristiques proches de celles de la classe « forêt dense humide sur terre ferme » à l'exception de sa situation sur les sols inondés périodiquement ou en permanence (≥ 4 mois par an) et de sa localisation aux alentours des grandes rivières,

des fleuves et des lacs ; d'une canopée généralement moins haute (de 10 à 35 m) et un pool d'espèces caractéristiques des conditions anoxiques du sol.

3.3.1.3 Forêt secondaire (FSc)

La classe nationale « Forêt secondaire » correspond à la classe SPIAF (2007) « Forêt secondaire jeune (SJ) ». Cette forêt est issue aussi bien de la perturbation de la classe « Forêt dense humide » ou de l'évolution naturelle de certaines strates, notamment « Régénération » et « Savane arborée ». La forêt secondaire présente une hauteur de canopée hétérogène et pouvant atteindre 30 à 40 m selon l'âge du peuplement. Le pool d'espèces présentes en canopée s'approche de celui d'une forêt dense semi-décidue, caractérisé par des espèces héliophiles à croissance moyenne.

3.3.1.4 Forêt sèche ou forêt claire (FSFC)

La classe nationale « Forêt sèche ou forêt claire » regroupe les classes SPIAF (2007) suivantes :

- Forêt claire (FC)
- Forêt dense sèche de basse et moyenne altitude (DS)

La « Forêt sèche ou forêt claire » comprend le stade climacique de la forêt en climat sec et sol sableux (classe SPIAF : DS). Elles sont des forêts adaptées à une alternance de saisons humides et sèches de plus de quatre mois. Au stade climacique, cette forêt présente généralement deux strates verticales, un sous-bois clair et une canopée pouvant atteindre 30 m. On retrouve dans cette forêt des espèces ligneuses caractéristiques des climats secs, souvent caducifoliées et quelques sempervirentes à tempérament héliophile et à feuillage léger. Sous l'effet des perturbations anthropiques (feux répétitifs, exploitation intensive, etc.), la forêt sèche évolue en forêt dite « claire », avec une hauteur de canopée réduite (allant de 7 à 10 m) et un pool floristique variable selon les régions. Au sud du pays (Haut-Katanga et Lualaba, Sud du Kasai et Sud de Kwango), la forêt claire est une formation forestière typique, dénommée « Miombo ».

3.3.1.5 Savane

La classe nationale « Savane » regroupe les classes SPIAF (2007) suivantes :

- Savane Boisée (Sa_b)
- Savane Herbeuse (Sa_{ha})

La « Savane » est une formation herbeuse clairsemée d'arbres et d'arbustes, avec une couverture de canopée < 30 %. Elle ne répond pas à la définition de la forêt de la RDC (couverture de canopée ≥ 30 %, en particulier). La « Savane » peut être issue de perturbations anthropiques des forêts ou être une formation naturelle et stable sous certaines conditions pédoclimatiques.

Les zones humides de type prairies aquatiques et prairies marécageuses ont été incluses dans la classe savane pour les raisons évoquées ci-après. Les prairies aquatiques sont de grandes étendues de prairies inondées apparaissant au sein du domaine forestier lorsque les inondations sont prolongées et les conditions de drainage défavorables, notamment entre le fleuve Congo et la rivière Ubangui. Ces prairies apparaissent souvent en bordure des zones inondées et sont en général des formations basses dominées par des graminées (*Vossia*, *Echinochloa*, etc.) (Vancutsem et al., 2008 ; Germain, 1965). Les prairies marécageuses se rencontrent quant à elles dans la région de l'Upemba et au sud du lac Moero au Katanga (Schmitz, 1977). Tandis que les prairies aquatiques du nord-ouest présentent une saisonnalité marquée par deux petites

saisons sèches (3 et 1 mois), les prairies marécageuses du sud-est subissent quant à elle une saison sèche plus longue d'environ 5 mois. Les prairies marécageuses sont aussi dominées par des graminées (Vancutsem et *al.*, 2008).

3.3.1.6 Culture Pérenne (CP)

La classe nationale « Culture pérenne » regroupe les classes SPIAF (2007) suivantes :

- Plantation de palmiers à huile (P_{el})
- Plantation de café (P_{cf})
- Plantation de thé
- Plantation de quinquina

La classe « Culture Pérenne » regroupe les cultures pérennes de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) et de café (*Coffea arabica* L., *Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner, notamment). Sont considérées ici les cultures de superficie suffisamment vaste (≥ 50 ha), correspondant à des cultures « agro-industrielles » et excluant les cultures paysannes qui sont généralement de moindre superficies. Ces dernières sont incluses dans la classe « Culture et régénération de culture abandonnée » (voir § 3.3.1.7 ci-dessous).

3.3.1.7 Culture et régénération de culture abandonnée (CRCA)

La classe nationale « Culture et Régénération de Culture Abandonnée » regroupe les classes SPIAF (2007) suivantes :

- Culture (C_u)
- Régénération (R_{CA})

La « Culture et Régénération de Culture Abandonnée » comprend les cultures vivrières (i) en production, (ii) en jachère, (iii) en phase de recolonisation par la forêt. La recolonisation par la forêt comprend une première phase dite « de régénération » (classe SPIAF « CRCA ») où la formation végétale varie entre 3 et 15 m de haut et présente des espèces ligneuses pionnières au tempérament héliophile.

3.3.1.8 Zone d'eau

La classe nationale « Zone d'eau » correspond à la classe SPIAF (2007) « Eau (E_a) ». Cette classe regroupe les fleuves, rivières et lacs.

3.3.1.9 Agglomération

La classe nationale « Agglomération » correspond à la classe SPIAF (2007) « Localité (L_o) ». Cette classe regroupe les zones d'occupation humaine (villes et villages, complexes industriels, routes et voies ferrées, etc.).

3.3.1.10 Autres terres

La classe nationale « Autres terres » regroupe les terres qui n'appartiennent à aucune des autres classes nationales. Il s'agit notamment des sols dénudés.

3.4 Définitions des activités REDD+ pour le NERF

La décision 1/CP.16 recense les postes d'émissions (sources) et d'absorptions (puits) dans les activités REDD+ qui sont : (1) la réduction des émissions dues à la déforestation (source), (2) la réduction des émissions dues à la dégradation forestière (source), (3) le renforcement des stocks de carbone forestier (puits), (4) la conservation des stocks de carbone (puits) et (5) la gestion durable des forêts (puits).

Aux différentes activités REDD+ énoncées ci-dessus correspondent trois grands types de conversions des terres selon les catégories du GIEC (2006) : (1) terres forestières (TF) converties à d'autres catégories d'affectation des terres (réductions des émissions liées à la déforestation), (2) TF demeurant TF (réduction des émissions liées à la dégradation des forêts, conservation des stocks de carbone, gestion durable des forêts et renforcement des stocks de carbone forestier), et (3) Autres catégories d'affectation des terres converties en TF (renforcement des stocks de carbone forestier).

Le Tableau 3-2 ci-dessous schématise les différentes activités REDD+ en fonction des transitions entre différentes classes d'occupation du sol de la stratification nationale pour le NERF.

D'un point de vue conceptuel et tel qu'illustré dans le Tableau 3-2, la **déforestation** est définie comme une conversion directe, d'origine anthropique, d'une terre forestière à une terre non forestière.

La **dégradation forestière** concerne les terres forestières appartenant aux catégories « forêt dense humide sur terre ferme », « forêt dense humide sur sol hydromorphe » et « forêt sèche ou forêt claire » qui sont converties en « forêt secondaire ».

Le **renforcement des stocks de carbone** est l'augmentation des stocks de carbone forestier suite à conversion d'autres utilisations des terres en forêt (Tableau 3-2), soit par la croissance et/ou le reboisement.

La **conservation des stocks de carbone** se réfère aux forêts d'une catégorie donnée (par exemple « forêt dense humide sur terre ferme ») qui demeurent forêt dans la même catégorie (c.-à-d. « forêt dense humide sur terre ferme ») (Tableau 3-2).

Enfin, la **gestion durable des forêts** est l'ensemble des efforts que réalise la DRC pour assurer le suivi de ses forêts sur l'ensemble du territoire national. Ces efforts incluent ainsi la réduction des émissions issues de la déforestation et de la dégradation forestière ainsi que le renforcement et la conservation des stocks de carbone.

Le Tableau 3-2 ci-dessous illustre les conversions entre les catégories d'affectation des terres, lesquelles sont désagrégées en sous-catégories correspondant à la stratification nationale.

Tableau 3-2 : Matrice de conversion d'affectation des terres. Acronymes des classes d'occupation du sol : FDHSH (forêt dense humide sur sol hydromorphe), FDHTF (forêt dense humide sur terre ferme), FSFC (forêt sèche ou forêt claire), FSc (forêt secondaire), CRCA (culture et régénération de culture abandonnée).

			ANNEE FINALE								
			Terres Forestières (TF)				Prairies (P)	Terres cultivées (TC)		Autres terres (AT)	Terres Humides (TH)
			FDHTF	FDHSH	FSFC	FSc	Savane	CP	CRCA	Agglomération et Autre	Zone d'eau
ANNEE INITIALE	Terres Forestières (TF)	FDHTF	CONSERVATION DES STOCKS DE CARBONE			DEGRADATION FORESTIERE	DEFORESTATION				
		FDHSH		CONSERVATION DES STOCKS DE CARBONE							
		FSFC			CONSERVATION DES STOCKS DE CARBONE		DEFORESTATION				
		FSc	CONSERVATION DES STOCKS DE CARBONE								
	Prairies (P)	Savane	RENFORCEMENT DES STOCKS DE CARBONE								
	Terres cultivées (TC)	CP									
		CRCA									
	Autres terres (AT)	Agglomération et Autres									
	Terres humides (TH)	Zone d'eau									

Catégories GIEC pour les terres (conversion) reprises dans le Tableau 3-2



: Forêts demeurant forêt



: Forêts converties à d'autres utilisations des terres



: Autres utilisations des terres converties à la forêt

4 ÉCHELLE ET PORTÉE

4.1 Échelle du NERF

L'échelle du NERF est nationale, ce qui signifie que les données collectées pour son développement et sa quantification couvrent l'ensemble du territoire national. L'unique activité visée par le NERF de la RDC est la déforestation, durant une période de référence comprise entre 2000 et 2014. La justification de l'exclusion des autres activités REDD+ est présentée à la Section 4.2 ci-dessous et celle de la période de référence au Chapitre 5. Les données d'activités de la déforestation (Chapitre 6) sont calculées au niveau des provinces, pour ensuite être agrégées au niveau national. Les facteurs d'émissions (Chapitre 7) sont quant à eux dérivés à l'échelle nationale à partir des transitions des différentes classes forestières vers les différentes classes non forestières. Les réservoirs considérés dans le NERF sont la biomasse aérienne et la biomasse souterraine et le CO₂ est le seul gaz pris en compte. La justification de l'exclusion des autres réservoirs (matière organique morte, litière et sol) est présentée à la Section 4.3 et celle des autres gaz à la Section 4.4.

4.2 Portée des activités REDD+

Au stade actuel, la RDC a retenu la déforestation comme seule activité pour la construction de son NERF. Le Tableau 4-1 ci-dessous présente les justifications de l'inclusion ou de la non inclusion de chaque activité REDD+ dans le NERF de la RDC.

Tableau 4-1 : Justification des sources et puits comptabilisés dans les activités REDD+ pour le NERF.

Source/Puits	Catégorie de transition du GIEC	Inclusion ?	Réservoir	Gaz	Justification
La réduction des émissions liées à la déforestation (Source)	Forêts converties à d'autres utilisations des terres	OUI	Biomasse aérienne et biomasse souterraine	CO ₂	La déforestation est incluse.
La réduction des émissions liées à la dégradation des forêts (Source)	Forêts demeurant forêt	NON	-	-	La dégradation forestière n'a pas été incluse dans le NERF car la RDC ne dispose ni de données historiques sur cette activité à l'échelle nationale, ni d'une méthodologie permettant le suivi de cette activité à l'échelle nationale de façon suffisamment exacte et précise. Les moteurs principaux de la dégradation forestière sont l'exploitation industrielle du bois et la récolte du bois mort pour l'énergie. Les statistiques disponibles au niveau national pour la récolte du bois mort ⁵ indiquent qu'elle peut être significative et que la dégradation forestière augmentera dans le futur ⁶ . Les initiatives sous-nationales de suivi de la déforestation et de la dégradation forestière indiquent, quant à elles, que la contribution relative de la dégradation aux émissions de CO ₂ est extrêmement variable d'une province à une autre. Spécifiquement pour les trois provinces étudiées dans le cadre du projet DIAF-JICA Forêts (2015) (voir Annexe 5), la dégradation forestière de 2000 à 2010 représente environ 12%, 0,67% et 0,91% des émissions totales pour le Maï-Ndombe, Kwango et Kwilu, respectivement. Pour 2010-2014, ces émissions sont de l'ordre de 16%, 0,1% et 0,1%, respectivement. Pour la province du Maï-Ndombe, une deuxième source avance une contribution relative de la dégradation forestière aux émissions totales de CO ₂ de l'ordre de 44% ⁷ pour 2004-2014 (Programme de Réduction des

⁵ Système d'Information Energétique (SIE) RDC, 2015

⁶ Cubage de bois de feu en 2014 (11 168 125 m³), représentant une augmentation de 164% par rapport au volume de l'année 2000 (6 784 375 m³)

⁷ Document de Programme de Réduction des Emissions (ER-PD) du Maï-Ndombe, République Démocratique du Congo, Date de soumission ou de révision : 8 novembre 2016

					Émissions du Maï-Ndombe) L'écart important entre ces estimations indépendantes, pour une même province et sur des périodes largement chevauchantes, montre bien le besoin de développer une approche d'estimation fiable des émissions issues de la dégradation forestière préalablement à son inclusion dans le NERF. L'inclusion de cette activité fait partie des perspectives d'amélioration du NERF présentées dans le Chapitre 10.
La conservation des stocks de carbone (puits)	Forêts demeurant forêt	NON	-	-	La conservation des stocks de carbone est considérée ensemble avec la dégradation des forêts, car les deux activités concernent les terres forestières qui demeurent terres forestières.
Le renforcement des stocks de carbone forestier (puits)	Autres utilisations des terres converties à la forêt	NON	-	-	L'extension totale des plantations forestières, essentiellement d'acacias, est insignifiante et de l'ordre de 32 000 ha ⁸ , ce qui représente environ 0,01% du territoire national. Ces plantations forestières incluent aussi des superficies réduites de faibles reboisements de pins et d'eucalyptus (Ibi Village, Mampu). Aussi, étant donné que la croissance naturelle sur les terres abandonnées est un processus passif sans influence humaine, la RDC ne souhaite pas l'inclure comme activité REDD+.
La gestion durable des forêts (puits)	Toutes les catégories	OUI/NON	-	-	

⁸ Parc des Virunga, Sud Kivu, Projet WWF Ecomakala (5 746 ha) ; Gungu, Kikwit, Fondation Hans Seidel/EU (5 000 ha) ; Plateau des Bateke, Novacel - Ibi village (8 000 ha) ; Plateau des Bateke, CADIM/UE (5 500 ha) ; Bikoro, Equateur, PNUD/FEM (44 ha) ; Plateau des Bateke, Mampu, CIFOR (8 000 ha).

4.3 Portée des réservoirs de carbone

4.3.1 Biomasse vivante

La RDC a retenu la biomasse aérienne (souche, fût et houppier des arbres) pour la quantification des stocks de carbone forestier et *in fine* le développement de son NERF, car elle représente la vaste majorité des stocks (~ 70%) dans la plupart des écosystèmes forestiers (Houghton et *al.*, 2009).

La biomasse souterraine a également été retenue comme un réservoir important et a été estimée.

Les compartiments restants, à savoir la matière organique morte (bois mort et litière) et les sols n'ont pas été inclus dans le NERF car leurs contributions aux émissions de GES sont insignifiantes, tel que justifié respectivement aux Sections 4.3.2 4.3.3 ci-dessous.

4.3.2 Matière organique morte

La matière organique morte comprend le bois mort et la litière.

4.3.2.1 Le bois mort

Pour les calculs de GES issus du bois mort au niveau national, le stock de carbone qui a été utilisé est de 18,2 tMS/ha⁹. Les émissions issues d'une perte totale du carbone dans le bois mort à cause d'une conversion des terres forestières en terres cultivées (soit un stock de biomasse équivalent à 0 après la conversion) ont été estimées¹⁰ à 31,36 tCO₂e/ha, soit 6,53% des émissions de la biomasse vivante perdue, ce qui est insignifiant.

4.3.2.2 La litière

Un argument similaire à celui présenté pour le bois mort justifie l'exclusion de la litière. En effet, le stock de carbone par hectare dans la litière n'est que de 2,1 tC/ha¹¹, équivalent à des émissions de 7,7 tCO₂e /ha, correspondant à 1,60% des émissions issues de la perte de la biomasse vivante, ce qui est insignifiant.

4.3.3 Sols

Au niveau national, les sols de la RDC sont principalement de type argileux peu actifs (APA) (JRC, 2003¹²), dont le stock de carbone de référence¹³ est de 47 tC.ha⁻¹. Les facteurs de variation pour les terres cultivées (GIEC 2006, Tableau 5.5) sont de 0,82 pour la gestion des cultures et 0,92 pour l'ouverture des champs. Les facteurs de variations pour les terres forestières sont de 1 par défaut. S'agissant des émissions annuelles de CO₂ des sols minéraux, celles-ci s'élèvent à 2,12 tCO₂/ha/an¹⁴, en considérant une période de transition

⁹ GIEC, 2003, Tableau 3.2.2, Forêt tropicale

¹⁰ Equation 2.23 du GIEC 2006, niveau 1

¹¹ GIEC, 2003, Tableau 3.2.1, Forêt tropicale

¹² <http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/projects/RenewableEnergy/>

¹³ SOCREP dans GIEC 2006, Tableau 2.3

¹⁴ Cfr. Feuille de calcul du NERF de la RDC, Portée

de 20 ans et en utilisant l'Équation 2.5, GIEC 2006. Ces émissions correspondent à 0,44% de celles relatives à la biomasse vivante, ce qui est insignifiant.

Par ailleurs, il n'est pas nécessaire de calculer séparément les émissions issues de la déforestation sur des sols organiques et ceux sur sols minéraux. Il existe en effet des sols organiques en RDC et certains d'entre eux sont rencontrés dans les forêts, notamment dans les forêts denses humides sur sol hydromorphe. La déforestation dans ce type de forêts s'élève à 377,60 ha/an¹⁵ (soit moins de 1% de la déforestation annuelle totale) pour la période 2000-2010 et 967,59 ha/an¹⁶ (soit moins de 1% de la déforestation annuelle totale) pour la période 2010-2014. En outre, la déforestation des forêts denses sur sol hydromorphe en RDC n'est pas associée à un drainage des terres pour leur mise en exploitation, le carbone stocké dans le sol n'est donc pas exposé à la décomposition des tourbières, pas plus que celles-ci ne sont exposées aux feux de brousse.

4.4 Portée des gaz pris en compte

La RDC a opté pour le CO₂ comme seul gaz à effet de serre pris en compte pour le NERF. Le pays n'a retenu que le CO₂ car les émissions y relatives sont largement supérieures à celles des autres gaz, tel que renseigné dans la communication initiale (2000), la seconde (2009) et la troisième communication nationale (2015) de la RDC à la CCNUCC.

En effet, les émissions des gaz non-CO₂, c.-à-d. CH₄ et NO₂ sont essentiellement associés aux feux de brousse pour l'agriculture d'abattis-brûlis. Ces feux ont une occurrence extrêmement faible dans les forêts tandis qu'ils sont plus fréquents dans les savanes ligneuses et arborées. Les émissions y relatives durant les périodes 2000-2010 (en moyenne 14 964 MtCO₂/an¹⁷) et 2010-2014 (en moyenne 14 291 MtCO₂e/an¹⁸) sont inférieures à 1% des émissions moyennes annuelles issues de la déforestation durant ces deux périodes.

¹⁵ Feuille de calcul du NERF de la RDC, Données d'activités 2000-2010

¹⁶ Feuille de calcul du NERF de la RDC, Données d'activités 2010-2014

¹⁷ FAOSTAT, Emissions (CO₂eq) (Burning - savanna)

¹⁸ FAOSTAT, Emissions (CO₂eq) (Burning - savanna)

5 PÉRIODE DE RÉFÉRENCE ET DE VALIDITÉ DU NERF

Ce chapitre justifie les choix de la période de référence et de la période comptable du NERF de la RDC.

5.1 Période de référence du NERF

La période de référence du NERF va de 2000 à 2014.

L'année 2000 a été choisie comme année de référence car elle constitue un point de convergence de la grande majorité de produits cartographiques relatifs aux étendues forestières de la RDC. Parmi ces produits, on peut citer notamment ceux issus du Système National de Surveillance des Forêts (SNSF), la cartographie FACET (Potapov et *al.*, 2012), les estimations de la déforestation par Duveiller et *al.* (2008), Ernst et *al.* (2013), Hansen et *al.* (2013) et la cartographie forestière des provinces du Mai-Ndombe, Kwilu et Kwango dans le cadre du projet DIAF-JICA Forêts (DIAF-JICA, 2015). L'année 2000 est en outre l'année de référence choisie par la RDC pour sa Contribution Prévue Déterminée au niveau National (CPDN) au titre de la CCNUCC.

L'année 2014 a quant à elle été choisie car elle constitue l'année charnière entre les phases de préparation et d'investissement de la stratégie-cadre nationale REDD+ de la RDC, tel que mentionné dans le Plan d'Investissement (PI) REDD+, qui opérationnalise les priorités de mise en œuvre de la stratégie-cadre nationale REDD+ pour la période 2015-2020 (République Démocratique du Congo, 2015).

Déjà en 2011, le Gouvernement de la RDC avait inclus la lutte contre le changement climatique et la protection de l'environnement comme le quatrième pilier de son deuxième Document de la Stratégie de Croissance et de Réduction de la Pauvreté (DSCR). La REDD+ et la stratégie-cadre nationale y sont identifiées comme un moyen à la fois de gestion durable des forêts et d'atténuation à moindre coût du changement climatique. Ainsi, de nombreuses actions proposées dans le PI contribuent directement au programme d'action du gouvernement pour la mise en œuvre du DSCR.

Le PI combine ainsi le renforcement continu des capacités nationales avec des activités ciblées sur (i) des réformes et des programmes sectoriels à l'échelle nationale coordonnés avec (ii) des investissements intégrés et innovants au niveau sous-national, afin de doter le pays de modèles de développement durable. Ce plan d'investissement vise à attirer et guider des financements internationaux et nationaux pour la mise en œuvre de la REDD+ dans le pays, ainsi qu'à aligner d'autres investissements nécessaires pour l'avancement du pays vers le développement vert.

Concrètement, le PI vise à décliner à moyen terme la stratégie-cadre nationale REDD+ en résultats et programmes concrets permettant de répondre efficacement aux moteurs de la déforestation et de la dégradation forestière et assurer des co-bénéfices de développement pour la société congolaise dans son ensemble. Huit secteurs d'interventions sont ainsi programmés à savoir l'agriculture, le bois-énergie, les forêts, les mines, hydrocarbures et infrastructures, l'aménagement du territoire, le foncier, la démographie et la gouvernance. Le PI prévoit ainsi la mise en œuvre de différents types d'activités au travers de réformes, programmes sectoriels et programmes intégrés.

Les activités dites sectorielles visent à répondre à des causes directes de la déforestation et de la dégradation forestière, tandis que les activités habilitantes sont celles qui visent à créer des conditions favorables à la mise en œuvre des activités sectorielles, permettant également d'adresser les causes directes et sous-jacentes de la déforestation, et contribuent à la durabilité des réductions d'émissions générées. Les programmes sont des interventions ayant une portée nationale (réformes, définition des politiques sectorielles, recherche et planification stratégique, etc.) et prennent en compte à priori un seul pilier de la stratégie cadre nationale REDD+. Les programmes intégrés visent quant à eux à mettre en œuvre la REDD+ de façon multisectorielle, dans des zones géographiques juridictionnelles définies d'enjeux REDD+ forts, prioritairement à l'échelle nationale.

5.2 Période de validité

La période de validité du présent NERF s'étend de 2015 à 2019. La RDC considère ainsi qu'une période d'au moins 5 ans doit s'écouler préalablement à l'actualisation éventuelle de ce NERF. Toutefois, en fonction de la disponibilité de nouvelles données permettant de faire un saut substantiel dans la qualité des estimations du NERF, le pays pourrait actualiser son NERF dans une période inférieure à 5 ans.

La période de référence choisie est représentative de la période de validité car il est attendu que les moteurs directs et indirects de la déforestation se maintiennent au même rythme jusqu'à l'horizon 2020, voire 2030 selon un scénario de type *business-as-usual*. En effet, les financements mobilisés pour la mise en œuvre du plan d'investissement, de l'ordre de 200 Millions US\$, proviennent uniquement de l'appui des bailleurs et représentent seulement 1/5^e du budget total estimé du PI. Les investissements disponibles représentent donc une petite part de l'investissement requis pour réduire la déforestation et la pression des moteurs qui la sous-tendent. Par ailleurs, il existe une période de latence entre la mise en œuvre des investissements et le déclenchement des changements de comportements, modes de consommation et environnement habilitant qui promeut de meilleures pratiques de production agricole et énergétique. De plus, il est attendu que durant la période comptable, la croissance démographique, qui est la cause sous-jacente majeure de la déforestation en RDC, se maintienne à un taux moyen situé entre 3 et 4%, tandis que la distribution spatiale de la population demeurera fonction des infrastructures routières et de l'accessibilité aux grandes villes.

De même, la seconde cause sous-jacente de la déforestation relative aux aspects institutionnels liés aux décisions politiques, à la gouvernance et à la politique de gestion durable des écosystèmes forestiers, va très probablement se maintenir dans le cadre observé durant la période de référence car les orientations politiques majeures au niveau national ne prennent pas encore suffisamment en compte la gouvernance forestière, y inclus la mise en œuvre d'un plan d'aménagement du territoire déterminant notamment les affectations majeures des forêts congolaises.

Enfin, il est aussi attendu que durant la période de validité, les autres causes sous-jacentes de la déforestation que sont le développement des infrastructures et l'urbanisation, ou encore des aspects plus généraux relatifs à la situation économique du pays (crise économique, chômage, pauvreté, etc.) évoluent selon la tendance observée durant la période de référence. En effet, les signaux de relance économique couplée à une politique solide de lutte contre le chômage et la pauvreté demeurent encore faibles à l'échelle nationale pour être à même d'inverser substantiellement les tendances observées durant la période de référence en ce qui concerne l'évolution de la déforestation.

6 LES DONNÉES D'ACTIVITÉS

Ce chapitre synthétise la méthodologie adoptée pour produire les données d'activités (DA) dans le cadre de l'établissement du NERF de la RDC. Les DA sont produites aux échelles provinciales (pour les 26 provinces de la RDC) et agrégées au niveau national, pour les deux phases de la période de référence du NERF (2000-2010 & 2010-2014).

6.1 Approche générale

L'approche générale de production des DA peut être décomposée en deux grandes étapes successives : (1) l'estimation de la surface de déforestation « totale » - c'est-à-dire tous types de forêt confondus, puis (2) la désagrégation de cette déforestation « totale » en transitions (des différents types de forêt → différents types de non-forêt), ce qui constitue les données d'activités proprement dites. Cette approche générale est illustrée en Figure 6-1, où les flèches bleues représentent les sous-étapes de l'étape n°1 (estimation de la déforestation « totale ») et les flèches rouges représentent l'étape n°2 (désagrégation de la déforestation « totale » entre transitions).

L'estimation de la surface de déforestation totale, ainsi que des surfaces de forêt et de non-forêt stables totales (étape n°1), a été réalisée pour chacune des deux phases de la période de référence en suivant les bonnes pratiques décrites par Olofsson et *al.* (2014). La méthodologie associée à cette première étape du calcul des DA peut elle-même être décomposée en sept étapes : (i) la génération des mosaïques (Figure 6-1, 1), (ii) l'établissement du modèle des changements (Figure 6-1, 2-3), (iii) la génération de la carte des changements, (iv) la définition du système de réponse (Figure 6-1, 4), (v) la définition du système d'échantillonnage (Figure 6-1, 5), (vi) la définition des critères d'interprétation et l'interprétation visuelle des échantillons de référence (Figure 6-1, 6), et (vii) la production des statistiques (estimation des surfaces de forêt stable, de non-forêt stable, de déforestation, et les niveaux d'erreur associés) (Figure 6-1, 7).

La surface de déforestation « totale » est par la suite désagrégée entre les différentes transitions (flèches rouges en Figure 6-1) sur la base de la fréquence de chaque type de transition observée dans la base de donnée des échantillons de référence.

Il est à noter que si le NERF de la RDC rapporte les émissions nationales, la méthodologie mise en place vise à produire des DA à l'échelle provinciale afin de fournir des informations sur la dynamique de déforestation spécifique à chaque province. Certaines étapes de la méthodologie sont donc réalisées à l'échelle nationale (travail cartographique, système de réponse et critère d'interprétation des points de référence) tandis que d'autres sont réalisées à l'échelle provinciale (échantillonnage des points de référence stratifié par province, production des statistiques de déforestation totale et des DA par province). Les DA provinciales et les niveaux d'erreur associés sont agrégées pour obtenir les estimations nationales.

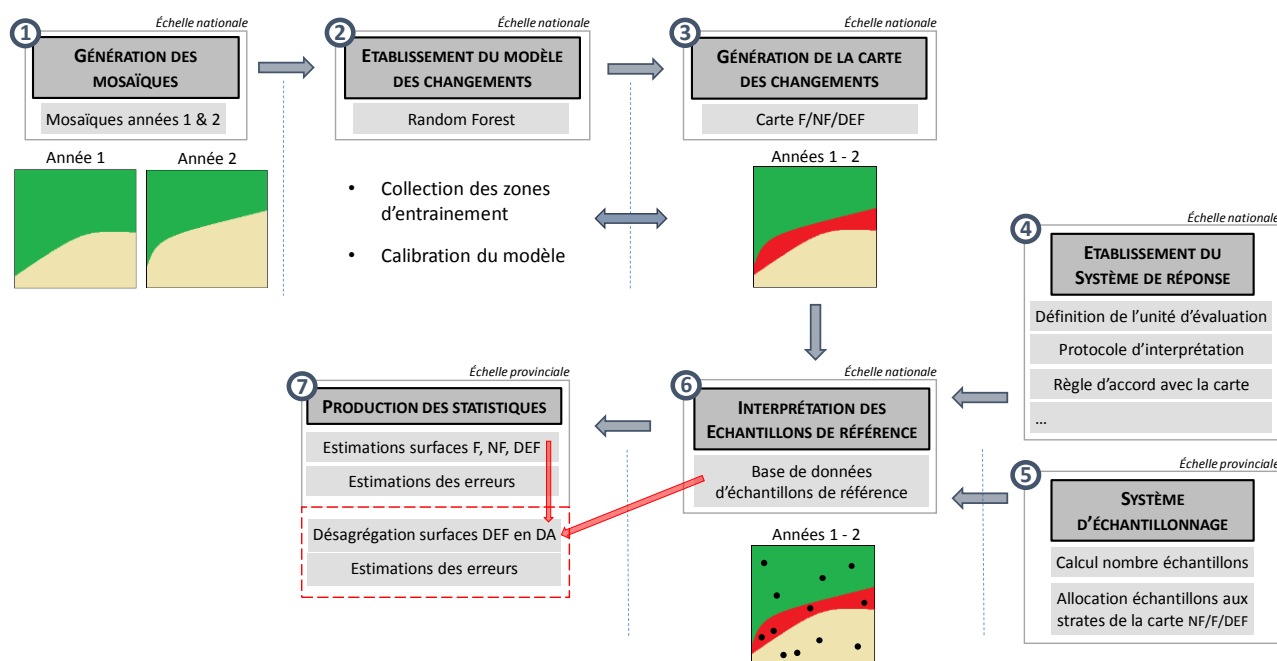


Figure 6-1: Approche méthodologique générale pour la production des données d'activités.

Chaque étape de l'approche générale de production des DA, telle qu'illustré en Figure 6-1 est décrite à partir du point 6-3 ci-dessous, après avoir listé les sources des données utilisées.

6.2 Sources des données

Un peu plus de 12 500 images Landsat des capteurs *Thematic Mapper* (Landsat 5 - TM), *Enhanced Thematic Mapper Plus* (Landsat 7 – ETM+) et *Operational Land Imager* (Landsat 8 – OLI) ont été utilisés pour construire les données d'activités. Ces images ont été sélectionnées selon les modalités décrites au point 6.3.1. Les sources des images pour l'interprétation des échantillons de référence en vue de l'évaluation de la précision de la carte des changements dans la couverture forestière, du calcul des estimations des superficies forestières (forêt stable, non-forêt stable et déforestation) ainsi que les niveaux d'erreurs y associés sont présentés à partir du point 6.6 au point 6.9.

6.3 ÉTAPE 1: Composition des mosaïques

La plateforme *Google Earth Engine API* (GEE API, <https://code.earthengine.google.com/>) a été utilisée pour générer une mosaïque *Landsat* couvrant l'entièreté du pays, et ce pour les années 2000, 2010 et 2014.

La création de mosaïques à l'échelle de la RDC requiert la prise en compte de trois contraintes : (i) la couverture nuageuse, (ii) la saisonnalité et (iii) la disponibilité des images à la période souhaitée sur l'entièreté du territoire. La couverture nuageuse constitue une limitation importante à l'utilisation de certaines scènes acquises dans les zones côtières et dans certaines parties de la RDC. Pour contourner cette difficulté, le choix a été fait de recourir à plus d'une image satellite sur une zone donnée. Par

ailleurs, la saisonnalité est un paramètre important car l'utilisation d'images acquises à des saisons différentes peut mener à la détection de faux changements dans la couverture forestière. Enfin, du fait du nombre nécessairement limité d'images exploitables pour chaque date d'intérêt, un intervalle de temps est fixé autour de chaque année (2000, 2010, 2014) afin de rechercher les meilleurs pixels ou les images individuelles qui constitueront une mosaïque.

La procédure de génération d'une mosaïque est composée de deux étapes : (i) la sélection des scènes et (ii) l'assemblage des scènes.

6.3.1 Sélection des scènes

Pour chaque année d'intérêt, les scènes ont été sélectionnées autour d'un jour « cible » fixé au jour julien 170 de l'année. Étant donné l'immensité du territoire et l'enneigement important et persistant de la région, la recherche de scènes a été faite dans les archives de plusieurs satellites (Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8) et pour des intervalles de temps de taille variable autour du jour cible. Seules les scènes ayant une couverture nuageuse ≤ 90 % ont été considérées. Le Tableau 6-1 synthétise les scènes sélectionnées pour composer les mosaïques.

Tableau 6-1 : Scènes utilisées pour la génération des mosaïques des années 2000, 2010 et 2014 (LT5 = Landsat 5 TM, LE 7 : Landsat 7 ETM+, LC 8 : Landsat 8).

Année	Intervalle de recherche d'images	Satellite	Nombre d'images
2000	1999 – 2003	LT5	875
2010	2009 – 2011	LT5	1 181
		LE7	3 689
2014	2014-2015	LE7	3 116
		LC8	3 709
Total			12 570

6.3.2 Assemblage des scènes

Les scènes sélectionnées ont été combinées en fonction des périodes (Tableau 6-1) afin de produire des mosaïques, lesquelles ont été stockées et utilisées directement (sans être téléchargées) au sein de la plateforme GEE *API*. Les mosaïques ont été générées à l'échelle du pays et assemblées en suivant une approche dite “du meilleur pixel”. Pour chaque période, les pixels ont été pondérés par plusieurs critères:

- (1) Distance (en jours) au jour cible ;
- (2) Couverture nuageuse
- (3) Indice de végétation NDVI ;
- (4) Température (dérivée de la bande thermique des satellites Landsat)

Les meilleurs pixels sont ainsi définis comme étant les plus proches du jour cible, les moins nuageux, les plus verts et les plus chauds.

6.4 ÉTAPE 2: Établissement du modèle de changement

La génération d'une carte de déforestation nécessite l'établissement d'un modèle de détection des changements. Un modèle de Forêt Aléatoire (*Random Forest*, Breiman, 2001), algorithme populaire pour la détection des changements (e.g. Hansen et al., 2013), a été utilisé. Le modèle combine un ensemble d'indices spectraux pour détecter un changement important dans la réponse spectrale d'un pixel entre deux dates. Ces indices spectraux sont les bandes (bd) 4, 5, 6, 7 et les ratios de ces bandes (bd4/bd5, bd4/bd6, bd4/bd7, bd5/bd6, bd5/bd7 et bd6/bd7). Du fait de l'influence des saisons sur le fonctionnement des écosystèmes terrestres (en particulier des forêts) et *in fine* de leurs propriétés spectrales, le territoire national a été divisé en trois grands blocs présentant une saisonnalité homogène (Figure 6-2).

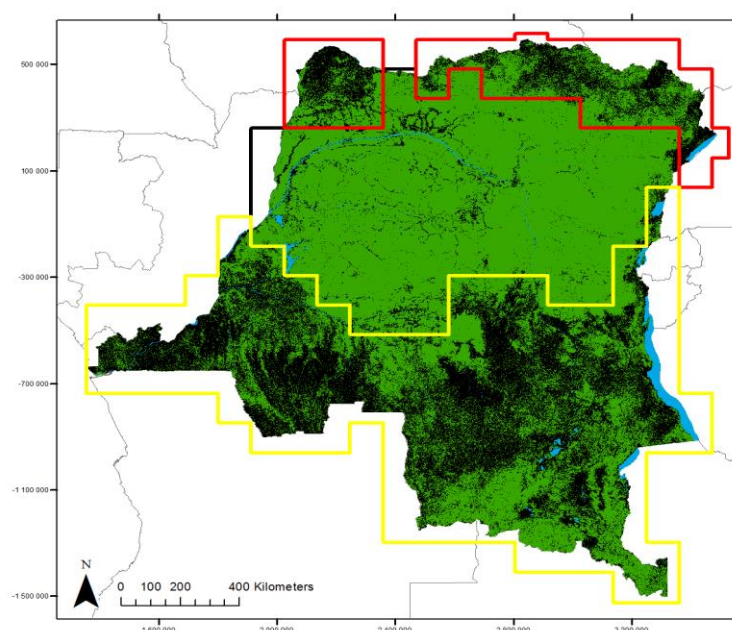


Figure 6-2: Blocs de saisonnalité homogène des forêts congolaises.

Pour chaque période d'intérêt et pour chaque bloc, un modèle de détection de changement a été calibré à l'aide de points collectés dans GEE API sur des zones « stables » (forêt ou non-forêt) et des zones de changements (déforestation). Le Tableau 6-2 décrit le nombre de points de calibration utilisés par classe et par période.

Tableau 6-2 : Nombre de points collectés dans Google Earth Engine pour calibrer les modèles de détection de changement pour chaque grand bloc du pays (Nord, Centre et Sud) et chaque période d'analyse.

Bloc	Modalité	Nombre de points de calibration	
		2000-2010	2010-2014
Nord	Changement	71	83
	Stable	62	264
Centre	Changement	79	151
	Stable	153	348
Sud	Changement	20	130
	Stable	68	477

Les cartes de déforestation produites ont été par la suite superposées aux mosaïques Landsat meilleur-pixel de l'année 2 utilisées dans Potapov et *al.* (2012), pour inspection visuelle et élimination des faux changements. Les faux changements identifiés étaient principalement liés aux effets d'orbites (ou « *bidirectional reflectance distribution function* », Morton et *al.*, 2014) et aux effets de saisonnalité des végétations.

6.5 ÉTAPE 3 : Génération de la carte des changements

La carte des changements représente la « forêt stable » (F), la « non-forêt stable » (NF), et la « déforestation » (DEF) durant une période de temps donnée. Afin de générer la carte des changements entre une année 1 (initiale) et une année 2 (finale), les cartes suivantes ont été combinées : (i) une carte des forêts / non-forêts de l'année 1 (initiale) avec (ii) une carte de la déforestation entre les années 1 (initiale) et 2 (finale).

6.5.1 Carte forêt / non-forêt

Une carte de base stratifiant le pays en « forêts » et « non-forêts » a été établie pour l'année 2000. Cette carte a été produite sur base de la carte de stratification nationale décrite en Annexe 8, en agrégeant les différentes classes forestières en une classe unique « forêts » et les différentes classes non-forestières en une classe unique « non-forêts ».

La superposition de la carte de déforestation 2000 – 2010 (dont la méthodologie de production est décrite en section 6.5.2) à la carte des forêts / non-forêts de l'année 2000 permet de produire la carte des forêts / non-forêts de l'année 2010, en convertissant les pixels déforestés en non-forêts.

6.5.2 Carte des changements entre les années 1 et 2

Pour chaque période d'intérêt, la carte forêt / non-forêt (décrite en 6.5.1) est superposée à la carte de déforestation (décrite en 6.4) pour obtenir la carte des changements forêt / non-forêt / déforestation pour la période d'intérêt.

6.6 ÉTAPE 4 : Établissement du système de réponse

Le système de réponse régit le protocole d'encodage et d'interprétation des échantillons de référence permettant l'évaluation de la précision de la carte des changements, le calcul des estimations des surfaces de forêt stable, de non-forêt stable, de déforestation ainsi que les niveaux d'erreurs associés. Suivant le guide pratique pour l'évaluation de la précision des cartes et l'estimation des surfaces de la FAO (FAO, 2016), le système de réponse est défini en considérant (1) l'unité d'évaluation spatiale, (2) les sources des données de référence, (3) le protocole d'assignation des classes aux échantillons de référence et (4) la règle d'accord entre échantillons de référence et valeurs de la carte.

6.6.1 Unité d'évaluation spatiale

Afin de conserver la cohérence entre la résolution de la carte de changement, correspondant à l'échelle à laquelle les changements sont détectés sur images satellites par l'algorithme décrit en Section 6.4, et l'échelle à laquelle la carte est évaluée, les échantillons de référence ont été définis comme des carrés de 30 m de côté. Ce choix implique qu'il existe un écart entre la superficie officielle de la forêt (0,5 ha) et la superficie opérationnelle de la forêt (carrés de 30 m de côté, soit 0,09 ha), mais garantie l'utilité de la carte des changements pour guider l'échantillonnage des points de référence et *in fine* réduire les erreurs d'estimation des changements.

6.6.2 Sources des données de référence

L'interprétation visuelle des échantillons de référence est réalisée dans le logiciel *Collect Earth* développé par la FAO (Bey et *al.*, 2016). *Collect Earth* permet d'accéder aux images à haute (≤ 10 m) et très haute (≤ 1 m) résolution spatiale des bases de données *Google Earth*, *Bing* et *Google Earth Engine*. En pratique, certains échantillons de référence ne sont couverts que par des images Landsat, notamment pour l'année 2000. Néanmoins, l'interprétation visuelle du contexte des échantillons de référence et de la série temporelle au niveau des échantillons permet généralement, à l'aide des images à haute résolution, d'obtenir une classification de meilleure qualité que celle de la carte.

6.6.3 Protocole d'assignation des classes aux points de référence

Les classes d'occupation du sol attribuées aux échantillons de référence sont listées en Figure 6-3 et les critères d'interprétation des classes sont décrits en Annexe 1. L'interprétation du type d'occupation du sol sur chaque échantillon de référence est faite à l'année 1 (initiale) et 2 (finale) définissant la période d'intérêt. Un intervalle de temps de ± 6 mois autour de l'année d'intérêt est utilisé pour la sélection des images sur lesquelles l'interprétation est réalisée (exemple : entre le 1^{er} juillet 1999 et le 30 juin 2001 pour l'interprétation d'un échantillon de référence de l'année 2000). Pour chaque année, une unique classe est attribuée à l'entièreté de l'échantillon de référence en considérant la classe d'occupation majoritaire. Un post-traitement est réalisé pour convertir les informations enregistrées aux années 1 et 2 en « forêt stable », « non-forêt stable » et « déforestation ». En pratique, seules les classes de niveau 1 (i.e., « forêt » ou « non-forêt » voir Figure 6-3) sont utilisées pour calculer les superficies de forêt stable, de non-forêt stable, de déforestation et les niveaux d'erreur associés. Les informations contenues dans les classes de niveaux 2 et 3 sont utilisées pour renseigner les classes d'occupation du sol faisant suite aux épisodes de déforestation (voir Section 6.9.2).

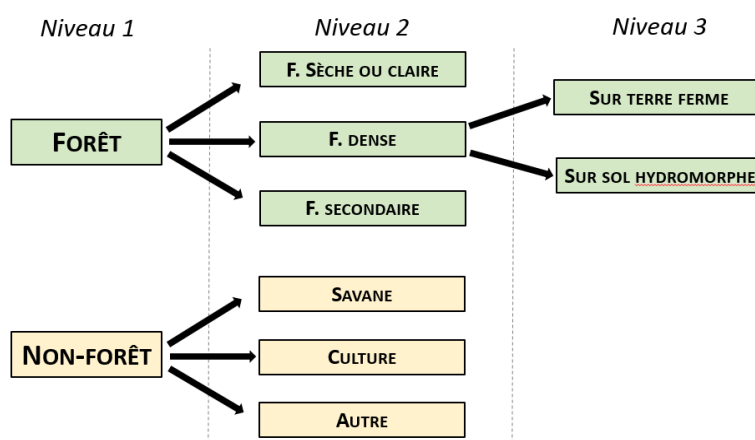


Figure 6-3 : Organisation hiérarchique des classes d'occupation du sol attribuées aux points de référence à chaque année d'interprétation.

6.6.4 Règles d'accord entre échantillons de référence et valeur carte

Le système de classification de niveau 1 des points de référence (après post-traitement : forêt stable, non-forêt stable, déforestation) et le système de classification des cartes étant identique, la règle d'accord est directe.

6.7 ÉTAPE 5 : Système d'échantillonnage

Pour chaque période d'analyse, la carte des changements est utilisée pour stratifier l'échantillonnage aléatoire des points de référence, et ainsi diminuer les erreurs associées aux estimations des surfaces à effort d'échantillonnage égale (Olofsson et al., 2014). L'échantillonnage est réalisé à l'échelle provinciale.

- Nombre d'échantillons théorique et pratique

Avec une erreur standard souhaitée sur la précision globale $S(\hat{O})$ de 0,01, et en faisant l'hypothèse que la précision utilisateur sur les strates de forêts stable, de non-forêt stable et de déforestation (U_i , avec i la strate d'intérêt) est de 0,9, 0,95 et 0,50 respectivement, le nombre d'échantillons nécessaire est donné par la formule suivante :

$$n = \left(\frac{\sum W_i S_i}{s(\hat{O})} \right)^2 \quad (\text{Eq. 6-1})$$

avec $S_i = \sqrt{U_i * (1 - U_i)}$ et W_i la proportion des pixels de la carte attribuée à la strate i .

Si la formule 6-1 donne $n_1 = 755$ (pour 2000 – 2010) et $n_2 = 741$ (pour 2010 – 2014) pour atteindre l'erreur souhaitée sur la précision globale à l'échelle nationale, atteindre ce niveau d'erreur dans les 26 provinces de RDC nécessite $n_1 = 19\,044$ et $n_2 = 18\,629$ échantillons (calcul détaillé en Annexe 2-A). Au jour de la soumission du présent document, un nombre total d'échantillons de $n_1 = 10\,701$ pour la période 2000 – 2010 et $n_2 = 10\,623$ pour la période 2010 – 2014 a été collecté (décomposition de n_1 et n_2 par province en Annexe 2-B). Si cet effort d'échantillonnage ne permet pas d'atteindre la précision souhaitée à l'échelle provinciale, le nombre d'échantillons collectés dépasse très largement le nombre d'échantillons théoriquement nécessaire pour atteindre la précision souhaitée à l'échelle nationale.

- Allocation des échantillons aux strates des cartes des changements

L'allocation des échantillons aux strates reflète un compromis entre deux objectifs principaux : minimiser les erreurs sur (1) l'estimation de la surface de déforestation et (2) les proportions des transitions entre types de forêt et types de non-forêt – afin de désagréger la déforestation totale en données d'activités. Le premier objectif implique une allocation des échantillons proportionnelle à la surface des strates de la carte (colonnes $n_{\text{proportionnelle-}i}$ du Tableau 6-3). Le second objectif implique d'allouer les échantillons à la strate de déforestation uniquement. Une allocation déséquilibrée, privilégiant la strate de déforestation par rapport à une simple allocation proportionnelle, a été retenue (colonnes n_{1-i} et n_{2-i} du Tableau 6-3).

Tableau 6-3 : Synthèse nationale de l'allocation des échantillons de référence aux strates i des cartes des changements. L'échantillonnage étant réalisé à l'échelle provinciale, le détail des allocations par province est fourni en Annexe 2-C.

	2000 - 2010			2010 - 2014		
	W_i	$n_{\text{proportionnelle-}i}$	n_{1-i}	W_i	$n_{\text{proportionnelle-}i}$	n_{2-i}
Non-Forêt	0,35	3713	3808	0,36	3862	3898
Forêt	0,64	6810	4284	0,63	6651	4166
Deforestation	0,02	177	2609	0,01	110	2559
Total	1,00	10 701		1,00	10 623	

6.8 ÉTAPE 6 : Interprétation des échantillons de référence

Pour chaque année d'intérêt, les points de référence ont été interprétés à l'aide des critères d'interprétation visuels de chaque classe d'occupation du sol décrits en Annexe 1.

6.9 ÉTAPE 7 : Production des statistiques

Les estimations des superficies de forêt stable, de non-forêt stable et de déforestation, la désagrégation de la déforestation en DA, et les erreurs associées à chacune de ces estimations sont réalisées à l'échelle des provinces. Les estimations provinciales peuvent par la suite être agrégées pour obtenir des estimations nationales.

6.9.1 Estimation des surfaces de forêt stable, de non-forêt stable et de déforestation

Les analyses statistiques produisant les estimations de surface de forêt stable, de non-forêt stable, de déforestation, et les intervalles de confiance associés, ont été réalisées dans la plateforme “*System for Earth Observation Data Access, Processing and Analysis for Land Monitoring*” (SEPAL, <https://sepal.io>) développée par la FAO. SEPAL est un outil libre d'accès permettant, entre autre, de produire les statistiques de couverture forestière et de changement sur la base d'un échantillonnage aléatoire stratifié, en suivant les recommandations d'Olofsson et *al.* (2014). En particulier, les estimations de surface sont dérivées des échantillons de référence et non des cartes de changements, dans la mesure où baser les estimations de surfaces sur ces dernières mène à des résultats biaisés pour les classes de changement (e.g. Olofsson et *al.*, 2014; Tyukavina et *al.*, 2015).

6.9.2 Désagrégation de la déforestation en données d'activités

Les données d'activités correspondent aux superficies (en ha/an) transitant d'une classe d'occupation du sol à une autre durant une période d'intérêt. Les transitions d'intérêt dans le cadre de ce NERF sont celles relatives à la déforestation, soient les transitions des classes forestières vers des classes non-forestières, durant les deux phases de la période de référence (2000-2010 et 2010-2014).

Afin de désagréger les estimations de déforestation (en ha) produites (Section 6.9.1) en données d'activités annuelles, il est fait recours aux proportions des transitions observées dans les échantillons de référence. Ainsi, pour chaque province, les échantillons de référence correspondant à une « déforestation » durant les périodes 2000-2010 et 2010-2014 sont compilés dans une table unique et la proportion de chaque transition calculée. La superficie associée à chaque transition est obtenue en multipliant la déforestation totale dans la province pour la période d'analyse par la proportion relative de la transition visée. Le résultat est par la suite divisée par le nombre d'années écoulées entre l'année initiale et l'année finale, soit donc 10 ans pour l'analyse de la période 2000-2010 et 4 ans pour la période 2010-2014, en vue d'obtenir les données d'activités par ha et par an.

Un exemple de calcul des données d'activités est fourni dans le Tableau 6-4 ci-dessous, pour la province du Kwango et pour la période 2000-2010.

Tableau 6-4 : Estimation des données d'activités (en ha/an) pour la province de Kwango entre 2000-2010. « DEPUIS » et « VERS » designent les classes de départ et d'arrivée des transitions, respectivement. Accronymes des classes d'occupation du sol : FDHSH (forêt dense humide sur sol hydromorphe), FDHTF (forêt dense humide sur terre ferme), FSFC (forêt sèche ou forêt claire), FSc (forêt secondaire), CRCA (culture et régénération de culture abandonnée).

PROVINCE DE KWANGO							
DEPUIS	VERS	Proportion des transitions			Données d'activités (DA)		
		Proportion	± 90% IC	Erreur relative (%)	DA (ha/an)	± 90% IC	Erreur relative (%)
FDHSH	CRCA	0	0	0	0	0	0
	Savane	0	0	0	0	0	0
	Agglomération et Autre	0	0	0	0	0	0
FDHTF	CRCA	0,45	0,08	17,78	37 278,36	11516,09	30,89
	Savane	0,03	0,03	100	2 236,70	2 188,66	97,85
	Agglomération et Autre	0,03	0,03	100	2 236,70	2 188,66	97,85
FSFC	CRCA	0,38	0,08	21,05	31 313,84	10 190,88	32,54
	Savane	0,01	0,01	100	745,55	1 245,72	167,08
	Agglomération et Autre	0	0	0	0	0	0
FSc	CRCA	0,06	0,04	66,67	5 218,97	3 436,00	65,84
	Savane	0,02	0,02	100	1 491,14	1 774,42	119
	Agglomération et Autre	0,04	0,03	75	2 982,27	2 544,96	85,34

Le Tableau 6-4 indique que dans près de 90% des transitions observées, la déforestation au Kwango concerne la conversion des terres forestière en cultures et régénérations de cultures abandonnées, corroborant les conclusions de différentes études relatives aux moteurs directs de la déforestation en RDC (Section 2.2). Les données d'activités indiquent aussi que plus de la moitié des événements de déforestation observés durant la période de référence ont pris place au sein de la forêt dense humide sur terre ferme.

6.10 Analyse des incertitudes

Les données d'activités combinent deux types d'estimations : (1) les surfaces déforestées (en ha) et (2) les proportions des transitions entre classes d'occupation du sol. Ces deux estimations sont sujettes à diverses sources d'erreur qui se propagent en une erreur totale sur chaque donnée d'activité.

6.10.1 Incertitude sur les estimations de déforestation

Les estimations de déforestation sont sujettes à (1) l'erreur d'échantillonnage, (2) l'erreur de géo-localisation et (3) l'erreur d'interprétation des échantillons de référence (Olofsson et *al.*, 2014).

Dans ce document, les niveaux d'erreur associés aux estimations de déforestation (intervalles de confiance à 90%) intègrent uniquement l'erreur d'échantillonnage. Ces estimations d'erreur ont été calculées dans le logiciel SEPAL sur la base des formules présentées dans Olofsson et *al.* (2014) pour le calcul de l'erreur sur un estimateur stratifié de proportion de surface (équations 10 et 11). L'Annexe

3-1 présente, pour la province du Kwango, un exemple détaillé du calcul de la surface déforestée entre 2000 et 2010 et de l'erreur associée à cette estimation.

L'erreur de géo-localisation fait référence au décalage spatial pouvant exister entre les images Landsat utilisées pour construire les cartes de changement et les images sur lesquelles l'interprétation des échantillons de référence est réalisée. Cette erreur, difficilement quantifiable, n'a pas été prise en compte.

L'erreur d'interprétation des échantillons de référence fait typiquement référence à la variabilité pouvant exister entre opérateurs dans l'attribution d'une classe d'occupation du sol à un même échantillon de référence. Cette source d'erreur peut être estimée – et intégrée aux intervalles de confiance – en mettant en place une procédure de réinterprétation d'une certaine proportion des échantillons de référence par l'ensemble des opérateurs. La mise en place d'une telle procédure constitue une perspective d'amélioration prioritaire de ce travail.

Enfin, l'écart entre définitions officielle (ou théorique) et opérationnelle de la forêt constitue également une source d'erreur. La superficie opérationnelle de la forêt (0,09 ha) étant bien inférieure à la superficie officielle (0,5 ha), une surestimation systématique des superficies forestières et déforestées est attendue, la déforestation étant détectée à une résolution plus fine que celle définissant officiellement la superficie forestière. Si l'écart entre définition officielle et opérationnelle de la forêt constitue une perspective d'amélioration de la méthode mise en place, les résultats permettent quant à eux de suivre la dynamique forestière à une échelle spatiale plus proche de celle des principaux moteurs directs de la déforestation en RDC (Section 2.2).

6.10.2 Incertitude sur les proportions des transitions

Les proportions des transitions par province, sont sujettes à (1) une erreur d'échantillonnage et (2) l'erreur d'interprétation des échantillons. Dans ce travail, seule l'erreur d'échantillonnage a été prise en compte, la deuxième source d'erreur constituant une perspective d'amélioration, tel qu'indiqué au Chapitre 10. L'Annexe 3-2 présente, pour la province du Kwango, un exemple détaillé du calcul des erreurs associées aux proportions des transitions entre classes.

6.10.3 Incertitude totale sur les données d'activités

Les données d'activités (en ha) résultent du produit de l'estimation de la déforestation (en ha) et des proportions des transitions dans une province donnée. L'erreur associée à chaque DA est estimée en suivant la règle classique de propagation des erreurs dans le cas du produit de quantités incertaines :

$$S(DA) = DA * \sqrt{\left(\left(\frac{S(\hat{A})}{\hat{A}}\right)^2 + \left(\frac{S(prop)}{prop}\right)^2\right)} \quad (\text{Eq. 6-2})$$

Avec $S(DA)$ l'erreur standard sur la DA d'intérêt, $S(\hat{A})$ l'erreur standard sur l'estimation de déforestation, $\hat{A}$ l'estimation de déforestation, $S(prop)$ l'erreur standard sur la proportion de la transition d'intérêt et $prop$ la proportion de la transition d'intérêt. Un intervalle de confiance à 90 % peut être calculé en multipliant $S(DA)$ par 1,645.

L'Annexe 3-3 présente, pour la province du Kwango, un exemple détaillé du calcul des données d'activités et des erreurs associées.

L'agrégation des données d'activités provinciales à l'échelle nationale mène à une réduction de l'erreur totale du fait de compensations. L'erreur sur une donnée d'activité donnée à l'échelle nationale est calculée avec l'équation suivante (GIEC, 2006) :

$$U_{national} = \frac{\sqrt{(DA_{prov-1} * U_{prov-1})^2 + (DA_{prov-2} * U_{prov-2})^2 + \dots + (DA_{prov-26} * U_{prov-26})^2}}{(DA_{prov-1} + DA_{prov-2} + \dots + DA_{prov-26})} \quad (\text{Eq. 6-3})$$

Avec $U_{national}$ l'erreur relative (en %) sur une donnée d'activité (DA) donnée (ex. « forêt dense humide sur terre ferme » vers « culture et régénération de culture abandonnée »), DA_{prov-i} la donnée d'activité de la province i (avec i allant de 1 à 26) et U_{prov-i} l'erreur relative associée à DA_{prov-i} (un demi intervalle de confiance à 90 % divisé par DA_{prov-i}).

6.11 Résultats des données d'activités

Les statistiques de déforestation provinciales sont présentées dans les feuillets #2 et #3, respectivement par les périodes 2000-2010 et 2010-2014, de la table Excel jointe à la soumission du NERF. Une fois agrégée à l'échelle nationale, la superficie de déforestation totale s'élève à 6 410 391,44 ha $\pm$ 735 925,03 ha (soit 11,48 % d'erreur) pour la période 2000 – 2010 et 7 005 535,30 ha $\pm$ 813 005,33 ha (soit 11,61 % d'erreur) pour la période 2010 – 2014.

Les données d'activités provinciales, c'est-à-dire les superficies de déforestation provinciales désagrégées par transition, sont présentées dans les feuillets #5 et #6, respectivement pour les périodes 2000-2010 et 2010-2014, de la table Excel jointe à la soumission du NERF. Les données d'activités agrégées à l'échelle nationale sont présentées dans le Tableau 6-5 ci-dessous.

Tableau 6-5 : Estimation des données d'activités (en ha/an) au niveau national entre 2000-2010 et 2010-2014. « DEPUIS » et « VERS » désignent les classes de départ et d'arrivée des transitions, respectivement. Accronymes des classes d'occupation du sol : FDHSH (forêt dense humide sur sol hydromorphe), FDHTF (forêt dense humide sur terre ferme), FSFC (forêt sèche ou forêt claire), FSc (forêt secondaire), CRCA (culture et régénération de culture abandonnée).

DEPUIS	VERS	DA 2000-2010 (ha/an)			DA 2010-2014 (ha/an)		
		ha/an	± 90% IC	Erreur relative (%)	ha/an	± 90% IC	Erreur relative (%)
FDHSH	CRCA	0	0	0	0	0	0
	Savane	0	0	0	0	0	0
	Agglomération et Autre	377,60	646,21	171,14	967,59	1 671,88	172,79
FDHTF	CRCA	291 356,57	41 946,82	14,40	680 483,99	103 379,77	15,19
	Savane	26 961,52	9 654,45	35,81	67 355,03	24 652,60	36,60
	Agglomération et Autre	32 644,15	10 859,52	33,27	70 889,14	24 609,67	34,72
FSFC	CRCA	57 442,00	16 373,54	28,50	187 047,95	55 095,87	29,46
	Savane	13 765,41	7 720,51	56,09	126 168,34	50 184,78	39,78
	Agglomération et Autre	10 478,50	6 824,47	65,13	106 807,28	46 187,86	43,24
FSc	CRCA	169 033,96	29 069,11	17,20	402 173,64	73 316,48	18,23
	Savane	13 937,92	6 648,44	47,70	61 334,91	29 634,12	48,32
	Agglomération et Autre	25 041,51	8 864,25	35,40	48 155,96	16 605,51	34,48

7 LES FACTEURS D'ÉMISSIONS

Ce chapitre synthétise la méthodologie adoptée pour estimer les valeurs de biomasse pour l'ensemble des strates de la stratification nationale et calculer les facteurs d'émissions correspondants aux activités (i.e., transitions entre classes de la stratification nationale). La méthodologie de calcul des facteurs d'émissions est synthétisée dans la Figure 7-1 ci-après.

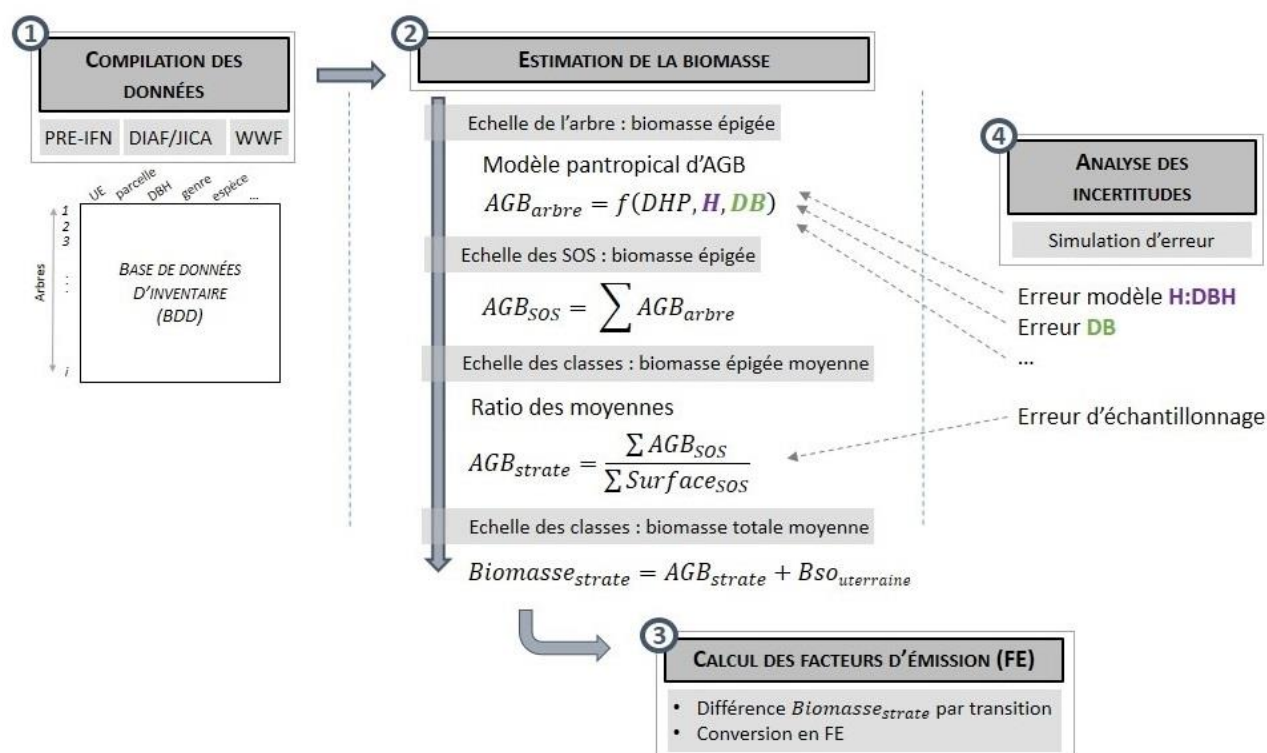


Figure 7-1 : Approche méthodologique générale pour le calcul des facteurs d'émissions.

7.1 Sources des données

En l'absence de données issues d'un inventaire forestier national complet, les données du pré-inventaire forestier national (données PRE-IFN), collectées sur l'ensemble du pays (à l'exception du Nord Kivu, du Sud Kivu et du Kongo Central), ont été complétées avec deux autres jeux de données d'inventaires, à savoir l'inventaire réalisé par la DIAF dans le cadre du projet DIAF-JICA Forêts (ci-après « données DIAF-JICA ») dans l'ex province du Bandundu et l'inventaire réalisé par la DIAF dans le cadre du projet de cartographie de la biomasse appuyé par le WWF-RDC (ci-après « données WWF »), données collectées dans la Tshopo, le Maniema, le Sankuru, la Mongala, la Tshuapa, l'Equateur et le Sud-Ubangi. Le Tableau 7-1 ci-dessous récapitule le nombre total d'Unités d'Échantillonnage (UE) qui ont été prises en compte pour l'estimation des valeurs de biomasse.

Tableau 7-1 : Sources de données

Source des données	Type d'UE et superficie (ha)				Total
	Grappe de 4 carrés de 60 x 60 m (1,44 ha)	Carré de 60 x 60 m (0,36 ha)	Grappe de 10 placettes circulaires de 30 m de diamètre (0,707 ha)	UE composée d'une grande parcelle carrée de 100 x 100 m et de 4 petites placettes carrées de 50 x 50 m (2 ha)	
PRE-IFN	-	13	15	-	28
DIAF-JICA	21	-	33	-	54
WWF	-	-	-	7	7
Total	21	13	48	7	89

La Division Inventaire Forestier National de la DIAF est propriétaire de toutes ces données et a accompagné ces différentes initiatives, ce qui constitue une forme de garantie de l'uniformité des procédures de collecte des données sur le terrain. Aussi, une description détaillée des méthodologies d'inventaire (plan d'échantillonnage, type de parcelle, etc.) du PRE-IFN et du projet DIAF-JICA Forêts est donnée respectivement en Annexes 9 et 4. Il est à noter que :

- Les données du PRE-IFN ont été collectées en suivant un plan d'échantillonnage aléatoire stratifié. La carte de stratification utilisée a été générée sur la base de la carte de Verhegghen *et al.* (2012), en agrégeant certaines classes de façon à obtenir les classes visées par la stratification nationale ;
- Les données DIAF-JICA ont été collectées en suivant un plan d'échantillonnage aléatoire stratifié. La carte de stratification utilisée, décrite en Annexe 8, est compatible avec la stratification nationale ;
- Les données WWF ont été collectées sur le pourtour de certaines parcelles du PRE-IFN, de façon à augmenter la superficie des dites parcelles de 0,36 à 2 ha.

7.2 ÉTAPE 1 : Compilation des données

Après analyse des différentes sources de données, une base de données centralisée reprenant les différents jeux de données a été compilée. Les données relatives aux lianes, aux bois morts ainsi que celles des arbres de moins de 10 cm de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) ont été exclues de la base de données centralisée car elles n'ont pas été collectées par l'ensemble des inventaires forestiers mentionnés dans la Section 7.1.

Le fichier de données agrégées contient les informations concernant 28 149 arbres collectés sur l'ensemble du territoire national et nichés dans 89 UE. Dans chaque parcelle, le DHP de tous les arbres ≥ 10 cm a été mesuré. Pour un nombre variable d'arbres par parcelle (moyenne $\pm$ écart-type : 12.6 ± 16.1), la hauteur totale (H, en m) a été mesurée. Les arbres ont été identifiés à l'espèce (68.6 % des cas), au genre (24.7 %), à la famille ou n'ont pas été identifiés (6.7 %).

Ainsi, pour chaque arbre, le fichier fournit les informations suivantes :

- La source des données ;
- Le numéro d'identification de l'arbre, la classe d'occupation du sol, la latitude et la longitude de la placette où l'arbre a été mesuré ;
- Les paramètres dendrométriques (DHP, H (quand mesurée)) ;

- Le nom scientifique.

7.3 ÉTAPE 2 : Estimation de la biomasse

Les estimations de biomasse ont été réalisées à l'aide du package BIOMASS (Réjou-Méchain et *al.*, 2017) du logiciel R (v. 3.2.5). BIOMASS compile un ensemble de fonctions permettant, depuis un jeu de données d'inventaire forestier classique, de : (1) corriger les informations taxonomiques, (2) estimer la densité du bois (DB) de chaque arbre et l'erreur associée, (3) construire des modèles allométriques de hauteur et (4) estimer la biomasse épigée de parcelles forestières et l'erreur associée.

Une description détaillée de package BIOMASS est disponible sur la plateforme en ligne du logiciel R (CRAN, <https://cran.r-project.org/>).

7.3.1 Distribution des UE par classe d'occupation du sol

Pour l'estimation de la biomasse épigée (en tMS.ha⁻¹) par Classe d'Occupation du Sol (COS), il faut connaître la superficie effectivement inventoriée par classe. Pour une UE donnée, différentes COS peuvent être rencontrées, une UE peut donc être divisée en différentes Section d'Occupation du Sol (SOS). Le Tableau suivant présente les superficies et nombre de SOS inventoriés par classe d'occupation du sol.

Tableau 7-2 : Superficies inventoriées et nombre de SOS par classe d'occupation du sol. Acronymes des classes d'occupation du sol : FDHSH (forêt dense humide sur sol hydromorphe), FDHTF (forêt dense humide sur terre ferme), FSFC (forêt sèche ou forêt claire), FSc (forêt secondaire), CRCA (culture et régénération de culture abandonnée).

Classe d'occupation du sol	Superficie inventoriée (ha)	Nombre de SOS				Total SOS
		WWF (grappe carré)	PRE-IFN (carré)	DIAF-JICA (grappe carré)	PRE-IFN & DIAF-JICA (grappe circulaire)	
FDHTF	46,10	7	13	13	15	48
FDHSH	7,56			6		6
FSFC	6,29				11	11
FSc	3,32				14	14
Savane	8,48				29	29
CRCA	3,46				14	14

7.3.2 Estimation de la densité de bois

Les densités de bois (DB) des arbres dans les parcelles sont tirées d'une table regroupant les densités de bois des références suivantes : (i) la « Global Wood Density database » (Chave et *al.*, 2005 ; Chave et *al.*, 2009), (ii) des données de densités de la DIAF (normes d'inventaires d'aménagement, SPIAF 2007), (iii) la table ITTO (2006), (iv) la table GIEC (2006) et (v) la table ICRAF (2013). Dans la Global Wood Density database, seules les données d'Afrique tropicale sont considérées.

Quand l'arbre est identifié au niveau de l'espèce, on lui attribue la DB moyenne de l'espèce dans la table.

Quand l'arbre est identifié au genre, on lui attribue la DB moyenne du genre dans la table.

Quand l'arbre est identifié à la famille ou n'est pas identifié, on lui attribue la DB moyenne des individus inventoriés dans la section d'occupation du sol auquel il appartient (Chave et *al.*, 2005).

7.3.3 Estimation des hauteurs d'arbres

Pour les arbres dont la hauteur (H, en m) n'a pas été mesurée sur le terrain, un modèle allométrique de hauteur (H:DHP) est utilisé. Celui-ci est un modèle Weibull à 3 paramètres (Eq. 7-1), fréquemment utilisé dans les publications scientifiques internationales (e.g. Feldpausch et *al.*, 2012).

$$H = a * \left(1 - e^{-\left(\frac{DBH}{b}\right)^c}\right) \quad (\text{Eq. 7-1})$$

avec a, b et c les paramètres du modèle.

La modèle est préférentiellement ajusté à l'échelle de la SOS pour capturer la tendance allométrique locale (effet sol, effet microclimat, effet structure du peuplement, etc.). Cependant, certaines SOS présentent un nombre de mesures de H trop faible pour ajuster un modèle local (i.e. moins de 30 mesures). Dans ce dernier cas, un modèle ajusté à l'échelle de la COS est utilisé.

7.3.4 Estimation de l'AGB des arbres

La biomasse épigée d'un arbre est estimée de façon indirecte à l'aide d'un modèle d'AGB. Si le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) de l'arbre est la variable prédictive la plus importante, les modèles d'AGB incluant également la densité du bois (DB) et la hauteur (H) de l'arbre sont généralement plus performants (Chave et *al.*, 2005). En effet, la relation entre DHP et AGB varie en fonction des espèces (au travers de la DB, notamment) et des conditions environnementales, ces dernières influençant la relation H:DHP, notamment. En l'absence de modèle d'AGB national ou régional, le modèle pantropical de Chave et *al.* (2014) a été utilisé :

$$AGB = 0.0673 * (DB * DHP^2 * H)^{0.976} \quad (\text{Eq. 7-2})$$

Ce modèle, largement employé dans la littérature scientifique internationale, est bâti sur la plus large base de données destructive disponible à ce jour et se veut applicable sur l'ensemble de la zone tropicale (Chave et *al.*, 2014). Il mène à des estimations d'AGB équivalentes à celles de modèles locaux (Chave et *al.*, 2014).

7.3.5 Estimation de l'AGB des classes d'occupation du sol

L'AGB moyenne des COS et les intervalles de confiance associés sont estimés via une procédure d'échantillonnage aléatoire avec remplacement.

Soit X_i l'estimation de l'AGB d'une SOS i , obtenue en sommant l'AGB des arbres de la SOS i , et Y_i sa surface. La biomasse moyenne d'une COS s peut être calculée par la méthode des ratios des moyennes (Zarnoch et Bechtold, 2000) :

$$AGB_s = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} X_i}{\sum_{i=1}^{n_s} Y_i} \quad (\text{Eq. 7-3})$$

Avec AGB_s la biomasse moyenne de la COS s et n_s le nombre de SOS dans la COS s .

La biomasse épigée ainsi calculée ne prend cependant en compte que les arbres dont le DHP est ≥ 10 cm. Afin d'intégrer les arbres de faible diamètre (c.-à-d. DHP < 10 cm), un facteur de correction a été appliqué à l'AGB ≥ 10 cm selon la formule ci-dessous¹⁹ :

$$AGB_{1cm} = 1,872 (AGB_{10cm})^{0,906} \quad (\text{Eq. 7-4})$$

avec AGB_{1cm} l'AGB des arbres ≥ 1 cm DHP et AGB_{10cm} l'AGB des arbres ≥ 10 cm DHP.

7.3.6 Estimation de la biomasse souterraine

La biomasse souterraine (notée BGB) a été estimée en utilisant un quotient racinaire/foliacé (*root-shoot ratio* - RSR), en considérant AGB_{1cm} comme étant la partie foliacée. Pour les classes (i) forêt dense humide sur terre ferme, (ii) forêt dense humide sur sol hydromorphe, (iii) forêt secondaire et (iv) culture et régénération de culture abandonnée, le RSR utilisé est de 0,37²⁰ correspondant à la zone écologique de la forêt dense tropicale (Mokany et al. cité dans GIEC 2006). Pour les classes (i) forêt sèche/forêt claire (miombo) et (ii) savane, le RSR utilisé est de 0,20²¹ correspondant à la zone écologique de la forêt décidue humide tropicale (Mokany et al. cité dans GIEC 2006).

Il est à noter que la classe culture et régénération de culture abandonnée peut se retrouver dans les deux zones écologiques, forêt dense tropicale et forêt décidue humide tropicale. Afin de simplifier et de garder un esprit conservateur, le RSR de 0,37 a été utilisé pour cette classe dans les deux zones écologiques.

7.3.7 Estimation de la biomasse totale

La biomasse totale (notée B), est définie comme la somme de la biomasse épigée (AGB_{1cm}) et de la biomasse souterraine (BGB). Les estimations de la biomasse par COS sont présentées dans le Tableau 7-3 ci-dessous. Les valeurs de biomasse aérienne qui y sont présentées sont proches de celles reprises dans GIEC (2006)²².

¹⁹ High resolution carbon distribution in forests of Democratic Republic of Congo: Biomass Correction for small trees, p. 17

²⁰ 2006 IPCC GPG, Table 4.4, Volume 4 (AFOLU)

²¹ 2006 IPCC GPG, Table 4.4, Volume 4 (AFOLU)

²² IPCC GPG 2006, Table 4.7, Volume 4 (AFOLU)

Tableau 7-3 : Estimation des valeurs de biomasse par strate. Acronymes des classes d'occupation du sol : FDHSH (forêt dense humide sur sol hydromorphe), FDHTF (forêt dense humide sur terre ferme), FSFC (forêt sèche ou forêt claire), FSc (forêt secondaire), CRCA (culture et régénération de culture abandonnée).

Classe d'occupation du sol	Ratio biomasse aérienne/biomasse souterraine ²³	AGB _{10cm} (DHP ≥ 10 cm) ± 90% IC (tMS/ha)	AGB _{1cm} ²⁴ (DHP ≥ 1 cm) ± 90% IC (tMS/ha)	BGB ²⁵ ± 90% IC (tMS/ha)	Biomasse totale (B) ± 90% IC (tMS/ha)	Biomasse totale ²⁶ ± 90% IC (tC/ha)	Biomasse totale ²⁷ ± 90% IC (tCO ₂ e/ha)
CLASSES FORESTIERES							
FDHTF		286,94 ± 20,07	315,55 ± 20,00	116,75 ± 0	432,3 ± 20	203,61 ± 15,78	746,58 ± 57,87
FDHSH	0,37	274,64 ± 44,43	303,27 ± 44,45	112,21 ± 0	415,48 ± 44,45	195,69 ± 24,22	717,53 ± 88,8
FSc		147,60 ± 54,97	172,78 ± 58,30	63,93 ± 0	236,71 ± 58,3	111,49 ± 28,32	408,8 ± 103,84
FSFC	0,2	97,00 ± 26,19	118,12 ± 28,89	23,62 ± 0	141,74 ± 28,89	66,76 ± 14,23	244,79 ± 52,17
CLASSES NON FORESTIERES							
Savane	0,2	31,04 ± 10,97	42,07 ± 13,47	8,41 ± 0	50,48 ± 13,47	23,78 ± 6,51	87,18 ± 23,88
CRCA	0,37	16,72 ± 4,31	24,01 ± 5,61	8,89 ± 0	32,9 ± 5,61	15,5 ± 2,81	56,82 ± 10,31
Autre et Agglomération	0	0	0	0	0	0	0

²³ 2006 IPCC GPG, Table 4.4, Volume 4 (AFOLU)

²⁴ Biomasse épigée incluant les arbres à DHP < 10 cm - High resolution carbon distribution in forests of Democratic Republic of Congo: Biomass Correction for small trees, p. 17

²⁵ 2006 IPCC GPG, Table 4.4, Volume 4 (AFOLU) - Ratio Tige/Racine (R)

²⁶ 2006 IPCC GPG, Table 4.3, Volume 4 (AFOLU) : Fraction de carbone de la biomasse aérienne des forêts, domaine tropical - Arbre entier : 0.47

²⁷ Facteur de conversion en équivalent CO₂ : 44/12

7.4 ÉTAPE 3 : Calcul des facteurs d'émissions

Selon les recommandations du Chapitre 2.2.1 de « *GFOI Methods Guidance* » pour l'application des instructions du GIEC dans le cadre de la REDD+, le facteur d'émission est défini de la manière suivante :

$$EF_j = (B_{AVANT,j} - B_{APRES,j}) \times FC \times 44/12 \quad (\text{Eq. 7-5})$$

avec :

- j : Transition d'intérêt (cf. exemple Tableau 6.4) ;
- EF_j : Facteur d'émission pour la transition j , en tonnes équivalent $\text{CO}_2 \text{ ha}^{-1}$;
- $B_{AVANT,j}$: Stock de biomasse avant la conversion, pour la transition j , en tonnes de matière sèche ha^{-1} ;
- $B_{APRES,j}$: Stock de biomasse après la conversion, pour la transition j , en tonnes de matière sèche ha^{-1} ;
- FC : Fraction de carbone dans la biomasse sèche (avec $FC = 0,47$ - GIEC 2006 GBP, Table 4.3) ;
- $44/12$: Facteur de conversion en équivalent CO_2 ;

7.5 ÉTAPE 4 : Analyse de l'incertitude

7.5.1 Erreur sur les estimations d'AGB moyennes des classes d'occupation du sol

7.5.1.1 Sources d'erreurs

Afin d'estimer les AGB moyennes des classes d'occupation du sol (COS), une première étape consiste à estimer l'AGB des arbres répertoriés dans les placettes d'inventaire. L'estimation de l'AGB des arbres est sujette à plusieurs sources d'erreurs, notamment :

- L'erreur de mesure des diamètres et des hauteurs, ainsi que les erreurs potentielles d'encodage des données d'inventaire. Cette source d'erreur n'a pas été prise en compte dans l'estimation de l'erreur sur les $\text{AGB}_{10\text{cm}}$ moyennes des COS. Néanmoins, afin de réduire ce type d'erreur, un nettoyage des données a été effectué pour les valeurs de diamètres et de hauteurs (les valeurs aberrantes ont été supprimées) ;
- L'erreur liée à l'utilisation d'une densité de bois moyenne par espèce. Cette source d'erreur a été prise en compte dans l'estimation de l'erreur sur les $\text{AGB}_{10\text{cm}}$ moyennes des COS ;
- L'erreur du modèle H:DHP à laquelle les prédictions de hauteur des arbres sont sujettes. Cette source d'erreur a été prise en compte dans l'estimation de l'erreur sur les $\text{AGB}_{10\text{cm}}$ moyennes des COS ;
- L'erreur du modèle d'AGB à laquelle les prédictions d'AGB des arbres sont sujettes. Cette source d'erreur a été prise en compte dans l'estimation de l'erreur sur les $\text{AGB}_{10\text{cm}}$ moyennes des COS.

Les estimations d' $\text{AGB}_{10\text{cm}}$ moyennes des COS sur la base de l'AGB des placettes d'inventaire sont sujettes une erreur potentiellement importante : l'erreur d'échantillonnage. Cette dernière a été prise en compte dans l'estimation de l'erreur sur les $\text{AGB}_{10\text{cm}}$ moyennes des COS en considérant un échantillonnage aléatoire. Cependant, les UE retenues pour l'estimation des valeurs de biomasse

proviennent de différents inventaire avec des plans d'échantillonnage indépendants et ne respectent donc pas un échantillonnage strictement aléatoire. Il convient en effet de souligner qu'une proportion importante des UE provient de l'ancienne province du Bandundu (sud-ouest du pays) et qu'elles ne sont dès lors pas représentatives de l'ensemble de la RDC. Cependant, il est à souligner que l'ancienne province du Bandundu présente l'ensemble des classes d'occupation du sol rencontrées à l'échelle de la RDC.

7.5.1.2 Procédure d'estimation de l'erreur totale

L'estimation des erreurs et de leur propagation s'est faite en utilisant le « package BIOMASS » du logiciel R (Réjou-Méchain et *al.*, 2017) :

- Pour l'estimation de l'AGB des arbres : pour chaque arbre, 1 000 prédictions d'AGB sont réalisées. Chaque prédiction intègre une erreur aléatoirement tirée dans les distributions des sources d'erreur suivantes : (i) l'erreur sur la DB, (ii) l'erreur du modèle allométrique de hauteur, (iii) l'erreur du modèle allométrique de biomasse (voir Réjou-Méchain et *al.*, 2017).
- Pour l'estimation des AGB_{10cm} moyennes des COS : pour chaque classe, 1e+6 estimations de l'AGB ont été réalisées en (1) sélectionnant aléatoirement une estimation d'AGB pour chaque arbre parmi les 1 000 estimations disponibles et (2) échantillonnant aléatoirement avec remplacement n_s SOS dans la strate. La biomasse moyenne de la strate s et l'intervalle de confiance associé sont obtenus en prenant la moyenne et les quantiles 5 et 95 du vecteur des 1e+6 estimations, respectivement. Cette procédure d'analyse de type numérique (Monte Carlo) produisant des bornes d'intervalle de confiance asymétriques, la borne la plus large a été retenue (GIEC, 2006).

Les intervalles de confiance présentés dans le tableau 7-3 intègrent les différentes sources d'erreur présentées ci-dessus ainsi que l'erreur d'échantillonnage.

7.5.2 Conversion des AGB_{10cm} moyennes des classes d'occupation du sol en facteur d'émission

7.5.2.1 Erreur sur la conversion d'AGB_{10cm} en AGB_{1cm}

Les erreurs standard associées aux estimations des paramètres du modèle de conversion utilisé (Eq. 7-5) étant inconnues, ces valeurs ont été considérées comme exactes.

7.5.2.2 Erreur sur l'estimation de la biomasse souterraine

Une source d'erreur potentielle est liée au choix des ratios biomasse aérienne/biomasse souterraine (RSR) par défaut, aucune étude spécifique n'ayant été réalisée en RDC à ce jour. Les ratios utilisés pour dériver les valeurs de biomasse souterraine sont donc ceux fournis dans les lignes directrices du GIEC 2006.

D'autre part, les erreurs standards associées aux RSR utilisés étant inconnues, ces ratios ont été considérés comme exacts.

7.5.2.3 Erreur sur l'estimation de la biomasse totale

En faisant l'hypothèse que les erreurs sur AGB_{1cm} et BGB sont indépendantes et aléatoires, l'erreur sur la biomasse totale B est estimée en suivant la règle classique de propagation des erreurs dans le cas d'une somme de quantités incertaines :

$$E_B = \sqrt{(E_{AGB_{1cm}}^2 + E_{BGB}^2)} \quad (\text{Eq. 7-6})$$

avec E_B l'erreur sur la biomasse totale B (en tMS.ha⁻¹), $E_{AGB_{1cm}}$ l'erreur sur la quantité AGB_{1cm} (en tMS.ha⁻¹) et E_{BGB} l'erreur sur la quantité de BGB (en tMS.ha⁻¹).

7.5.2.4 Erreur sur la conversion de la biomasse totale en stock de carbone

L'erreur standard associée à la fraction carbone moyenne dans la biomasse sèche (FC) est de 0,206 (Réjou-Méchain et al., 2017). L'intervalle de confiance à 90% autour de FC est donc de $\pm 0,03$. Le stock de carbone étant le produit de la biomasse totale (B) par FC, l'erreur sur le stock de carbone est estimée en suivant la règle classique de propagation des erreurs dans le cas d'un produit de quantités incertaines :

$$E_C = B * \sqrt{\left(\left(\frac{E_B}{B}\right)^2 + \left(\frac{E_{FC}}{FC}\right)^2\right)} \quad (\text{Eq. 7-7})$$

Avec E_C l'erreur sur le stock de carbone (TC.ha⁻¹), E_B l'erreur sur la biomasse totale B (en tMS.ha⁻¹) et E_{FC} l'erreur sur la fraction carbone moyenne dans la biomasse sèche (en tMS.ha⁻¹).

7.5.2.5 Erreur sur la conversion de stock de carbone en équivalent CO₂

Les erreurs standards associées aux coefficients de conversion des stocks de carbone en équivalent CO₂ étant inconnues, ces coefficients ont été considérées comme exacts.

7.6 Résultats des estimations des facteurs d'émissions

Le Tableau 7-4 présente les facteurs d'émissions pour chaque type de transition observé. Ces facteurs d'émissions ont été calculés selon l'Equation 7-5 ci-dessus.

Tableau 7-4 : Facteurs d'émissions par type de transition entre classes d'occupation du sol.

Type de transition	Biomasse totale de la classe d'origine (tMS/ha)	Biomasse totale de la classe de destination (tMS/ha)	Facteur d'émission (tCO ₂ e/ha)	± 90% IC (tCO ₂ e/ha)
FDHTF → CRCA	432,3	32,9	688,30	58,74
FDHTF → Savane	432,3	50,48	658,00	62,55
FDHTF → Autre et Agglomération	432,3	0	744,99	57,83
FDHSH → CRCA	415,48	32,9	659,31	89,25
FDHSH → Savane	415,48	50,48	629,01	91,80
FDHSH → Autre et Agglomération	415,48	0	716,00	88,66
FSFC → CRCA	141,74	32,9	187,57	53,07
FSFC → Savane	141,74	50,48	157,27	57,26
FSFC → Autre et Agglomération	141,74	0	244,27	52,07
FSc → CRCA	236,71	32,9	351,23	104,14
FSc → Savane	236,71	50,48	320,94	106,34
FSc → Autre et Agglomération	236,71	0	407,93	103,63

8 LES ÉMISSIONS HISTORIQUES

8.1 Calcul des émissions

Les données d'activités (Tableau 6-5) et les facteurs d'émissions (Tableau 7-4) ont permis de quantifier les émissions annuelles pour les deux phases de la période de référence.

Les Lignes Directrices du GIEC (GIEC, 2006) indiquent par ailleurs que la variation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse des terres forestières converties en d'autres catégories d'utilisation des terres (ΔC_B) peut être estimée selon l'équation suivante :

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{CONVERSION} - \Delta C_L \quad (\text{Eq. 8-1 ; Équation 2.15, GIEC 2006})$$

avec :

ΔC_B : Variation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse des terres converties dans une autre catégorie d'utilisation des terres (tonnes de C.an⁻¹) ;

ΔC_G : Augmentation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse en raison de la croissance sur les terres converties en une autre catégorie d'utilisation des terres (tonnes de C.an⁻¹) ;

$\Delta C_{CONVERSION}$: Variation initiale des stocks de carbone dans la biomasse des terres converties en une autre catégorie d'utilisation des terres (tonnes de C.an⁻¹) ;

ΔC_L : Diminution annuelle des stocks de carbone de la biomasse en raison des pertes résultant de l'abattage, de la collecte du bois-énergie et des perturbations sur les terres converties en une autre catégorie d'utilisation des terres (tonnes de C.an⁻¹).

L'Équation 8-1 ci-dessus a été simplifiée selon les recommandations énoncées dans le Chapitre 2.2.1 du Document d'Orientation sur les Méthodes GFOI²⁸ pour appliquer les Lignes Directrices du GIEC dans le cadre de la REDD+. Il est ainsi supposé que (a) la variation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse (ΔC_B) est égale à la variation initiale des stocks de carbone ($\Delta C_{CONVERSION}$) et (b) le stock de la biomasse immédiatement après la conversion est le stock de biomasse résultant de l'utilisation des terres. Par conséquent, la variation annuelle des stocks de carbone est estimée de la manière suivante :

$$\Delta C_B = \Delta C_{CONVERSION} \quad (\text{Eq. 8-2})$$

$$\Delta C_{CONVERSION} = \sum_j \{ (B_{AVANT,j} - B_{APRES,j}) \times \Delta A_j \} \times CF \quad (\text{Eq. 8-3 ; Équation 2.16, Lignes Directrices 2006 du GIEC})$$

avec :

²⁸ GFOI (2016), page 44 – L'intégration de la télédétection et des observations au sol pour l'estimation des émissions et des absorptions de gaz à effet de serre dans les forêts : Méthodes et Indications de la Global Forest Observations Initiative.

$B_{AVANT,j}$: Stock de biomasse de la transition d'utilisation des terres j immédiatement avant la conversion, en tonnes MS.ha⁻¹ ;

$B_{APRES,j}$: Stock de biomasse de la transition d'utilisation des terres j immédiatement après la conversion, en tonnes MS.ha⁻¹ ;

ΔA_j : Superficie de la sous-catégorie/strate d'occupation des sols convertie à une autre sous-catégorie/strate d'occupation des sols (transition désignée par j) dans une certaine année, en ha par an ;

CF : Fraction de carbone de la matière sèche, en tonnes de matière sèche (tonnes MS)⁻¹ ;

L'équation ci-dessus peut être modifiée et exprimée en tant que facteur d'émission (EF_j) multiplié par les données d'activités (ΔA_j). Comme les émissions de GES doivent être déclarées en termes de tCO₂e, le facteur d'émission peut-être déclaré directement en termes de tCO₂e :

$$\Delta C_B = \sum_j \{EF_j \times \Delta A_j\} \quad (\text{Eq. 8-4})$$

avec :

EF_j : Facteur d'émission pour la transition j , en tonnes équivalent CO₂ ha⁻¹ ;

ΔA_j : Superficie de la sous-catégorie/strate d'occupation des sols convertie à une autre sous-catégorie/strate d'occupation des sols (transition désignée par j) dans une certaine année, en ha.an⁻¹ ;

Les émissions pour la période de référence, en tCO₂e.an⁻¹, sont calculées selon l'Équation 8-4 ci-dessus et présentées dans le Tableau 8-1.

8.2 Analyse de l'incertitude

L'erreur sur les émissions est calculée en suivant la règle classique de propagation des erreurs dans le cas d'une somme de quantités incertaines, lesquelles sont les émissions par type de transition (j) et par province (i).

$$E_{EM} = \sqrt{\sum_j^{m,n} E_{EM_{i,j}}^2} \quad (\text{Eq. 8-5})$$

Avec E_{EM} l'erreur sur les émissions totales de la déforestation au niveau national, $E_{EM_{i,j}}$ l'erreur sur les émissions par type de transition j , pour la province i , avec m le nombre de provinces (26) et n le nombre de transitions (12). EM fait référence aux émissions.

$$E_{EM_{i,j}} = EM_{i,j} \sqrt{\left(\frac{E_{DA_{i,j}}}{DA_{i,j}}\right)^2 + \left(\frac{E_{FE_j}}{FE_j}\right)^2} \quad (\text{Eq. 8-6})$$

Avec $EM_{i,j}$ émissions pour la province i et pour la transition j , $E_{DA_{i,j}}$ l'erreur sur les données d'activités pour la province i et pour la transition j , $DA_{i,j}$ les données d'activités pour la province i et la transition j , E_{FE_j} l'erreur sur le facteur d'émission pour la transition j et FE_j le facteur d'émission pour la transition j .

8.3 Résultats des estimations des émissions

Les estimations des émissions par province sont présentées dans la fiche Excel jointe à la soumission du NERF. Du fait de la longueur du Tableau présentant les émissions provinciales (26 provinces en lignes et 24 colonnes correspondant aux émissions pour chaque transition avec les intervalles de confiance à 90% y relatifs), ce dernier n'est pas présenté dans le présent document.

Les émissions historiques au niveau national résultent de l'agrégation des émissions par province et sont présentées dans le Tableau 8-2 ci-dessous avec les intervalles de confiance et les erreurs relatives. Au niveau national, ces émissions sont de l'ordre de 332,43 MtCO₂e pour la période 2000-2010, soit 0,58 tCO₂e/habitant/an pour une population moyenne entre 2000 et 2010 évaluée à 57 796 000 d'habitants (CIA, 2010) et soit environ 0,14 tCO₂e/ha/an pour l'ensemble du territoire national. Pour 2010-2014, ces émissions ont été évaluées à 827,80 MtCO₂e, soit 2,74 tCO₂e/habitant/an pour une population moyenne entre 2010 et 2014 évaluée à 75 496 000 d'habitants et soit environ 0,88 tCO₂e/ha/an.

Tableau 8-1 : Emissions annuelles par activité, intervalle de confiance et erreur relative pour les périodes 2000-2010 et 2010-2014.

Type de transition	2000-2010			2010-2014		
	Émissions (tCO ₂ e/an)	± 90% IC (tCO ₂ e/an)	Erreur relative (%)	Émissions (tCO ₂ e/an)	± 90% IC (tCO ₂ e/an)	Erreur relative (%)
FDHTF → CRCA	200 540 303,62	29 435 135,08	14,68	468 376 132,96	72 200 991,55	15,41
FDHTF → Savane	17 740 716,04	6 381 645,58	35,97	44 319 690,76	16 291 741,41	36,76
FDHTF → Autre et Agglomération	24 319 696,64	8 120 679,63	33,39	52 811 989,31	18 378 485,88	34,8
FDHSH → CRCA	0	0	0,00	0	0	0
FDHSH → Savane	0	0	0,00	0	0	0
FDHSH → Autre et Agglomération	270 364,65	463 900,17	171,58	692 800,82	1 200 140,75	173,23
FSFC → CRCA	10 774 413,78	3 564 077,48	33,08	35 084 641,87	11 362 570,55	32,37
FSFC → Savane	2 164 926,75	1 280 387,32	59,14	19 842 871,95	9 287 868,12	46,78
FSFC → Autre et Agglomération	2 559 539,59	1 705 717,74	66,64	26 089 371,27	11 945 317,69	45,78
FSc → CRCA	59 370 225,97	11 618 257,10	19,57	141 256 466,56	28 600 073,46	20,24
FSc → Savane	4 473 169,69	2 199 404,71	49,17	19 684 533,60	10 169 214,60	51,65
FSc → Autre et Agglomération	10 215 134,25	3 757 906,90	36,79	19 644 167,36	7 013 275,82	35,7
Émissions annuelles	332 428 490,99	33 830 576,03		827 802 666,46	84 535 432,71	

9 LE NIVEAU D'ÉMISSIONS DE RÉFÉRENCE POUR LES FORÊTS

9.1 Justification de l'approche d'extrapolation

Alors que dans les années 50 et 60, la RDC était l'un des plus grands producteurs tropicaux de cultures pérennes (huile de palme, café, cacao, etc.), elle est devenue un importateur net d'huile de palme et ses chiffres d'exportation de café et de cacao sont extrêmement limités. À leur place, l'agriculture de subsistance s'est développée sur la base de pratiques d'abattis-brulis, qui consomment sept fois plus de forêts que les cultures pérennes. En l'absence quasi totale d'agriculture mécanisée et un manque d'accès aux techniques agricoles améliorées, combiné à l'un des taux de croissance démographique les plus élevés de la région ($> 3\%$ par an), l'agriculture itinérante continue de se développer aux dépens des forêts pour alimenter les zones urbaines en plein boom démographique (de l'ordre de 6% par an). À moins d'investissements importants dans le secteur, au vu de l'absence de politique agricole, de plan d'aménagement des territoires et étant donné la croissance démographique soutenue, il est anticipé que cette pression se poursuivra de manière croissante.

La RDC a connu une croissance de la dynamique de déforestation durant la période de référence, tel qu'en témoigne les données d'activités (Tableau 6-4). Il est attendu que cette dynamique maintienne son rythme et voire même s'accélère, étant donné que les causes directes et sous-jacentes de la déforestation sont en croissance au fil des années. En effet, parmi les causes sous-jacentes de la déforestation, figure en première place la croissance de la population²⁹, qui se maintient à un rythme élevé de 3% ³⁰. Environ 70% de cette population vit en milieu rural (Herderschee et *al.*, 2012 ; De Saint Moulin, 2006) et pratique une agriculture de subsistance, de type itinérante sur brulis, pour assurer son alimentation. Ce type d'agriculture a été identifié comme la cause directe principale de la déforestation en RDC³¹. Le rythme de croissance de la population ayant une corrélation directe avec l'augmentation des besoins alimentaires, il est attendu que l'agriculture itinérante poursuive son extension, à défaut de mise en place des mesures d'encadrement adéquates.

Il en va de même pour l'énergie et le bois de chauffe, quantitativement le deuxième moteur principal de la déforestation. Celui-ci est directement corrélé à la croissance démographique, mais également à une plus forte urbanisation et à l'émergence d'une classe relativement aisée. En effet, les observations de l'expansion de la déforestation ainsi que les études successives sur le charbon de bois (Makala) montrent bien que les bassins de drainage sont principalement urbains et que la consommation va en augmentant. Par ailleurs les grands chantiers d'électrification peinent à trouver l'appui des investisseurs et on anticipe que de tels chantiers nécessitent entre 10 et 15 ans, avant qu'un quelconque impact au

²⁹ Defourny, P., Delhage, C., and Kibambe Lubamba, J.-P. 2011. Analyse quantitative des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en République Démocratique du Congo. Technical report, Earth and Life Institute - Environment - Université catholique de Louvain.

³⁰ De Saint Moulin, L. 2006. Analyse par territoire et ville des résultats de l'enrôlement des électeurs et du référendum sur le projet de constitution. Congo-Afrique, Numéro Spécial:9-29.

³¹ Defourny, P., Delhage, C., and Kibambe Lubamba, J.-P. 2011. Analyse quantitative des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en République Démocratique du Congo. Technical report, Earth and Life Institute - Environment - Université catholique de Louvain.

niveau du mix énergétique ne puisse être ressenti. Par contre, on note un début d'investissement dans les microcentrales électriques et dans les énergies renouvelables mobiles, tels les panneaux solaires. Toutefois, ces deux sources d'énergie ne se substituent pas au « makala », étant donné leurs usages différents et l'impossibilité de pourvoir suffisamment d'électricité pour opérer des plaques de cuisson électriques. L'une des énergies alternatives à ce jour au bois de chauffe est le gaz de ville, qui commence tout juste à percer dans le Sud du pays, à Lubumbashi. En effet, après deux ans d'opération, le niveau de dissémination est cependant encore à moins de 1% de la population. Les études sur la dissémination, la consommation et le potentiel de production de gaz indiquent toutes un potentiel impact à l'horizon 2025. On anticipe donc que les effets combinés de la croissance démographique et de la lenteur de la percée des alternatives énergétiques résulteraient en une pression absolue du bois de chauffe qui se maintient, du moins pour la décennie à venir.

Par ailleurs, la période de référence est marquée par deux facteurs importants qui persisteront à l'avenir : d'abord l'introduction des moteurs à coût bas et faible consommation en diesel pour la navigation fluviale, ainsi que l'amélioration de près de 2 000 km de réseau routier entre 2011 et 2016 (Projet PROROUTE). En effet, les moteurs à coût bas et faible consommation en diesel pour la navigation fluviale remplacent au fur et à mesure les moteurs à essence usuellement utilisés sur les baleinières. Ils permettent le transport de près de 3 000 sacs de charbon de bois le long du fleuve pour 1,5 jerricanes de diesel, alors que les moteurs à essence nécessitaient près de 10 jerricanes. Les investissements dans l'amélioration de la navigabilité des cours d'eau et l'expansion de ce type de moteurs sur le territoire national présagent une augmentation du charbonnage et donc de la déforestation dans l'avenir proche.

Le projet PROROUTE a été mis en œuvre entre 2011 et 2016 et a réalisé des travaux sur plus de 2 000 km de réseau routier dont notamment la RN4 qui relie l'est du pays à Kinshasa. L'amélioration du réseau routier apporte une meilleure accessibilité à la ressource et aux marchés. Ceci se traduit par une déforestation limitrophe des axes de communication mais également par une déforestation plus large due à un meilleur accès aux marchés, notamment urbains. Au vu de l'expansion des villes (6% de croissance annuelle) et de l'amélioration anticipée entre 2018 -2022 d'un réseau routier de l'ordre de 2 000 km, il est raisonnable d'anticiper que ce nouvel effort de désenclavement s'accompagnera par une croissance de la déforestation, nonobstant les plans de gestion environnementale et sociale qui l'accompagnent.

Finalement, il s'agit de rappeler que 2010 marque l'année de la graduation de la RDC pour l'initiative des Pays Pauvres Hautement Endettés, l'introduction d'une rigueur budgétaire qui a permis la stabilisation de la monnaie, aboutissant à une croissance de l'investissement direct à partir de 2012. Ces investissements ont résulté en l'émergence d'une nouvelle classe moyenne, forte consommatrice de produits agricoles et de bois de chauffe. À partir de 2016, et au vu de la situation politique du pays, la situation économique a radicalement changé. Les investissements se font rares, voire se retirent du pays, augmentant le chômage et par conséquent la proportion de la population dépendant des ressources naturelles pour leur consommation propre ainsi que pour la génération de revenus. Cette dépendance croissante d'une population elle-même croissante produit une pression accrue sur la forêt. Il n'est pas clair quelle sera l'orientation de l'économie et du statut des finances du pays dans les années à venir, mais il est clair sur la base de la dynamique récente, quelle que soit la trajectoire économique (croissance ou dépression), elle se traduira par une pression croissante sur les espaces forestiers et les ressources naturelles.

La période de référence peut ainsi être considérée comme suffisamment représentative de la période de validité du NERF et, dès lors, il est attendu qu'un scénario de type *business-as-usual* puisse être prépondérant en ce qui concerne les changements dans la couverture forestière à l'horizon 2020, d'autant plus que la pression sur la forêt en RDC résulte essentiellement de la pression interne (i.e.,

croissance de la population) plutôt que de facteurs exogènes (par ex. les prix de produits agricoles sur les marchés internationaux). Ainsi, une extrapolation des émissions de CO₂ issues de la déforestation durant la période de référence est une approche à la fois crédible et pertinente pour apprécier l'évolution attendue de la déforestation durant la période de validité du NERF. L'extrapolation des émissions de la période de référence présente en outre l'avantage d'être à la fois simple et intuitive et la meilleure option en l'absence de plans de développement et/ou d'aménagement du territoire de la RDC, qui auraient permis de quantifier de manière plus détaillée l'impact environnemental des politiques qui seront mises en œuvre pour l'atteinte de l'émergence à l'horizon 2030 (Vision 2030) ou plus généralement pour quantifier la déforestation attendue durant la période comptable du NERF.

Dès lors, la méthodologie d'extrapolation des émissions historiques qui a été retenue est la projection linéaire des émissions calculées pour la période de référence, afin de refléter la progression de type *business-as-usual* des causes sous-jacentes et directes de la déforestation en RDC. Cette projection linéaire des émissions correspondantes à la période de référence couvre la période comptable du présent NERF, soit de 2015 à 2019.

9.2 Extrapolation des émissions historiques

L'extrapolation est calculée comme une projection linéaire des émissions de la période de référence, soient les émissions de 2000-2010 et 2010-2014. Les années 2005 et 2012 sont considérées comme les *années pivots* (respectivement *année pivot 1* et *année pivot 2*) des deux phases de la période de référence. Ainsi, les émissions annuelles de 2001 à 2019 ont été obtenues par extrapolation des émissions correspondantes aux périodes 2000-2010 et 2010-2014, basé sur le taux de croissance annuel moyen des émissions entre ces deux phases de la période de référence. L'Équation d'extrapolation ci-dessous a été utilisée :

$$EM_{année\ i} = EM_{2005} - [(2005 - année\ i) \times TC_EM_{ph1\ \&\ ph2}] \quad (Eq. 9-1)$$

avec :

$EM_{année\ i}$: Émissions de l'année i ;

$TC_EM_{ph1\ \&\ ph2}$: Taux de croissance des émissions entre les deux phases de la période de référence (i.e., entre 2000-2010 et 2010-2014). Ce taux de croissance est calculé selon l'Équation 9-2 :

$$TC_EM_{ph1\ \&\ ph2} = \frac{EM_{2012} - EM_{2005}}{2012 - 2005} \quad (Eq. 9-2)$$

L'extrapolation des émissions historiques est présentée à la Figure 9-1.

Émissions annuelles historiques (2000-2014) et émissions projetées durant la période comptable (2015-2019)

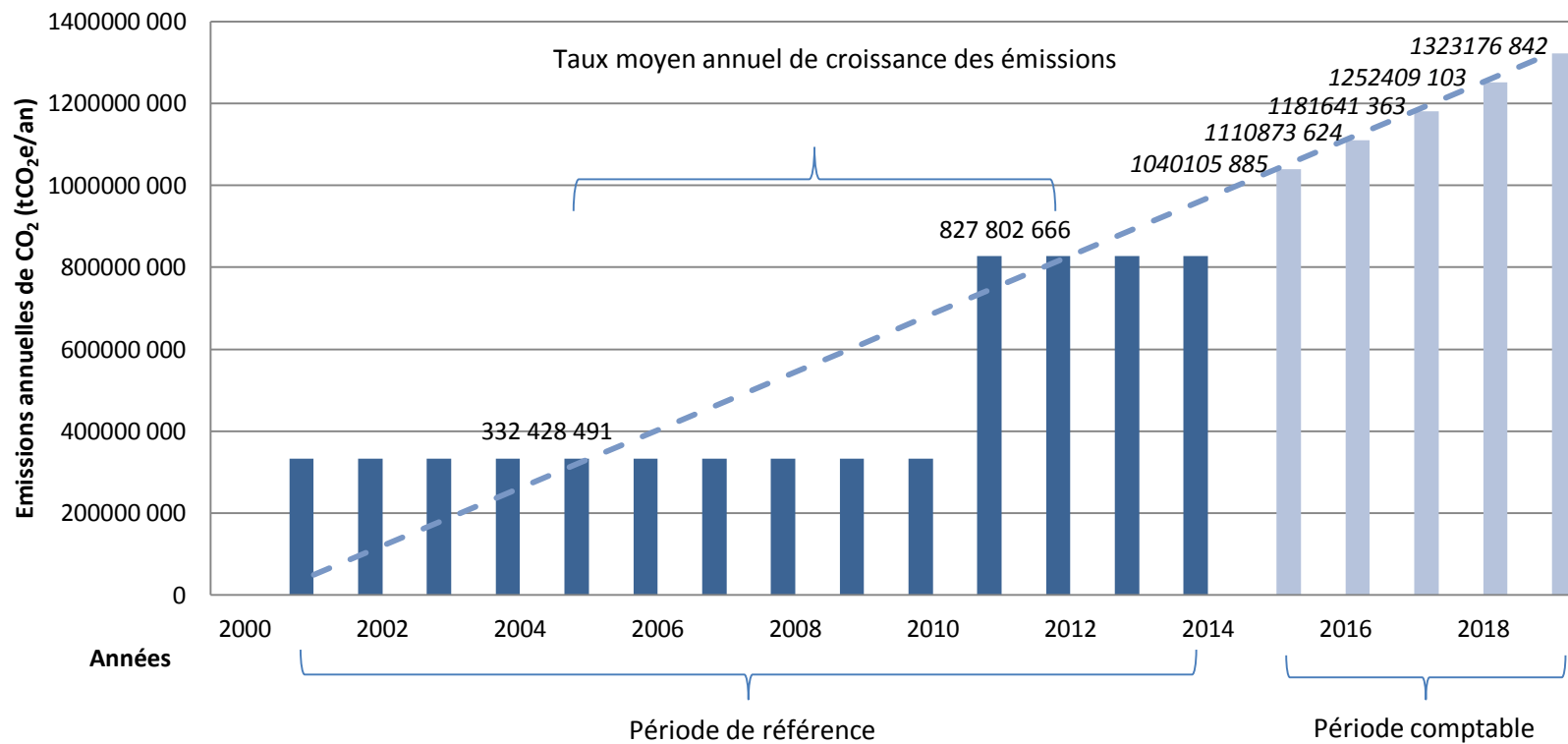


Figure 9-1 : Extrapolation du NERF.

9.3 Le NERF

La table de calcul du NERF de la RDC est présentée dans le Tableau 9-1 ci-dessous.

Tableau 9-1 : Table de calcul du NERF.

	Émissions annuelles (tCO ₂ e/an)
<i>Période comptable de NERF</i>	
Année 2015	1 040 105 885
Année 2016	1 110 873 624
Année 2017	1 181 641 363
Année 2018	1 252 409 103
Année 2019	1 323 176 842

10 PLAN D'AMÉLIORATION DU NERF

La RDC a adopté une approche par étapes pour la construction de son niveau d'émissions de référence pour les forêts, tel qu'indiqué dans la décision 12/CP, par. 10. Le pays souhaite ainsi mentionner quelques points d'améliorations du NERF en fonction des travaux en cours ou des données à obtenir à l'avenir en fonction des moyens disponibles. Ces améliorations concernent notamment :

- a. la distinction systématique entre les terres gérées et non gérées dans le cadre du système national de suivi des forêts. En effet, étant donné les activités cartographiques du SNSF et le lancement de la réforme de l'aménagement du territoire en RDC dans le courant de l'année 2017, le pays se propose comme piste d'amélioration de son NERF de mettre en place des critères descriptifs et spatiaux permettant de distinguer les terres subissant les interventions et pratiques humaines à des fins productives, écologiques ou sociales, de celles qui n'en subissent aucune. Cette amélioration du NERF permettra au pays de mieux se conformer aux *bonnes pratiques* du GIEC, notamment celles qui requièrent que les terres forestières nationales soient classées en deux catégories distinctes, à savoir (1) les terres forestières restant terres forestières (c.à.d. les terres qui ont été des terres forestières pendant une période plus longue que la période de transition (20 ans par défaut) requise pour atteindre un nouveau niveau de carbone des sols et (2) les terres converties en terres forestières pendant cette période de transition ;
- b. la prise en compte du renforcement du stock de carbone forestier, en particulier la reforestation, dont la quantification peut être réalisée par la même méthode que celle utilisée pour quantifier la déforestation (c'est-à-dire, en combinant produits cartographiques et échantillons de référence). Si le protocole d'interprétation des points de référence permet d'ores et déjà d'identifier les conversions des terres non forestières vers des terres forestières durant la période analysée, l'algorithme de détection des changements doit être modifié afin d'inclure la classe de changement « reforestation ». Cette perspective d'amélioration importante permettra à la RDC de rapporter de façon plus complète les changements de superficie de son couvert forestier ;
- c. l'inclusion des activités de la dégradation forestière et de la conservation des stocks de carbone dans le NERF. La dégradation forestière peut en effet

représenter une part non négligeable des émissions issues des forêts au niveau national, mais cette activité n'a pas été incluse à ce stade du fait du manque de données historiques y relatives. Des travaux sont actuellement en cours pour déterminer la méthodologie la plus adaptée pour l'estimation des émissions historiques de la dégradation forestière. Cette méthodologie pourra s'inspirer des travaux développés dans le cadre des initiatives nationales telles que le projet DIAF-JICA Forêts (Section 2.4.1 et Annexe 4 et 5) et le Programme de réduction des émissions du Maï-Ndombe (Section 2.4.2 et Annexe 6) ;

- d. l'inclusion dans la classe « Cultures pérennes » des cultures pérennes d'Hévéa (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg), de quinquina et de cacao (*Theobroma cacao* L.) qui, pour des raisons techniques, ont été à ce stade incluses dans les classes de forêt dense humide sur terre ferme ou de forêt secondaire selon leur localisation spatiale. Le plan d'action du SNSF pour les prochaines années a déjà prévu le suivi des plantations agricoles industrielles, notamment la cartographie précise des limites des plantations existantes et leur mise à jour régulière. La mise en œuvre de ce plan d'action permettra d'améliorer le NERF de la RDC en incluant ces plantations dans la catégorie des terres cultivées plutôt que dans les terres forestières ;
- e. la réduction de l'erreur autour de l'estimation des données d'activités. Un grand nombre d'échantillons de référence (c. 25 000) tirés aléatoirement dans les strates de « déforestation » des cartes de changement 2000 – 2010 et 2010 – 2014 est en cours d'interprétation afin de réduire l'erreur sur les proportions des transitions, ces dernières servant à désagréger la déforestation totale des provinces en données d'activités. Cette perspective d'amélioration à très court terme (début 2018) permettra d'accroître la précision du calcul des émissions pour le NERF ;
- f. l'intégration de l'erreur d'interprétation dans la quantification des erreurs associées aux données d'activités. Cette source d'erreur fait référence à la variabilité pouvant exister entre opérateurs dans l'attribution d'une classe d'occupation du sol à un même échantillon de référence. À cet effet, une procédure de réinterprétation d'une certaine proportion des échantillons de référence par l'ensemble des opérateurs sera mise en place pour améliorer les performances du système de réponse (Section 6.6), en quantifiant l'erreur d'interprétation et en la réduisant à minima ;

- g. l'amélioration des estimations de biomasse épigée des classes d'occupation du sol de la RDC et l'intégration de réservoirs qui n'ont pas été pris en compte dans le présent document tels que la litière, le bois mort et le carbone organique du sol. Les données nécessaires à ces améliorations seront collectées durant l'inventaire forestier national, dont la mise en œuvre a débuté au cours du dernier trimestre de l'année 2017. Les résultats de l'inventaire forestier national sont attendus d'ici 4 ans, soit avant la période de révision du NERF et pourront ainsi être intégrés lors de sa prochaine soumission.

11 ANNEXES

- **Annexe 1** : Établissement du système de réponse pour l’encodage et l’interprétation des points de référence
- **Annexe 2** : Nombre d’échantillons théorique, pratique et répartition des échantillons à l’échelle des provinces
- **Annexe 3** : Calcul des données d’activités et des erreurs associées entre 2000 et 2010 pour la province du Kwango
- **Annexe 4** : Méthodologie de l’inventaire forestier du Projet DIAF-JICA Forêts
- **Annexe 5** : Document technique de construction du NERF des provinces de Mai-Ndombe, Kwilu et Kwango
- **Annexe 6** : Programme de Réduction des Émissions du Maï-Ndombe
- **Annexe 7** : Projet Carbon Map and Model de WWF pour la cartographie de la biomasse forestière LiDAR par Télédétection LiDAR aéroporté
- **Annexe 8** : Méthodologie de production de la carte de stratification nationale
- **Annexe 9** : Méthodologie du Pré-Inventaire Forestier National
- **Annexe 10** : Méthodologie d’inventaire du WWF

Annexe 1- Établissement du système de réponse pour l'encodage et l'interprétation des points de référence.

Cette annexe synthétise les critères opérationnels utilisés pour l'interprétation visuelle des images satellites et l'assignation des échantillons de référence aux différentes classes d'occupation du sol définies dans le NERF de RDC.

- 1) **Forêt dense humide sur terre ferme (FDHTF)** : Cette forêt à une canopée fermée présente un indice de végétation (NDVI) très élevé par rapport aux autres types des forêts. Elle a une texture assez homogène et grossière / rugueuse du fait de la présence de grands arbres. La canopée présente une couleur verte foncée en composition colorée moyen Infrarouge (MIR), proche infrarouge (PIR) et rouge (R) sur images Landsat (Fig. 1-a). Sur images à haute résolution spatiale, des ombres de tailles moyennes et grandes sont visibles sur la canopée du fait de variations importantes de hauteurs des arbres (Fig. 1-b). Sur photo de terrain, la canopée présente une texture grossière et des variations de hauteurs des arbres (Fig. 1-c).

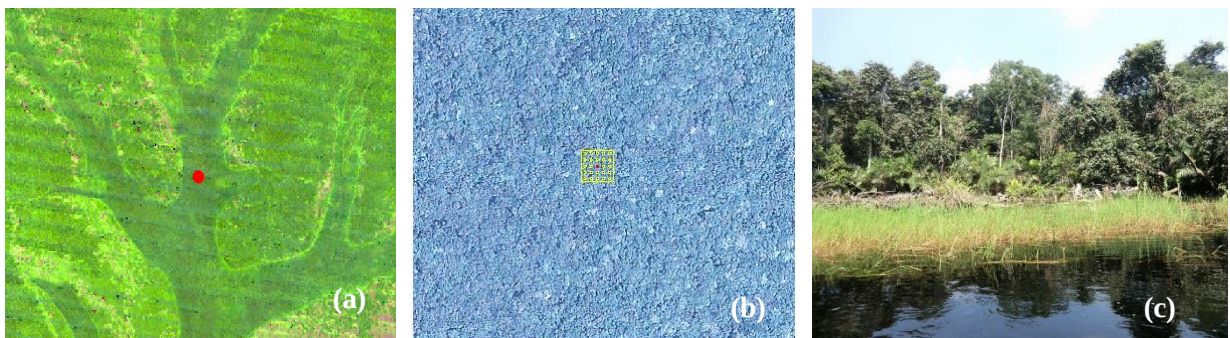
Figure 1 : FDH sur terre ferme vue (a) sur image Landsat (composition colorée MIR/PIR/R), (b) sur image à haute résolution spatiale (Collect Earth, fenêtre de 30 m² en jaune) et (c) sur une photo de terrain.



- 2) **Forêt dense humide sur sol hydromorphe (FDHSH)** : On trouve ce type de forêt aux environs des fleuves, grandes rivières et des lacs. Sur images Landsat (composition colorée MIR, PIR, R), cette forêt présente une couleur plus sombre que celle des FDH sur terre ferme du fait de la quantité importante d'eau dans le sol et en sous-bois. Sur image à haute résolution spatiale, la canopée présente une texture souvent plus fine et plus homogène que celle des FDH sur terre ferme, notamment du fait de variations moins marquées/abruptes de hauteurs des arbres en canopée (Fig. 2-b). Les raphiales, aisément

identifiables par la forme de couronne caractéristique des raphias (étoilée), sont fréquentes / abondantes en FDH sur sol hydromorphe et en sont des marqueurs caractéristiques.

Figure 2 : FDH sur sol hydromorphe vue (a) sur image Landsat (composition colorée MIR/PIR/R), (b) sur image à haute résolution spatiale (Collect Earth, fenêtre de 30 m² en jaune) et (c) sur une photo de terrain.



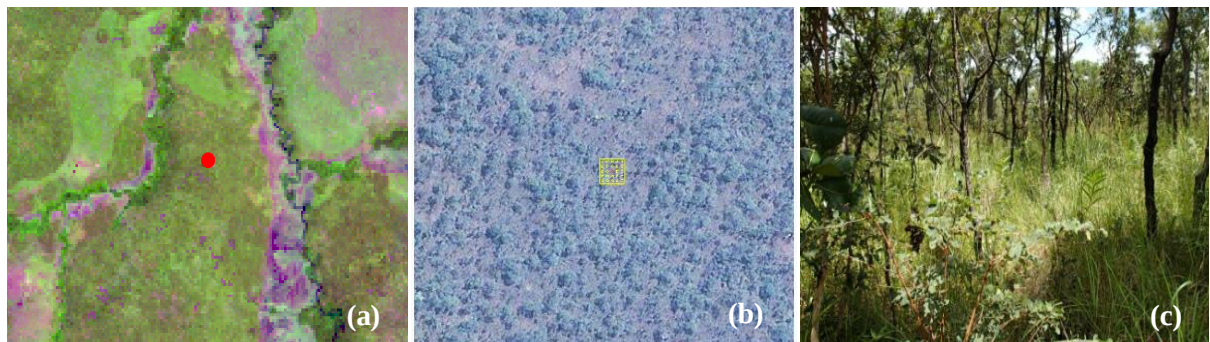
- 3) **Forêt secondaire (FSc)** : Sur images à haute résolution spatiale comme sur Landsat, la forêt secondaire présente une texture hétérogène/irrégulière, une couleur verte claire / pâle ponctuée d'éclaircies (en composition colorée MIR, PIR et R sur images Landsat). Cette classe peut être difficile à séparer de celle des cultures et cultures abandonnées (Fig. 3-b). Ce type de forêt est souvent attenant aux terres cultivées ou aux terrains dénudés. Ce type de forêt se retrouve généralement à la lisière de forêts denses. Elle présente un NDVI moins élevé que celui des forêts denses.

Figure 3 : FSc vue (a) sur image Landsat (composition colorée MIR/PIR/R), (b) sur image à haute résolution spatiale (Collect Earth, fenêtre de 30 m² en jaune) et (c) sur une photo de terrain.



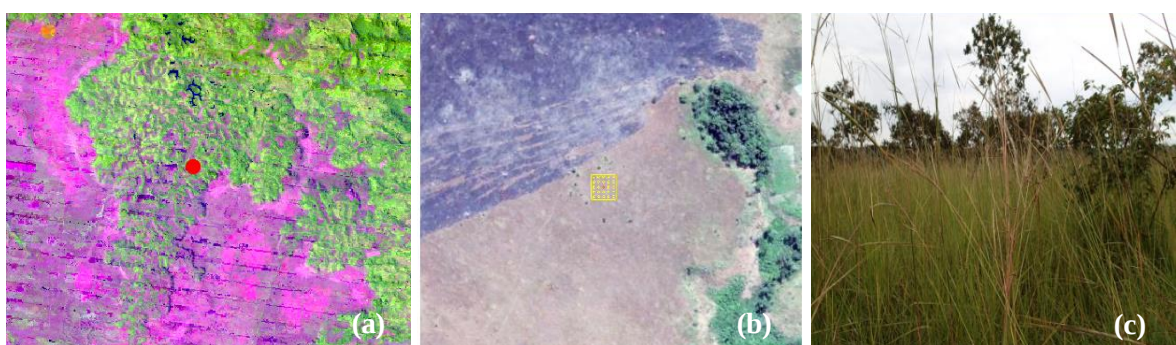
- 4) **Forêt sèche ou forêt claire (FSFC)** : Sur le plan de la télédétection, cette forêt présente un nombre d'arbres moins important que les forêts denses, ce qui se traduit par une canopée ouverte (couronnes d'arbres non jointives). La texture de la canopée sur image à haute résolution spatiale reste relativement régulière, mais est généralement plus fine qu'en forêt dense du fait de la taille réduite des arbres. La forêt sèche ou claire est surtout localisée au sud de Kwango et dans les provinces de Haut-Katanga, Haut-Lomami, Lualaba, Tanganyika (figure 4). L'analyse de la série temporelle révèle un cycle de saisonnalité : perte / repousse des feuilles avec les saisons.

Figure 4 : FSFC vue (a) sur image Landsat (composition colorée MIR/PIR/R), (b) sur image à haute résolution spatiale (Collect Earth, fenêtre de 30 m² en jaune) et (c) sur une photo de terrain.



- 5) **Savane (SA)** : sur image à très haute résolution spatiale, la savane est reconnaissable du fait de sa couverture arborée réduite ($\leq 30\%$). Sur images Landsat, la forte contribution des herbacées à la réponse spectrale des savanes se traduit par une couleur rosée (composition colorée MIR/IFR/R), une texture lisse et homogène. Il est fréquent que les savanes soient entretenues par le feu, ce qui laisse des marques visibles sur image à haute résolution spatiale (Fig. 5-b).

Figure 5 : Savane vue (a) sur image Landsat (composition colorée MIR/PIR/R), (b) sur image à haute résolution spatiale (Collect Earth, fenêtre de 30 m² en jaune) et (c) sur une photo de terrain.



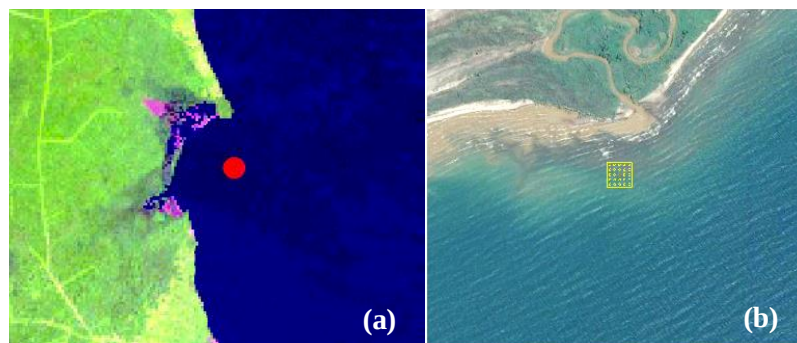
- 6) **Cultures et régénération de culture abandonnée (CRCA)** : Les zones de culture et de régénération de culture abandonnée apparaissent sous forme de mosaïques aux formes géométriques caractéristiques de l'intervention humaine (Fig. 6-b), et ont une texture granuleuse ou aplatie. Elles ont une couleur verte pâle, jaune et violette en composition colorée MIR, PIR et R sur images Landsat. Elles sont localisées aux alentours des habitations humaines et le long des axes routiers.

Figure 6 : CRCA vue (a) sur image Landsat (composition colorée MIR, PIR, R), (b) sur image à haute résolution spatiale (Collect Earth, fenêtre de 30 m² en jaune) et (c) sur une photo de terrain.



- 7) **Zone d'eau (Eau)** : Les zones d'eau ont une couleur bleue (claire ou sombre) en composition colorée MIR, PIR et R sur images Landsat (Fig. 7) et sur image à haute résolution spatiale.

Figure 7 : Eau vue (a) sur image Landsat (composition colorée MIR/IFR/R) et (b) sur image à haute résolution spatiale (Collect Earth, fenêtre de 30 m² en jaune).



- 8) **Autres** : La classe « Autres » fait référence aux terres non-forestières qui n'appartiennent à aucune des classes précédentes. « Autres » comprend principalement les zones d'agglomération, qui présentent une teinte rose pâle sur images Landsat (composition colorée MIR, PIR, R, Fig. 8-a). Sur image satellite, la texture des zones d'agglomérations est souvent hétérogène. Sur image à haute résolution spatiale, la reconnaissance des zones d'agglomération est aisée, notamment du fait de la présence d'éléments marquants (habitation, routes, etc.). La classe « Autres » comprend également les routes.

Figure 8 : Autres vue (a) sur image Landsat (composition colorée MIR/IFR/R), (b) sur image à haute résolution spatiale (Collect Earth, fenêtre de 30 m² en jaune) et (c) sur une photo de terrain.



Annexe 2 - Nombre d'échantillons théorique, pratique et répartition des échantillons à l'échelle des provinces

Cette annexe relative au système d'échantillonnage des données d'activités (section 6.7 du document du NERF) fournit le détail des calculs suivant :

- Nombre d'échantillons théoriquement nécessaire pour atteindre une erreur standard sur la précision globale de 0.01 (sous les hypothèses mentionnées dans le document du NERF, section 6.7) et ce à l'échelle des provinces (Annexe 2-A) ;
- Décomposition du nombre d'échantillons collecté à l'échelle des provinces (Annexe 2-B) ;
- Répartition du nombre d'échantillons collectés entre les strates des cartes de déforestation à l'échelle des provinces (Annexe 2-C) ;

A. Nombre d'échantillons théorique à l'échelle des provinces

Sous les hypothèses de précision utilisateurs des strates de la carte de déforestation données en section 6.7 du document du NERF (i.e. 0.90, 0.95 et 0.50 pour les strates forêt stable, non-forêt stable et déforestation, respectivement) et en fixant le même objectif d'erreur sur la précision globale (i.e. 0.01), l'équation 6-1 mène aux nombres d'échantillons théoriques pour chacune des 26 provinces donnés en tableaux 1 (période 2000-2010) et 2 (période 2010-2014). La somme des n provinciaux pour la première période donne $n_1 = 19\,044$. La somme des n provinciaux pour la seconde période donne $n_2 = 18\,629$.

B. Nombre d'échantillons collecté à l'échelle des provinces

Plusieurs campagnes d'échantillonnage aléatoire stratifié sur les cartes de déforestation 2000-2010 et 2010-2014 ont été réalisées.

Un premier tirage a été réalisé à l'échelle nationale, en visant un nombre d'échantillon (noté $n_{visé}$) de 1000. Parmi ces 1000 $n_{visé}$, un certain nombre d'échantillons n'ont pas pu être interprétés (ex. présence de nuage, image satellite de qualité insuffisante) ou ont fait l'objet d'une erreur dans l'encodage de l'interprétation (ex. absence d'information encodée pour une date de la période). Le nombre d'échantillons pour lesquels une interprétation est effectivement exploitable (noté $n_{effectif}$) est donné, par province, en tableau 3.

Afin d'augmenter la précision des estimations de surfaces par provinces, un second tirage stratifié par province a été réalisé (Stehman et al., 2012). Un accent particulier a été mis sur des provinces considérées comme prioritaires du fait de leur couverture forestière importante, avec $n_{visé} = 510$ (contre $n_{visé} = 300$ pour les autres). Pour ce second tirage, $n_{effectif}$ représente environ 95% des $n_{visé}$ (tableau 3).

En cumulant les $n_{effectif}$ des tirages réalisés à l'échelle nationale et provinciale, le nombre total d'échantillons pour lesquels une interprétation est effectivement exploitable (**$n_{effectif}$ total**) est de 10 716 pour la période 2000 – 2010 et 10 633 pour la période 2010 – 2014. Parmi les $n_{effectif}$ total, l'interprétation de certains échantillons correspond à un épisode de « reforestation » (i.e. classe « non-forêt » à l'année initiale et classe « forêt » à l'année finale). Ces échantillons doivent être écartés des analyses car ils ne correspondent à aucune strate de la carte de déforestation. En écartant ces échantillons de $n_{effectif}$ total, nous obtenons le nombre d'échantillons utilisés pour réaliser les calculs de surface de forêt-stable, de non-forêt stable et de déforestation dans le document du NERF (noté **$n_{effectif}$ utilisé** en tableau 3).

C. Allocation des échantillons aux strates des cartes des changements à l'échelle des provinces

Le tableau 4 présente les allocations des échantillons aux strates des cartes de déforestation à l'échelle des provinces, tel que décrit en section 6.6.5 du document du NERF.

Tableau 1 : Détail du calcul du nombre d'échantillons théorique par province pour la période **2000-2010**. Les strates 1, 2 et 3 correspondent à la non-forêt, à la forêt et à la déforestation, respectivement. Les colonnes W_i et W_{Si} (avec i l'indice de la strate) font référence aux variables du même nom en équation 6-1 du document du NERF. n représente le nombre d'échantillon théorique.

Province	Pixel_NF	Pixel_F	Pixel_DEF	total	Wi1	Wi2	Wi3	Wi*Si1	Wi*Si2	Wi*Si3	N
Bas-Uele	3,798103500E+07	1,248633200E+08	2,956565000E+06	1,658009200E+08	0,229	0,753	0,018	0,050	0,226	0,009	811
Equateur	1,126473400E+07	1,012063630E+08	9,297960000E+05	1,134008930E+08	0,099	0,892	0,008	0,022	0,268	0,004	861
Haut-Katanga	4,374112600E+07	9,627713800E+07	5,577720000E+05	1,405760360E+08	0,311	0,685	0,004	0,068	0,205	0,002	758
Haut-Lomami	8,834468600E+07	3,409622400E+07	1,306903000E+06	1,237478130E+08	0,714	0,276	0,011	0,156	0,083	0,005	593
Haut-Uele	5,164639800E+07	4,745544100E+07	2,745262000E+06	1,018471010E+08	0,507	0,466	0,027	0,111	0,140	0,013	696
Ituri	1,996593000E+07	4,896830800E+07	8,788020000E+05	6,981304000E+07	0,286	0,701	0,013	0,062	0,210	0,006	779
Kasai	3,910925500E+07	6,701444700E+07	2,188342000E+06	1,083120440E+08	0,361	0,619	0,020	0,079	0,186	0,010	753
Kasai Central	3,482119900E+07	2,759952000E+07	1,761249000E+06	6,418196800E+07	0,543	0,430	0,027	0,118	0,129	0,014	681
Kasai Oriental	1,015621900E+07	1,182899000E+06	1,241220000E+05	1,146324000E+07	0,886	0,103	0,011	0,193	0,031	0,005	527
Kinshasa	9,334550000E+06	2,321032000E+06	1,038740000E+05	1,175945600E+07	0,794	0,197	0,009	0,173	0,059	0,004	560
Kongo Central	3,574555700E+07	2,216364700E+07	2,631210000E+06	6,054041400E+07	0,590	0,366	0,043	0,129	0,110	0,022	677
Kwango	7,090229600E+07	2,983066000E+07	4,876080000E+05	1,012205640E+08	0,700	0,295	0,005	0,153	0,088	0,002	593
Kwilu	6,965947900E+07	1,852649100E+07	4,221910000E+05	8,860816100E+07	0,786	0,209	0,005	0,171	0,063	0,002	559
Lomami	5,206363800E+07	8,116272000E+06	4,996350000E+05	6,067954500E+07	0,858	0,134	0,008	0,187	0,040	0,004	535
Lualaba	6,913059200E+07	6,910123200E+07	1,146401000E+06	1,393782250E+08	0,496	0,496	0,008	0,108	0,149	0,004	681
Mai-Ndombe	4,110957500E+07	1,004770660E+08	1,509473000E+06	1,430961140E+08	0,287	0,702	0,011	0,063	0,211	0,005	776
Maniema	3,644766600E+07	1,018682240E+08	3,941564000E+06	1,422574540E+08	0,256	0,716	0,028	0,056	0,215	0,014	810
Mongala	1,166228200E+07	4,932231400E+07	1,516278000E+06	6,250087400E+07	0,187	0,789	0,024	0,041	0,237	0,012	838
Nord-Kivu	1,216885900E+07	4,940298900E+07	1,752696000E+06	6,332454400E+07	0,192	0,780	0,028	0,042	0,234	0,014	840
Nord-Ubangi	2,213114800E+07	3,726052900E+07	1,104727000E+06	6,049640400E+07	0,366	0,616	0,018	0,080	0,185	0,009	749
Sankuru	2,021464900E+07	9,770887100E+07	2,820946000E+06	1,207444660E+08	0,167	0,809	0,023	0,036	0,243	0,012	846
Sud-Kivu	1,219999100E+07	5,036907000E+07	3,331473000E+06	6,590053400E+07	0,185	0,764	0,051	0,040	0,229	0,025	870
Sud-Ubangi	2,100322700E+07	3,556601600E+07	1,419048000E+06	5,798829100E+07	0,362	0,613	0,024	0,079	0,184	0,012	757
Tanganyika	6,716247300E+07	6,690470300E+07	2,086010000E+06	1,361531860E+08	0,493	0,491	0,015	0,108	0,147	0,008	690
Tshopo	6,321879000E+06	2,135293080E+08	2,985809000E+06	2,228369960E+08	0,028	0,958	0,013	0,006	0,287	0,007	902
Tshuapa	2,523460000E+06	1,436539220E+08	1,574385000E+06	1,477517670E+08	0,017	0,972	0,011	0,004	0,292	0,005	904
Total RDC											19 044

Tableau 2 : Détail du calcul du nombre d'échantillons théorique par province pour la période **2010-2014**. Les strates 1, 2 et 3 correspondent à la non-forêt, à la forêt et à la déforestation, respectivement. Les colonnes W_i et $W_i S_i$ (avec i l'indice de la strate) font référence aux variables du même nom en équation 6-1 du document du NERF. n représente le nombre d'échantillon théorique.

Province	Pixel_NF	Pixel_F	Pixel_DEF	total	Wi1	Wi2	Wi3	Wi*Si1	Wi*Si2	Wi*Si3	N
Bas-Uele	4,093760000E+07	1,228026520E+08	2,060782000E+06	1,658010340E+08	0,247	0,741	0,012	0,054	0,222	0,006	797
Equateur	1,219453100E+07	1,006139430E+08	5,925770000E+05	1,134010510E+08	0,108	0,887	0,005	0,023	0,266	0,003	854
Haut-Katanga	4,429889800E+07	9,476161100E+07	1,515613000E+06	1,405761220E+08	0,315	0,674	0,011	0,069	0,202	0,005	763
Haut-Lomami	8,965158900E+07	3,377826600E+07	3,179750000E+05	1,237478300E+08	0,724	0,273	0,003	0,158	0,082	0,001	581
Haut-Uele	5,439166000E+07	4,661657200E+07	8,388740000E+05	1,018471060E+08	0,534	0,458	0,008	0,116	0,137	0,004	665
Ituri	2,084473200E+07	4,819946300E+07	7,689520000E+05	6,981314700E+07	0,299	0,690	0,011	0,065	0,207	0,006	771
Kasai	4,129759300E+07	6,506247400E+07	1,952066000E+06	1,083121330E+08	0,381	0,601	0,018	0,083	0,180	0,009	742
Kasai Central	3,658244800E+07	2,670225400E+07	8,972690000E+05	6,418197100E+07	0,570	0,416	0,014	0,124	0,125	0,007	655
Kasai Oriental	1,028034100E+07	1,092338000E+06	9,056100000E+04	1,146324000E+07	0,897	0,095	0,008	0,195	0,029	0,004	520
Kinshasa	9,438424000E+06	2,238194000E+06	8,283900000E+04	1,175945700E+07	0,803	0,190	0,007	0,175	0,057	0,004	555
Kongo Central	3,837676700E+07	2,133704600E+07	8,266790000E+05	6,054049200E+07	0,634	0,352	0,014	0,138	0,106	0,007	629
Kwango	7,140514300E+07	2,936644600E+07	4,489800000E+05	1,012205690E+08	0,705	0,290	0,004	0,154	0,087	0,002	591
Kwilu	7,008253800E+07	1,819904900E+07	3,265790000E+05	8,860816600E+07	0,791	0,205	0,004	0,172	0,062	0,002	556
Lomami	5,256327300E+07	7,905149000E+06	2,111320000E+05	6,067955400E+07	0,866	0,130	0,003	0,189	0,039	0,002	527
Lualaba	7,027699300E+07	6,817392900E+07	9,273250000E+05	1,393782470E+08	0,504	0,489	0,007	0,110	0,147	0,003	676
Mai-Ndombe	4,266065300E+07	9,933596900E+07	1,099500000E+06	1,430961220E+08	0,298	0,694	0,008	0,065	0,208	0,004	768
Maniema	4,038923000E+07	9,983953000E+07	2,028758000E+06	1,422575180E+08	0,284	0,702	0,014	0,062	0,211	0,007	782
Mongala	1,317856000E+07	4,816565300E+07	1,156665000E+06	6,250087800E+07	0,211	0,771	0,019	0,046	0,231	0,009	820
Nord-Kivu	1,392155500E+07	4,849337000E+07	9,162740000E+05	6,333119900E+07	0,220	0,766	0,014	0,048	0,230	0,007	811
Nord-Ubangi	2,323587500E+07	3,673609400E+07	5,244450000E+05	6,049641400E+07	0,384	0,607	0,009	0,084	0,182	0,004	730
Sankuru	2,303559500E+07	9,576805100E+07	1,940827000E+06	1,207444730E+08	0,191	0,793	0,016	0,042	0,238	0,008	827
Sud-Kivu	1,553146400E+07	4,940623100E+07	9,628670000E+05	6,590056200E+07	0,236	0,750	0,015	0,051	0,225	0,007	804
Sud-Ubangi	2,242227500E+07	3,452499200E+07	1,041073000E+06	5,798834000E+07	0,387	0,595	0,018	0,084	0,179	0,009	739
Tanganyika	6,924848300E+07	6,607914600E+07	8,255920000E+05	1,361532210E+08	0,509	0,485	0,006	0,111	0,146	0,003	673
Tshopo	9,307688000E+06	2,105922320E+08	2,937157000E+06	2,228370770E+08	0,042	0,945	0,013	0,009	0,284	0,007	895
Tshuapa	4,097845000E+06	1,421642930E+08	1,489652000E+06	1,477517900E+08	0,028	0,962	0,010	0,006	0,289	0,005	898
Total RDC											18 629

Tableau 3 : Nombres d'échantillons (1) visés pour interprétation ($n_{visé}$) et (2) dont l'interprétation est effectivement disponible (i.e. excluant les NA, $n_{effectif}$) décomposés par province. $\%_{effectif}$ exprime $n_{effectif}$ en pourcentage de $n_{visé}$. La somme des $n_{effectif}$ du pré-échantillonnage national et de l'échantillonnage provincial est reprise dans $n_{effectif}$ total. En excluant les échantillons interprétés comme étant une « reforestation » de $n_{effectif}$ total, nous obtenons le nombre d'échantillons utilisé pour le calcul des surfaces de forêt stable, de non-forêt stable et de déforestation (noté $n_{effectif}$ utilisé).

Province	Pré-échantillonnage national			Échantillonnage provincial					$n_{effectif}$ total		$n_{effectif}$ utilisé	
	$n_{visé}$	2000-2010	2010-2014	$n_{visé}$	2000-2010	2010-2014	2000-2010	2010-2014	2000-2010	2010-2014	2000-2010	2010-2014
		$n_{effectif}$	$n_{effectif}$		$n_{effectif}$	$\%_{effectif}$	$n_{effectif}$	$\%_{effectif}$				
Bas-Uele	1000	67	64	510	505	99	503	98,6	572	567	571	566
Equateur		38	36	510	480	94,1	476	93,3	518	512	516	512
Haut-Katanga		44	62	300	286	95,3	294	98	330	356	330	356
Haut-Lomami		55	35	300	296	98,7	291	97	351	326	351	326
Haut-Uele		40	26	510	506	99,2	502	98,4	546	528	545	528
Ituri		27	21	510	384	75,3	348	68,2	411	369	410	368
Kasai		29	56	300	293	97,7	293	97,7	322	349	322	349
Kasai Central		25	13	300	299	99,7	296	98,7	324	309	324	309
Kasai Oriental		2	6	300	274	91,3	292	97,3	276	298	276	298
Kinshasa		1	2	300	286	95,3	289	96,3	287	291	287	291
Kongo Central		22	32	300	299	99,7	289	96,3	321	321	321	321
Kwango		36	49	510	500	98	494	96,9	536	543	535	542
Kwilu		47	25	510	489	95,9	505	99	536	530	536	527
Lomami		36	34	300	279	93	288	96	315	322	315	322
Lualaba		58	48	300	292	97,3	294	98	350	342	350	342
Mai-Ndombe		43	42	510	475	93,1	479	93,9	518	521	518	521
Maniema		48	63	300	295	98,3	276	92	343	339	343	339
Mongala		16	21	510	473	92,7	481	94,3	489	502	486	501
Nord-Kivu		24	13	300	298	99,3	247	82,3	322	260	320	260
Nord-Ubangi		25	19	510	419	82,2	431	84,5	444	450	444	449
Sankuru		35	53	300	299	99,7	299	99,7	334	352	334	352
Sud-Kivu		27	23	300	299	99,7	293	97,7	326	316	326	315
Sud-Ubangi		24	18	510	481	94,3	496	97,3	505	514	505	514
Tanganyika		51	56	300	293	97,7	295	98,3	344	351	344	351
Tshopo		83	68	510	483	94,7	475	93,1	566	543	565	543
Tshuapa		48	46	510	482	94,5	476	93,3	530	522	527	521
Total RDC		951	931	10 320	9 765	94,6	9 702	94	10 716	10 633	10 701	10 623

Tableau 4 : Nombres d'échantillons alloués aux strates des cartes de déforestation 2000-2010 et 2010-2014, avec 1 la non-forêt stable, 2 la forêt-stable et 3 la strate de déforestation.

Province	2000 - 2010				2010 - 2014			
	1	2	3	total	1	2	3	total
Bas-Uele	172	239	160	571	170	232	164	566
Equateur	106	283	127	516	119	266	127	512
Haut-Katanga	107	159	64	330	100	164	92	356
Haut-Lomami	221	75	55	351	191	70	65	326
Haut-Uele	254	144	147	545	243	139	146	528
Ituri	128	165	117	410	123	132	113	368
Kasai	122	113	87	322	125	136	88	349
Kasai Central	158	98	68	324	137	83	89	309
Kasai Oriental	140	54	82	276	163	52	83	298
Kinshasa	124	87	76	287	137	75	79	291
Kongo Central	124	106	91	321	119	114	88	321
Kwango	234	211	90	535	291	229	22	542
Kwilu	283	172	81	536	338	175	14	527
Lomami	214	56	45	315	203	52	67	322
Lualaba	174	107	69	350	132	119	91	342
Mai-Ndombe	191	237	90	518	176	248	97	521
Maniema	100	146	97	343	99	148	92	339
Mongala	151	204	131	486	168	203	130	501
Nord-Kivu	80	144	96	320	86	102	72	260
Nord-Ubangi	149	169	126	444	149	178	122	449
Sankuru	88	150	96	334	84	160	108	352
Sud-Kivu	65	164	97	326	87	137	91	315
Sud-Ubangi	184	191	130	505	164	201	149	514
Tanganyika	142	117	85	344	141	120	90	351
Tshopo	60	356	149	565	84	314	145	543
Tshuapa	37	337	153	527	69	317	135	521
Total RDC	3 808	4 284	2 609	10 701	3 898	4 166	2 559	10 623

Annexe 3 - Calcul des données d'activités et des erreurs associés entre 2000 et 2010 pour la province du Kwango

Cet annexe présente, pour la province du Kwango et la période 2000 – 2010, les calculs détaillés des estimations de déforestations (et erreur), des proportions de transitions entre classes d'occupation du sol (et erreurs), et de données d'activités (et erreurs).

1. Estimation de la déforestation et de l'erreur associée

Dans la province du Kwango, la carte de changement se décompose tel que décrit en tableau 1 (colonne « Nombre de pixel ») et les échantillons de référence mènent à la matrice d'erreur du même tableau.

Tableau 1. Matrice d'erreur

		Échantillon de référence				Nombre de pixel
		Non-forest	Forest	Déforestation	total	
Carte	Non-forest	161	53	20	234	70902296
	Forest	50	140	21	211	29830660
	Déforestation	12	32	46	90	487608
	total	223	225	87	535	101220564

Chaque cellule du tableau 1 (n_{ij}) correspond au nombre d'échantillons de référence associés dans la carte des changements à la classe i (modalités en ligne) et interprétés visuellement comme étant de la classe j (modalités en colonne). Cette matrice est re-exprimée en proportions p_{ij} telles que :

$$p_{ij} = W_i * \frac{n_{ij}}{n_i} \quad (\text{Eq. 1})$$

avec W_i la proportion de pixel de la carte de classe i . Cette transformation mène au tableau 2.

Tableau 2. Matrice d'erreur (en proportion) et nombre de pixel par strate de la carte des changements.

		Échantillon de référence				Wi
		Non- forêt	Forêt	Déforestation	total	
Carte	Non-forêt	0,481949534	0,1587	0,059869507	0,700473236	0,700473236
	Forêt	0,06983637	0,1955	0,029331275	0,294709482	0,294709482
	Déforestation	0,000642304	0,0017	0,002462166	0,004817282	0,004817282
	total	0,552428209	0,3559	0,091662949	1	1

Pour calculer une superficie, nous utilisons un estimateur de « proportion de superficie » correspondant à un échantillonnage aléatoire stratifié (formule 9 dans Olofsson et al., 2014) :

$$\hat{p}_{.k} = \sum_{i=1}^q \hat{p}_{ik} \quad (\text{Eq. 2})$$

Avec k la classe d'intérêt (par ex. « déforestation »). La superficie de la classe ($\hat{A}_k$) est obtenue en multipliant $\hat{p}_{.k}$ par le nombre total de pixels dans la carte de changement (noté A). Pour la classe de déforestation de la province Kwango, nous avons :

$$\hat{A}_{DEF} = 0,0917 * 101218202 = 9278175,4123 \text{ pixels, soit } 835035,7871 \text{ ha.}$$

L'erreur standard sur la proportion de surface se calcule avec la formule suivante :

$$S(\hat{p}_{.k}) = \sqrt{\sum_i \frac{W_i \hat{p}_{ik} - \hat{p}_{ik}^2}{n_i - 1}} \quad (\text{Eq. 3})$$

De l'équation 3, nous tirons l'erreur standard sur l'estimation de surface $S(\hat{A}_k)$ en multipliant $S(\hat{p}_{.k})$ par A . Un intervalle de confiance à 90 % peut être obtenu en multipliant $S(\hat{A}_k)$ par 1,645.

Dans le cas du Kwango, nous avons donc:

$$S(\hat{A}_{DEF}) = S(\hat{p}_{.DEF}) * A = 0,0142 * 101218202 = 1437669,9024 \text{ pixels, soit } 129390 \text{ ha.}$$

Pour cette province, la surface de déforestation pour la période 2000 – 2010 est donc de 835036 ± 212847 ha.

2. Proportions des transitions entre classes d'occupation du sol et erreurs associées

Les points de référence interprétés comme étant des « transitions » de forêt vers non-forêt durant les deux périodes du NERF sont compilés en une unique table sur laquelle les proportions de transitions sont calculées. Pour chaque province, 12 transitions sont étudiées, telles que listées dans le tableau 3. Seules les points de référence pour lesquels l'opérateur a fournis un niveau de détail suffisant (type de forêt à l'année initiale, type de non-forêt à l'année finale) sont retenus, ce qui correspond à 112 échantillons de référence dans la province du Kwango (tableau 3). Les proportions des transitions (notée $prop$) sont calculées par rapport au nombre total de transition de la province concernée.

L'erreur standard sur une proportion est estimée par l'équation 4 :

$$S(prop) = \sqrt{(prop * \frac{1-prop}{N})} \quad (\text{Eq. 4})$$

avec N le nombre total d'échantillon de référence retenus.

L'intervalle de confiance à 90 % sur la proportion est obtenu en multipliant $S(prop)$ par la valeur critique de la table de student, en spécifiant le nombre de degré de liberté ($N - 1$).

Dans le cas du Kwango et de la transition « forêt dense humide sur terre ferme (FDHST) » vers « Culture et régénération de culture abandonnée (CRCA) », nous avons :

$$prop_{FDHST-RCA} = \frac{50}{112} = 0,4464$$

$$S(prop_{FDHST-RCA}) = 0.0470$$

La proportion de la transition « forêt dense humide sur terre ferme (FDHST) » vers « Culture et régénération de culture abandonnée (CRCA) » dans cette province est donc de $0,4464 \pm 0,0779$.

Tableau 3 : Récapitulatif des transitions observées dans la province de Kwango durant les périodes 2000-2010 et 2010-2014. « DEPUIS » et « VERS » designent les classes de départ et d'arrivée des transitions, respectivement. Accronymes des classes d'occupation du sol : FDHSH (forêt dense humide sur sol hydromorphe), FDHTF (forêt dense humide sur terre ferme), FSFC (forêt sèche ou forêt claire), FSc (forêt secondaire), CRCA (culture et régénération de culture abandonnée).

Province	DEPUIS	VERS	n	prop	SE	t-value	IC (90%)
Kwango	FDHSH	CRCA	0	0	0	1,6587	0
	FDHSH	Savane	0	0	0		0
	FDHSH	Autre	0	0	0		0
	FDHTF	CRCA	50	0,4464	0,0470		0,0779
	FDHTF	Savane	3	0,0268	0,0153		0,0253
	FDHTF	Autre	3	0,0268	0,0153		0,0253
	FSFC	CRCA	42	0,3750	0,0457		0,0759
	FSFC	Savane	1	0,0089	0,0089		0,0147
	FSFC	Autre	0	0	0		0
	FSc	CRCA	7	0,0625	0,0229		0,0379
	FSc	Savane	2	0,0179	0,0125		0,0208
	FSc	Autre	4	0,0357	0,0175		0,0291
total			112	1			

3. Calcul des données d'activités et erreurs associées

Les données d'activités (DA, en ha) résultent du produit de l'estimation de la déforestation (en ha) et des proportions des transitions dans une province données. À titre informatif, les DA de la province du Kwango sont données en tableau 4.

Afin de propager l'erreur associée à ces deux estimations pour une donnée d'activité donnée, nous utilisons l'équation 5 :

$$IC(DA) = \sqrt{(\hat{A}_k * prop)^2 * \left(\left(\frac{IC(\hat{A}_k)}{\hat{A}_k} \right)^2 + \left(\frac{IC(prop)}{prop} \right)^2 \right)} \quad (\text{Eq. 5})$$

avec $IC(DA)$ l'intervalle de confiance à 90% sur la donnée d'activité d'intérêt, $IC(\hat{A}_k)$ l'intervalle de confiance à 90% l'estimation de surface d'intérêt et $IC(prop)$ l'intervalle de confiance à 90% sur la proportion d'intérêt.

Pour la province du Kwango et pour la période 2000 – 2010, la donnée d'activité correspondant à la transition « forêt dense humide sur terre ferme (FDHST) » vers « Culture et régénération de culture abandonnée (CRCA) » est donc :

$$DA_{FDHTF-RCA} = 835035,7871 * 0,4464 = 372759,9754 \text{ ha}$$

et

$$IC(DA_{FDHTF-RCA}) = \sqrt{(835035,7871 * 0,4464)^2 * \left(\left(\frac{212847,0290}{835035,7871} \right)^2 + \left(\frac{0,0779}{0,4464} \right)^2 \right)} = 115148,7893 \text{ ha}$$

La surface de transition « forêt dense humide sur terre ferme (FDHST) » vers « Culture et régénération de culture abandonnée (CRCA) » est donc de 372760 ± 115149 ha.

Tableau 4. DA et erreurs associées pour la province du Kwango.

Province	DEPUIS	VERS	DA (en ha)	IC (90%)
Kwango	FDHSH	CRCA	0	0
	FDHSH	Savane	0	0
	FDHSH	Autre	0	0
	FDHTF	CRCA	372759,98	115148,79
	FDHTF	Savane	22378,96	21882,96
	FDHTF	Autre	22378,96	21882,96
	FSFC	CRCA	313138,42	101920,46
	FSFC	Savane	7431,82	12420,34
	FSFC	Autre	0	0
	FSc	CRCA	52189,74	34330,09
	FSc	Savane	14947,14	17781,71
	FSc	Autre	29810,78	25459,91

Annexe 4 - Méthodologie de l'inventaire forestier du Projet DIAF-JICA Forêts

1. Objectif

Le but de l'inventaire forestier du Projet DIAF-JICA Forêts est d'aménager les informations de terrain nécessaires pour atteindre les objectifs du SNSF cités ci-dessus. Ceci consiste concrètement à collecter les informations suivantes et d'en assurer continuellement le suivi, il s'agit de :

- Saisir la disponibilité des ressources forestières (volume accumulé, composition des espèces, structure forestière (couches, distribution DHP, etc.)
- Rassembler les Informations nécessaires pour la mise en œuvre de la REDD+ « teneur en carbone de forêt (5 réservoirs) »
- Aménager les informations relatives aux multiples fonctions des forêts et de la relation entre les habitants locaux et la forêt (utilisation des forêts par les habitants locaux, activités anthropiques réalisées dans la forêt, distribution de la faune sauvage, etc.)

2. Orientation de base

Préalablement à la conception de l'inventaire forestier et à sa mise en œuvre, il est nécessaire d'établir les orientations de base pour cet inventaire.

Les conditions suivantes sont à prendre en considération pour établir les orientations de base pour l'inventaire forestier du Projet DIAF-JICA Forêts.

- Politique connexe et exigences d'ordre social
- But et usage de l'inventaire forestier
- Ressources utilisables et conditions de mise en œuvre (budget, personnel, matériel et temps)
- Niveau technique de l'organisme exécutif
- Exigences techniques (précision, éléments à étudier, produits obtenus)

Dans la présente procédure, on a fixé les orientations de base suivantes en considérant la mise en œuvre de l'inventaire forestier qui est un des éléments constituant le SNSF À savoir :

- Effectuer la conception en ayant pour base la collecte efficace des informations de terrain nécessaires pour atteindre le but de l'IFN. (Collecter efficacement les informations nécessaires)
- Une conception très précise est à faire de manière qu'elle soit utilisée dans le cadre de la REDD+.
- En considérant la grande superficie de la RDC, les conditions d'accès (réseaux routiers peu aménagés et distribution de rivières), les types de forêts et leur distribution, on adopte une conception réaliste du point de vue du coût, de la précision et de l'organisation exécutive des travaux.
- On envisage l'amélioration continue de la précision et le renforcement des capacités du personnel technique par le moyen du cycle PFCA (PDCA).

3. Localité ciblée (nationale ou régionale)

Le SNSF est un système ciblant l'ensemble du pays, et l'inventaire forestier qui en est l'un des composants, cible également le territoire national de la République Démocratique du Congo. Mais, le projet de la JICA a mis en œuvre par l'établissement de la carte forestière de base et par l'exécution de l'inventaire forestier

dans l'ex Province de Bandundu, le SNSF a été développé sur la base des connaissances acquises par ce projet dans l'ex province de Bandundu. De ce fait, à l'avenir, la DIAF doit mettre à jour le SNSF de façon à refléter les conditions et les connaissances des autres provinces que l'ex-province de Bandundu.

4. Précision visée

Ce qui est important pour l'inventaire forestier, c'est de le mettre en œuvre en continu. Il ne faut pas essayer d'obtenir une précision nécessitant un investissement excessif.

Si l'on considère la grandeur taille du territoire de la RDC, la distribution forestière, les conditions d'accessibilité et l'état de l'aménagement des infrastructures, il n'est pas réaliste, du point de vue du coût, de l'organisation et de la sécurité, de viser une précision très élevée.

En considérant ces éléments, on avait fixé, pour l'inventaire forestier de l'ex province de Bandundu, une précision visée ayant le taux d'erreur de 10% et le taux de confiance de 95%.

Il est à noter que dans “ le Guide des bonnes pratiques pour l'UTCATF (2003) 4.3.3.4.1 LE NOMBRE ET LE TYPE DES PLACETTES-ECHANTILLON, GIEC (en anglais : IPCC Good Practice Guidance for LULUCF (2003) 4.3.3.4.1 THE NUMBER AND TYPE OF SAMPLE PLOTS)”, une précision prévue avec en général un taux d'erreur de 10% au maximum et un taux de confiance de 95% est fixée pour l'estimation de l'IFN (NFI) et du stockage de carbone compte tenu du coût.

Boîte 1

Précision de l'inventaire forestier

L'expérience a montré que dans le secteur de l'UTCATF, les stocks de carbone et la variation des stocks de carbone dans les forêts complexes peuvent être estimés à des niveaux de $\pm 10\%$ de la moyenne de précision, avec 95% de confiance, à un coût modeste (Brown, 2002; [http : //www.winrock.org/REEP/NoelKmpff_rpt.html](http://www.winrock.org/REEP/NoelKmpff_rpt.html)). Les inventaires forestiers nationaux et régionaux qui sont utilisés pour évaluer la croissance des stocks de bois avec la précision généralement visée inférieurs à 10% de la moyenne (voir GIEC, 2000b).

5. Méthodologie de l'échantillonnage

(1) Ligne de base

- ✓ La conception de l'inventaire forestier dans l'ex-province du Bandundu effectué par le Projet DIAF-JICA était fondamentalement basée sur la méthodologie du pré-inventaire de DIAF-FAO. Cependant certains éléments étaient changés en tenant compte des expériences et des données obtenues par le pré-inventaire dans l'ex-province du Bandundu qui a été mise en œuvre par la DIAF-JICA.
- ✓ En considération de la caractéristique des forêts de l'ex-province du Bandundu, la stratification des forêts a été réalisée en divisant la zone des forêts majoritaires et de la zone mixte de forêt-savane.
- ✓ L'échantillonnage systématique était appliqué.
- ✓ En raison du manque d'informations sur l'accessibilité, on a commencé les travaux de terrain par

les endroits dont l'information sur l'accès est disponible. Au fur et à mesure de l'avancement des travaux de terrain, le plan d'opération était modifié en tenant compte des informations collectées sur l'accessibilité plus fiables.

- ✓ Puisque les travaux de pré-inventaire n'ont pas encore terminés à l'échelle nationale, on ne pouvait pas calculer le nombre requis d'unités d'échantillonnage sur la base de coefficient de variation qui seront déterminés avec les données du pré-inventaire. De ce fait, ayant recours aux expériences des études similaires effectuées dans les forêts tropicales, on a appliqué de façon provisoire le coefficient de variation.

(2) Unités d'échantillonnage

Zone des forêts majoritaires

Une placette est en forme carrée d'une superficie de 0,36 ha (60m x 60m). La méthode des unités d'échantillonnage composées de 4 placettes agroupées est appliquée en tenant compte de différents éléments comme l'efficacité de travail de terrain, la superficie d'unité d'échantillonnage (1,44 ha) et l'homogénéité forestière.

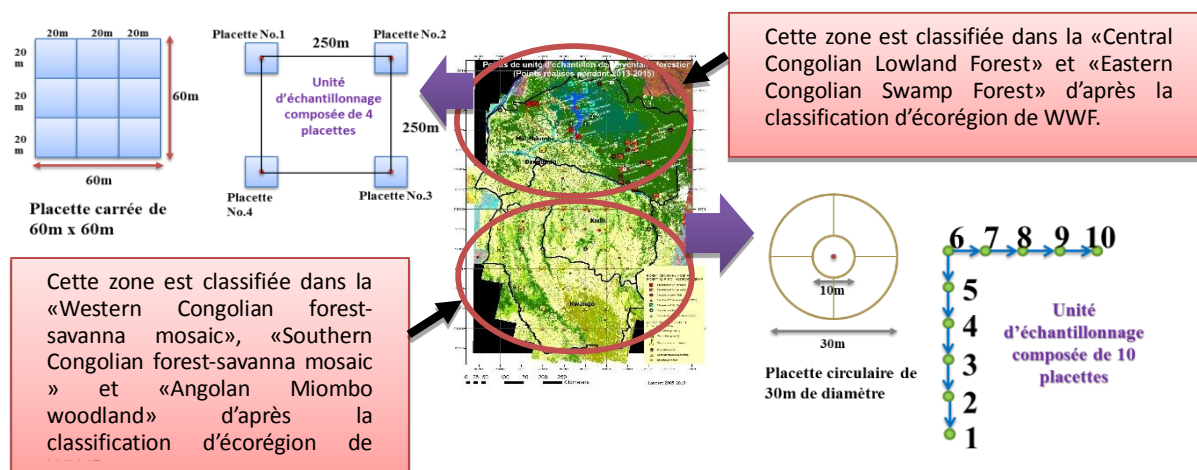


Figure 1

Zone mixte

Cette zone est caractérisée par le fait que les forêts, les savanes et les cultures sont distribuées en forme de mosaïque. Dans ce type de zone, l'hétérogénéité en type forestier et l'utilisation des terres est grande, il est donc approprié d'appliquer la méthode d'unités d'échantillonnage des petites superficies en groupe. Une placette est en forme circulaire d'une superficie de 0,0707 ha (30m de diamètre). La méthode des unités d'échantillonnage composées de 10 placettes agroupées est appliquée

(3) Zone de la forêt majoritaire (forêt dense humide et forêt dense sur sol hydromorphe)

- L'échantillonnage systématique sera appliqué en utilisant les grilles de 10'. (Fig.2)
 - L'échantillonnage se fera sur la carte UCL 2010. (Fig.3)
 - Les points d'échantillon sont sélectionnés dans une bande de 10km de largeur à partir des voies routières passables ou des rivières navigables confirmées. (Fig.4)
- Cependant étant donné que la carte de l'UCL a été préparée avec l'utilisation des images satellitaires

Boîte 2

Selon le “Manual for building tree volume and biomass allometric equations from field measurement to prediction (FAO-CIRAD)”, on a utilisé la formule :

$$CV = 706 \times A^{-0.350} \text{ (A = dimension de placette en m}^2\text{, CV=Coefficient de Variation en \%)}$$

Comme on utilise la placette de 60m x 60m = 3 600m²,

Une unité d'échantillonnage a 14 400m² de superficie.

$$CV = 706 \times 14400^{-0.350} = 24,7 \%$$

Sur cette hypothèse, on a calculé qu'il serait possible avec 25 unités d'échantillonnage de faire une estimation de la biomasse forestière avec un taux d'erreur de 10% et une confiance de 95%³². De ce fait, le nombre de placettes provisoirement déterminé en haut peut être suffisant. Mais au cas où le nombre d'unités d'échantillonnage soit insuffisant, le nombre serait augmenté en examinant des informations sur l'accessibilité à collecter au fur et à mesure de l'avancement des travaux de terrain.

$$N = \left(\frac{t_{0.05 \times C_v}}{E} \right)^2 = \left(\frac{2 \times 0.247}{0.1} \right)^2 = 24,4 \div 25$$

(4) Zone mixte de forêt-savane

C'est une zone mixte constituée en mosaïque de forêt dense, de forêt sèche, de forêt Miombo, de savane, de terrain agricole, etc. Pour faire face à une telle zone de mosaïque forêt-savane non uniforme et de superficie réduite, il convient de mener un inventaire forestier avec l'unité d'échantillonnage regroupée de placettes de petite superficie. Pour le cas d'une placette de superficie importante, il y a risque que plusieurs types de forêts et de sols y coexistent et cela rendra plus difficile l'estimation de la biomasse et du volume de bois par l'échantillonnage stratifié. C'est la raison pour laquelle la placette de superficie réduite est à adopter.

- L'échantillonnage systématique sera appliqué en utilisant les grilles de 30'. (Fig.5)
- L'échantillonnage se fera sur la carte UCL 2010.
- La catégorie « forêt dense, forêt sèche et la savane avec végétation ligneuse (savane arborée et boisée) » font l'objet de l'estimation de la biomasse.
- On y applique une forme circulaire d'une superficie de 0.0707 m² (30m de diamètre). Un regroupement (unité d'échantillon) consiste en dix placettes.

³² IPCC Good Practice Guidance for LULUCF / 4.3.3.4.1 THE NUMBER AND TYPE OF SAMPLE PLOTS

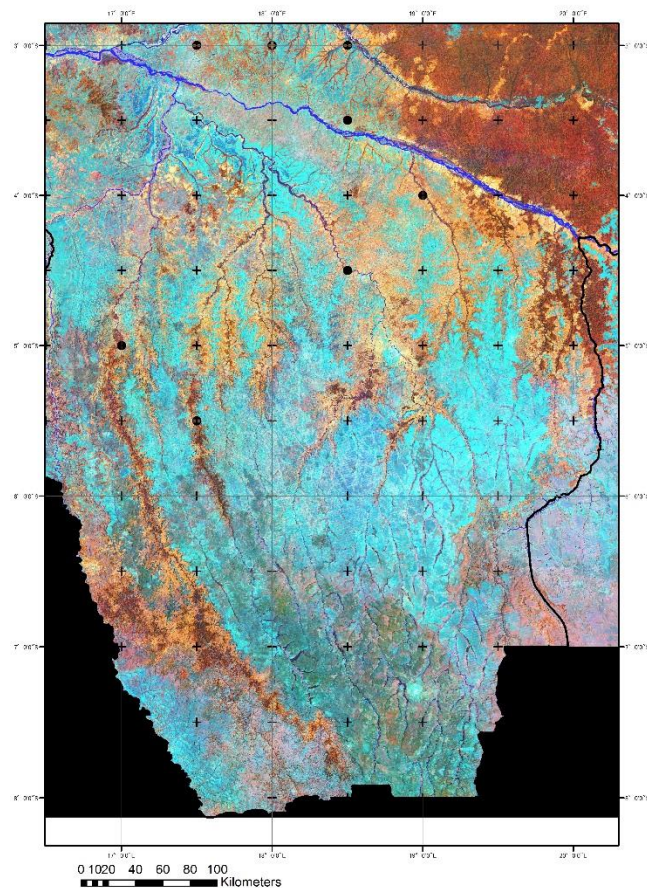


Figure 5

- Puisque la carte UCL a été préparée avec les images satellitaires de basse résolution, les points candidats d'échantillon ont été confirmés sur les images Landsat. Certains points d'échantillon sont exclus ou sont ajoutés suivant les résultats de la vérification des images Landsat. (Fig.6)
- Puisque les voies d'accès apparaissent sur les images Landsat dans presque toute la zone où ce type de forêt et de végétation est localisé, il n'est pas nécessaire de mettre une bande à partir des voies et des rivières.

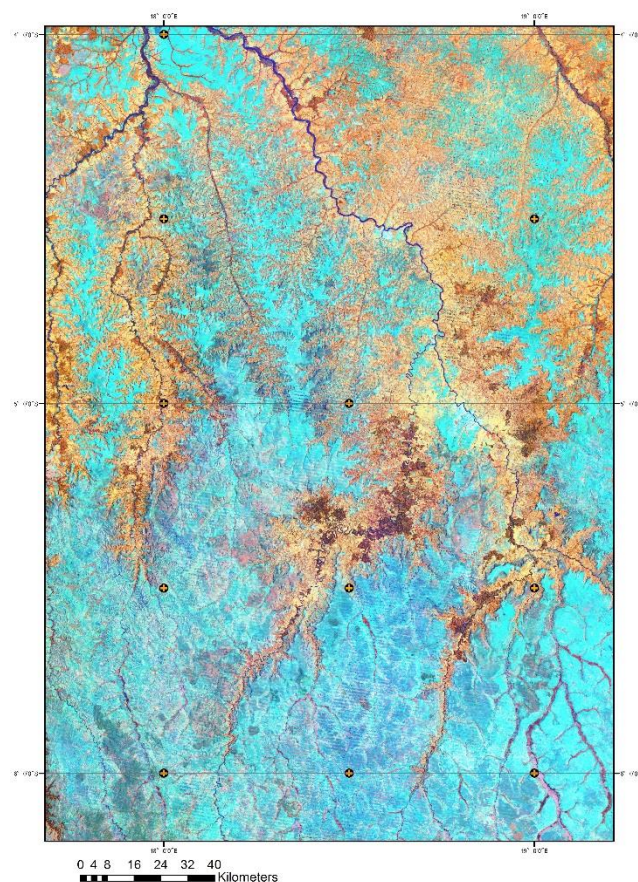


Figure 6

- Étant donné que la distance entre les points de grilles de 30' est approximativement de 55,2km, environ 95 points ont été identifiés comme suit : $291.166\text{km}^2 / (55,2\text{km})^2 = 95$. (291.166 est de la superficie de l'ex-province du Bandundu.)
- Sur la base des superficies par types de forêt, de végétation et de couvert terrestre calculées avec l'utilisation de la carte UCL, 63% de ces 95 points correspondront à la zone mixte de forêt-savane. Par conséquent 60 points sont localisés dans d'autres catégories ($95 \times (0,63)=60$).
- 60 points d'échantillon consistent en 600 placettes. Basé sur la carte UCL, la forêt dense, la forêt sèche et la savane avec végétation ligneuse couvrent approximativement 77% de la zone. A savoir, 462 de 600 placettes correspondront à la catégorie de forêt dense, forêt sèche et savane avec végétation ligneuse ($600 \times 77\% = 462$).
- La catégorie « forêt dense, forêt sèche et savane avec végétation ligneuse » contient une grande variété. De ce fait, le coefficient de variation était estimé à 0,85 en considérant une marge de sécurité de 20% pour la zone mixte de forêt-savane.

Boîte 2

Selon le "Manual for building tree volume and biomass allometric equations from field measurement to prediction (FAO-CIRAD)", on a utilisé la formule :

$$CV = 706 \times A^{-0.350} \quad (A = \text{dimension de placette en m}^2, CV = \text{Coefficient de Variation en \%})$$

On utilise la placette de 707m² (15²x3.14).

$$CV = 706 \times 707^{-0.350} = 71 \%$$

Avec la marge sécurité de 20%.

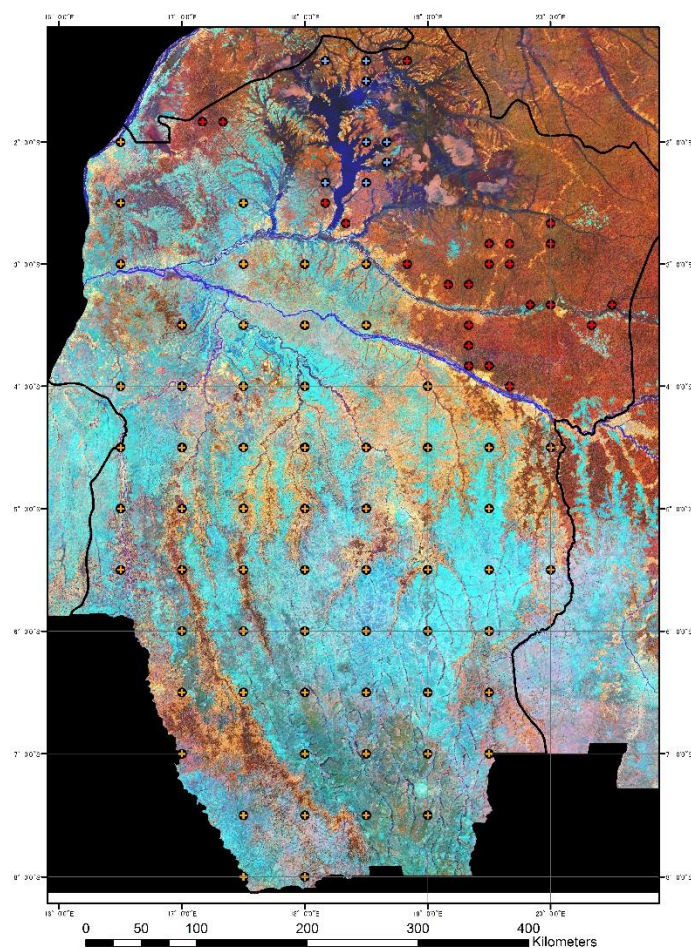
$$71\% \times 1,2 = 85\%$$

- Sous cette supposition, le nombre requis de placettes sera de 289 qui permettront de faire une estimation de la biomasse forestière avec un taux d'erreur de 10% et une confiance de 95%.

$$N = \left(\frac{t_{0.05} \times C_v}{E} \right)^2 = \left(\frac{2 \times 0.85}{0.1} \right)^2 = 289$$

- On peut dire donc que l'estimation de la biomasse avec la précision mentionnée ci-dessus est possible avec 38 unités d'échantillon ($289 \div (1/0.77) / 10 = 38$ unités d'échantillon).

La figure 7 montre le résultat de la sélection des placettes en appliquant la méthode mentionnée ci-dessus.



Blue : Forêt sur sol hydromorphe
 Rouge : Forêt dense humide
 Jaune : Forêt sèche et savane arborée et boisée, et autre végétation

Figure 7

(5) Répartition du nombre de points d'échantillon

La répartition du nombre de points d'échantillon ainsi sélectionnés est indiquée dans le tableau suivant:

Tableau 1

Type de forêt		Nombre des unités d'échantillon candidate	Nombre des unités d'échantillon à mettre en ouvre
Forêt majoritaire	Forêt dense humide:	24	25
	Forêt sur sol hydromorphe	9	
Forêt sèche et savane avec végétation ligneuse		61	38
Total		94	63

Comme ce qui est mentionné ci-dessus, ce calcul du nombre requis des unités d'échantillonnage était basé sur un coefficient de variation estimé. Après avoir effectué l'inventaire, il est devenu évident que le

coefficient de variation était plus petit et que la précision visée était attendue avec le nombre plus petit. Le nombre d'unités d'échantillonnage étudié figure au chapitre 3.9 de l'annexe 1.

6. Méthodologie dendrométrique et des prises des échantillons du sol et de litière

Tableau 2 : Méthodologie dendrométrique et des prises des échantillons du sol et de litière

Article	Articles	
Forme de placette	Zone de la forêt majoritaire (forêt dense humide et forêt dense sur sol hydromorphe)	Placette carrée: 60m x 60m (0.36ha) qui est divisée en neuf blocs de 20m × 20m (Fig.8).
	Zone mixte de forêt-savane	Placette circulaire avec un diamètre de 30 m (0.0707ha)
Unité d'échantillonnage	Placette carrée	Une unité d'échantillonnage consiste en 4 placettes en forme carrée avec la distance de 250m (Fig1).
	Placette circulaire	Une unité d'échantillonnage consiste en 10 placettes en forme « L » avec la distance de 250m (Fig1).
Paramètres de mesure dendrométrique et protocoles de prises d'échantillons de sol et de litière	Placette carrée	
	DHP (diamètre à la hauteur de poitrine)	DHP $\geq$ 10cm. Seulement en 1 bloc DHP $\geq$ 5cm
	La mesure des hauteurs des arbres (hauteur totale d'arbre)	Mesurer des hauteurs de trois arbres de chaque tranche de diamètre de 10 cm.
	La mesure des arbres morts tombés et ceux sur pied	Les arbres morts qui font l'objet de mesure sont ceux qui ont un diamètre de plus de 10cm et dont le centre croise la ligne de 60m reliant les pieux No.3, 7, 11 et 15. (Seuls les arbres morts qui ont le centre sur la face longitudinale) L'élément à mesurer est le diamètre du point de croisement entre l'arbre mort et la ligne.
		Le degré de pourriture est noté en choisissant parmi 3 catégories suivantes. 1 : Arbre mort (dur) / 2 : Arbre mort (entre 1 et 3) / 3 : Arbre mort (pourri)
	L'échantillonnage du sol	Les arbres morts sur pied sont mesurés à égale façon des arbres vivants. L'arbre avec la hauteur inférieure à 1,3m, mesurer la hauteur et diamètre de la section supérieure. Le degré de pourriture est noté à même façon des arbres morts tombés.
		Le prélèvement des échantillons du sol se fait dans les blocs 5 et 9 de toutes les placettes de chaque unité d'échantillonnage. À chaque point, les 3 échantillons sont pris, en couches de 0-10cm, 10-20cm et 20-30cm. On utilise le cylindre 100ml.

	L'échantillonnage de litière	Le prélèvement des échantillons de litière se fait dans les blocs 5 et 9 de toutes les placettes de chaque unité d'échantillonnage. Les toutes les litières dans la placette de 50cm x 50cm sont prises.
	Placette circulaire	
	DHP	A partir du centre du rayon de 5 m à l'intérieur: $DBH \geq 5cm$
		Du centre du rayon de 5 m à l'extérieur: $DBH \geq 10cm$
	La mesure des hauteurs des arbres (hauteur totale d'arbre)	Mesurer des hauteurs de trois arbres de chaque tranche de diamètre de 10 cm.
	La mesure des arbres morts tombés et ceux sur pied	Pour les placettes circulaires ayant le numéro désigné (placettes No.1, 3, 5 et 7, montrées en la Fig.1), effectuer la mesure des arbres morts.
		Les arbres morts qui font l'objet de mesure sont ceux qui ont un diamètre de plus de 10cm et dont le centre croise la ligne Nord – Sud passant au centre du cercle. L'élément à mesurer est le diamètre du point de croisement entre l'arbre mort et la ligne. Le degré de pourriture est noté à même façon des placettes carrées.
	L'échantillonnage du sol et litière	Même façon des placettes carrées.
		Pour les placettes circulaires ayant le numéro désigné (placettes No.2, 4, 6 et 8), effectuer le prélèvement du sol et de litières à même façon des placettes carrées.

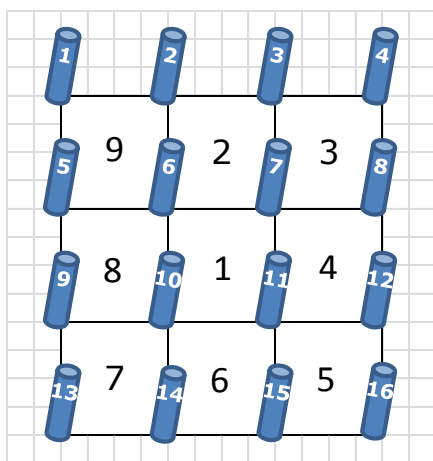


Figure 8 : Placette carrée

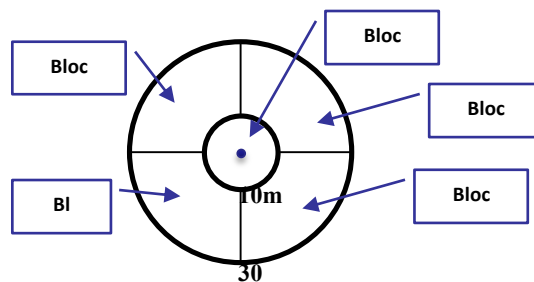


Figure 9 : Placette circulaire

7. Résultats

Les procédures de calcul de la biomasse et de l'analyse des échantillons de sol et de litière sont décrites au chapitre 3.9 « Méthode de construction du Facteur d'Émission » de l'annexe 5.

Annexe 5 - Document technique de construction du NERF des provinces de Mai-Ndombe, Kwilu et Kwango

1. Contexte et objectif

Dans la discussion technique sur la REDD+ lors de la COP 16 (2010, Cancun) et de la COP 19 (2013, Varsovie), les quatre éléments techniques à développer sont déterminés comme une condition pour que les pays en développement reçoivent un paiement basé sur les résultats (PBR) de la REDD+, il s'agit de :

(a) stratégie nationale / plan d'action, (B) Niveau d'émission de référence pour les forêts / niveau de référence pour les forêts (NERF / NRF), (c) système national de surveillance des forêts, et (d) système d'information des sauvegardes.

La Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) a défini le NERF comme suit :

Les NERFs servent de repères pour évaluer les résultats obtenus par chaque pays dans la mise en œuvre des activités REDD+ (Décision 12/CP.17)

Par conséquent, afin d'obtenir un paiement basé sur les résultats de la REDD+, il est nécessaire de développer une base de référence (NERF) pour montrer d'une façon quantitative les efforts de la réduction des émissions des gaz à effet de serre. Autrement dit, le NERF montre la prévision de l'avenir dans le cas où rien n'a été fait dans les efforts de réduction (les mesures ne sont pas prises). Les pays qui s'engagent de participer à la REDD+, en utilisant le NERF, comparent le cas où « s'ils mettent en œuvre des mesures (dans le futur, on mesure l'émission réelle) » et le cas où « s'ils ne mettent pas en œuvre des mesures (prévision de l'avenir au moment actuel = NERF) », puis, il sera montré quantitativement leurs propres efforts.

2. Situation socio-économique

2.1 Généralités des provinces

L'ancienne province de Bandundu a été démembrée en trois provinces, la province de Mai-Ndombe, de Kwilu et de Kwango dans le cadre de la politique de décentralisation. La superficie et la population sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Superficie et population des provinces

Province/ville	Superficie (km ²)	Population	Densité pop.
Mai-Ndombe	127 707	3 202 210	25
Kwilu	79 071	7 567 180	96
Kwango	90 890	5 171 138	57
Bandundu ville	222	950 683	4 282
Kikwit ville	92	1 326 068	14 414
Total	297 982	18 217 279	61

(Source : édité par l'auteur basé sur CAID, <https://www.caid.cd/>, accès au 10 août 2017)

La province de Mai-Ndombe est un domaine de forêt (forêt dense humide et forêt dense sur sol hydromorphe). La province de Kwango au sud est un domaine de savane (La savane, la forêt galerie et la forêt claire du type Miombo sont distribuées). Le couvert végétal de la province de Kwilu est tributaire de sa position médiane entre le domaine de forêt et celui de savane. En allant du Nord au Sud, le paysage de cette province change de forêt en savane. La végétation de la province de Kwilu est principalement de type savanicole (sur sols sablonneux) avec des zones de savanes entrecoupées de galeries et de lambeaux forestiers résultant d'une forte pression anthropique (notamment cultures sur brûlis, exploitation forestière incontrôlée, bois de chauffe, carbonisation et feux de brousse).

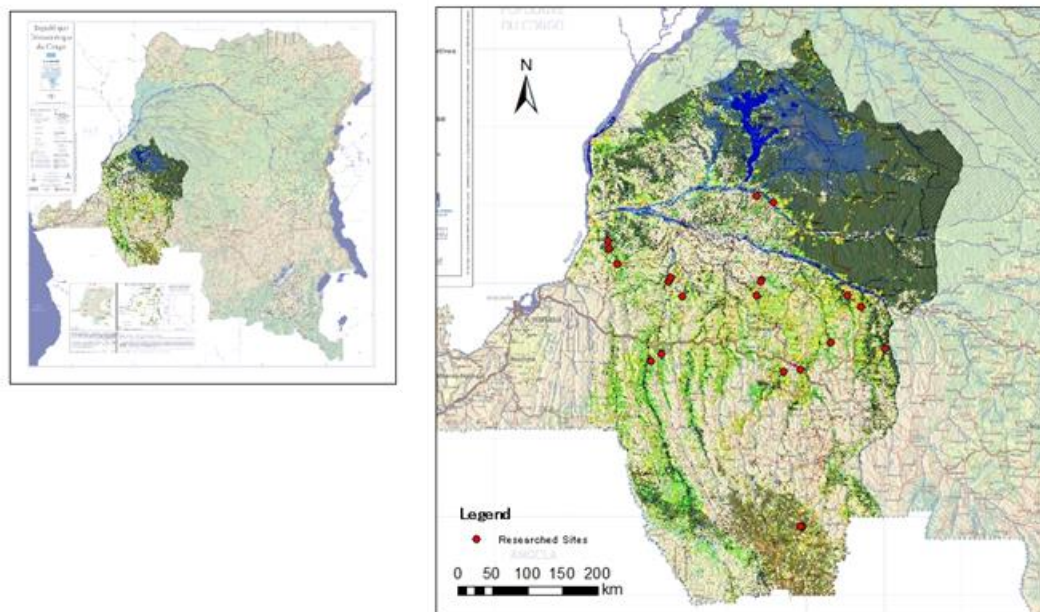


Figure 1 : Aperçu de l'ex-province de Bandundu

(Les points rouges montrent les endroits des études sur les moteurs de déforestation)

Selon la Stratégie-cadre nationale REDD+ de la RDC, le pays a identifié les moteurs de déforestation suivants: l'agriculture itinérante sur brûlis, l'exploitation forestière du bois, carbonisation & Bois-énergie / bois de chauffe, exploitation minière et feux de brousse comme causes directes, et croissance démographique, aspects institutionnels (décisions politiques, mégestion, guerres civiles), infrastructures & urbanisation et aspects économiques (crise économique, chômage, pauvreté) comme causes sous-jacentes[6].

D'après le rapport d'enquête du PNUE sur les moteurs de la déforestation de l'ex-province de Bandundu, les moteurs directs sont l'agriculture (agriculture itinérante sur brûlis), la production de charbon de bois et la baisse de la fertilité de sol (UNEP)[8]. L'enquête a été mise en œuvre dans le cadre du programme ONU-REDD et la collecte d'opinions des parties prenantes sur les moteurs de la déforestation a été effectuée. Selon elle, les moteurs directs sont : l'agriculture itinérante sur brûlis, non-respect de la période de jachère, Feux de brousse dans la savane, Exploitation industrielle de bois dans le Mai-Ndombe, Exploitation des charbons de bois et des bois de chauffe dans le Kwilu et le Kwango, Existence des boulangeries et des briqueteries utilisant les bois. Les moteurs indirects sont : Croissance démographique, Mauvaise gouvernance, Pauvreté, Conflit foncier, Urbanisation (UNREDD)[9].

2.2 Agriculture (culture sur brûlis)

L'ex-province du Bandundu connaît deux types de climat : saison sèche (de juin à août) et saison des pluies (de septembre à avril) (Ministère du Plan)[4]. Elle connaît la petite saison sèche de janvier à février (VAC)[10]. En allant du Sud au Nord, la précipitation augmente. La moyenne est de 800 à 2000 mm par an (Ministère du Plan)[4].

L'agriculture dans l'ex-province du Bandundu était pratiquée sous forme de culture itinérante sur brûlis. Nombreuses sont dans la forêt (rarement dans la savane) qui sont défrichées pour la culture sur brûlis. La superficie de culture que chaque ménage estime nécessaire pour assurer sa subsistance est de 1 à 2 ha. [Etude des moteurs de la déforestation (Projet DIAF/JICA)]

Un champ étant soumis à la monoculture de 1 à 3 ans, on peut constater que le site de culture se déplace d'un point à l'autre en fonction de la dégradation de la fertilité des sols en ayant recours seulement à la fertilisation par brûlage sans l'introduction d'engrais chimiques (par exemple). La période moyenne de jachère est d'environ 3 ans [Etude des moteurs de la déforestation (Projet DIAF/JICA)]. On peut dire que dans la province de Kwilu le défrichage est pratiqué sans attendre le rétablissement des végétations. Il est fort possible que l'agriculture répétée sous cette forme entraîne la dégradation et la réduction des forêts. Par conséquence, cela cause la déforestation.

La population s'habitue à brûler la forêt secondaire en deux raisons : l'entrée de travail dans la forêt mature ou climax s'augmente plus que celle dans la forêt secondaire, l'efficacité se baisse à cause de l'imbrûlé. Il semble être progressivement sous empiètement vu de l'air.

Les cultures principales sont le manioc, le maïs et l'arachide. On connaît les deux saisons de culture. Quant au manioc, la première saison de plantation est du 15 octobre au 15 novembre. Ensuite, le manioc peut être récolté après 9 mois à 24 mois, la récolte se fait du 15 juillet au 15 août (FAO). La deuxième saison de plantation est du 15 mars au 15 avril, la récolte se fait du 15 décembre au 15 janvier. Quant au manioc, il y a une récolte d'un moment donné tandis que la récolte est faite conformément au besoin de ménage depuis la première année.

Quant au maïs, la première saison de semis est du 15 octobre au 15 novembre, et la récolte est du 15 février au 15 mars (FAO). La deuxième saison de semis est du 15 janvier au 15 février, et la récolte est du 15 mai au 15 juin. De manière générale, la préparation de champs (brûlage, nettoyage, etc.) est faite juste avant la saison des pluies. Après cela, on fait le semis/plantation.

La production (t) du manioc, du maïs et de l'arachide dans l'ex-province du Bandundu est respectivement de : 5 158 950 t, 234 919 t et 110 549 t (2002) (Ministère de l'Agriculture/Bandundu)[3]. La superficie moyenne d'un ménage du manioc, du maïs et de l'arachide est 0,8 ha, 0,5 ha et 0,2 ha [Ministère de l'Agriculture/Bandundu]. La superficie de culture par ménage par saison agricole est de 0,5 à 1 ha. La superficie de champs est environ 2 ha par an (Ministère de l'Agriculture/Bandundu)[3].

2.3 Bois énergie (bois de chauffe, charbon de bois)

Selon les estimations, le bois énergie couvre 92% de la consommation d'énergie du pays (Ministère de l'Energie 2009). Plus de 90% de la demande de cette forme d'énergie relève du secteur de ménage. Le bois énergie est la principale source d'énergie pour 90% de la population urbaine.

Le volume de bois énergie vendu pour la ville de Kinshasa atteint 4,8 millions m³ (plus de 12 fois du volume officiel de la production nationale de bois d'œuvre (400 000 m³) (2010). Parmi eux, le volume de

charbon de bois est 4,7 millions m³ (490 000 t) et celui de bois de chauffe est 85 700 m³ (60 000 t) équivalent à 143 millions USD (CIFOR)[2]. L'approvisionnement en bois énergie de la Ville de Kinshasa se fait via : la route nationale N°1 du Plateau Batéké vers l'est, représentant 43% de l'approvisionnement et l'amont du fleuve Congo fournissant les 23%.

L'ex-province de Bandundu est une source d'approvisionnement pour la demande urbaine de Kinshasa via la route nationale n° 1 et le fleuve Congo. Il est estimé qu'il est approvisionné via : la route nationale N°1 auprès du plateau Bateke, de la province de Kwango et de la province de Kwilu, et via : le Fleuve Congo, la rivière Kasai et la rivière Lukeni auprès de la province de Kwilu et de la province de Mai-Ndombe.

L'énergie de cuisson de ménage à Kinshasa est l'électricité (39,1%), le charbon de bois (51,6%) et le bois de chauffe (5,3%), et celle de l'ex-province de Bandundu est respectivement 1,1%, 10,4% et 86,5% (2012) (Ministère du plan)[5].

Il y a du bois de chauffe et du charbon de bois comme énergie nécessaire pour la vie quotidienne, mais le charbon de bois est à peine utilisé dans le village [Etude sur les moteurs de déforestation]. Le coût de production de charbon de bois est élevé, et l'utilisation de charbon de bois dans le village n'est pas rentable. Le prix unitaire de charbon de bois est plus élevé que celui de bois de chauffe. Par conséquent, le charbon de bois est expédié exclusivement aux villes, et le bois de chauffe est utilisé dans les villages.

La consommation moyenne de bois de chauffe au ménage est de 9,4 kg par jour, la consommation annuelle de la province de Kwilu est d'environ 1 480 000 t/an équivalent à la superficie d'environ 8 000 ha de la forêt secondaire. Cependant, quant à la façon de collecter du bois de chauffe, « le bois mort est ramassé » dépasse 70% du total, donc le bois de chauffe est considéré comme un sous-produit de brûlis. Par conséquent, on peut dire que l'importance de collecte de bois de chauffe comme moteurs de la déforestation est relativement faible.

D'après l'étude des moteurs de la déforestation, la minorité de la population au village pratique la production de charbon de bois. D'après elle, les raisons sont : la technique de production de charbon de bois n'est pas vulgarisée, difficile à mettre en organisation pour la production de charbon de bois, difficile à obtenir les outils comme scie à chaîne pour la production de charbon de bois à grande échelle en raison de son prix. On ne peut pas dire avec ce fait que la production de charbon de bois n'est pas un moteur majeur de déforestation. Cependant, comme la plupart du charbon de bois qui est vendu au marché dont le diamètre d'arbre est relativement petit (environ 5 cm), on peut en déduire qu'une grande partie de la production de charbon de bois est réalisée tout en choisissant du bois dans la forêt secondaire. Les arbres de grand diamètre dans la forêt secondaire peuvent être utilisés pour d'autres utilisations telles que l'agriculture et l'exploitation forestière.

Comme décrit ci-dessus, la production de charbon de bois a des aspects qui ne sont pas faciles à intervenir du point de vue social et économique, mais elle peut être un des moteurs de dégradation des forêts si cette restriction est dégagée ou elle peut être un des moteurs de déforestation si cette activité sera apportée avec d'autres activités de subsistance.

3. Méthodologie

Les points techniques mentionnés ci-après sont déterminés pour la construction du NERF de l'ex-province de Bandundu.

3.1 Définition de la forêt

La définition adoptée au niveau national en RDC est présentée dans le tableau ci-après.

Tableau 2 : Définition de la forêt³³

Seuil	Valeur
Couverture de canopée minimale (%)	$\geq 30 \%$
Superficie minimale (ha)	$\geq 0,5 \text{ ha}$
Hauteur minimale des arbres (m)	$\geq 3m$

3.2 Période de référence

La période de référence est de 2000 à 2014.

Les années de référence sont 2000, 2010, 2014. Les années de référence ont été prises à partir de l'année 2000 pour l'analyse du NERF parce que l'année 2000 est désignée comme l'année de référence dans la Contribution prévue déterminée au niveau national (CPDN) de la RDC.

Dans le cas de 3 points de l'année d'analyse, le nombre de données de changement deviennent 2 et le nombre de données est très limité. Pour analyser la tendance passée, l'année 1995 est aussi analysée.

3.3 Échelle

L'échelle du NERF est sous-nationale. Les données couvrent la province de Mai-Ndombe, de Kwilu et de Kwango. Le NERF portant sur les trois provinces a été développé parce que la zone ciblée du projet DIAF/JICA est l'ex-province de Bandundu.

3.4 Gaz à effet de serre

Le CO₂ a été sélectionné. Le tableau suivant présente et justifie le choix des GES sélectionnés pour le NERF.

Tableau 3 : Les GES sélectionnés

GES	Sélectionné	Justification / Explication
CO ₂	Oui	Le CO ₂ représente la part la plus importante des émissions dues à la déforestation dans l'ex-province de Bandundu.
CH ₄	Non	Le CH ₄ n'est pas pris en compte. Faute de données suffisantes.
N ₂ O	Non	Le N ₂ O n'est pas pris en compte. Faute de données suffisantes.

³³ MECNT(2008), No5094/CAB/MIN/ECN-T/JEB/08

3.5 Réservoirs de carbone

Le NERF de l'ex-province de Bandundu prend en compte la biomasse aérienne et la biomasse souterraine.

Tableau 4 : Réservoir de carbone

Réservoir de carbone	Sélectionné	Justification / explication
Biomasse aérienne	Oui	Prise en compte
Biomasse souterraine	Oui	Prise en compte
Bois mort et litière	Non	Non prise en compte. La proportion de stock de carbone n'est pas importante par rapport à la totalité des réservoirs. En plus, Les échantillons ont été pris dans les sites d'inventaire forestier pour estimer la biomasse stockée dans le réservoir, mais, on se contente d'utiliser le résultat à titre indicatif parce que le nombre d'échantillons n'est pas suffisant.
Sol	Non	Non prise en compte. Étant donné qu'il n'y a pas de données montrant la relation entre le changement d'utilisation de la forêt / l'utilisation des terres et le changement de matière organique du sol. Le changement de carbone dans le cycle de slash-and-burn --> la jachère --> la régénération n'est pas encore clair. Pour l'avenir, il est nécessaire d'accumuler des données. A titre d'information, les échantillons du sol ont été collectés dans les sites d'inventaire forestier et la quantité de stock de matière organique de sol ont été analysés. Cependant, dans la forêt dense sur sol hydromorphe, l'échantillon de sol ne peut pas être collecté à cause de l'inondation permanente des sites, et pas de données.

NB : Les résultats d'analyse du bois mort, de la litière et du sol sont présentés dans le chapitre 5.1 « Proportion de la biomasse de litière et de bois mort »

3.6 Activités de la REDD+

Tableau 5 : Activité de la REDD+ sélectionnés

Activité	Sélectionné	Justification / Explication
Déforestation	Oui	
Dégradation	Oui	Le changement de la forêt dense humide --> forêt secondaire et de la forêt dense sur sol hydromorphe --> forêt secondaire est considéré. Cependant, la dégradation des forêts comme l'exploitation forestière par coupe sélective n'est pas prise en compte parce qu'il n'y a pas de données disponibles.
Conservation des stocks de carbone forestiers	Non	Pas de données disponibles
Gestion durable des forêts	Non	Pas de données disponibles
Renforcement des stocks de carbone forestier	Oui	La restauration par régénération naturelle est prise en compte (Non forêt --> forêt secondaire, non forêt --> forêt sèche / forêt claire, forêt secondaire --> forêt dense humide et forêt secondaire --> forêt dense sur sol hydromorphe). Cependant, le renforcement du stock de carbone par boisement n'est pas considéré parce qu'il n'y a pas de données disponibles.

3.7 Stratification

La stratification connaît les 13 strates décrites ci-après. Leurs définitions et caractéristiques de l'interprétation d'image satellitaire sont présentées dans le tableau suivant.

(1) Forêt dense humide, (2) Forêt dense sur sol hydromorphe, (3) Forêt secondaire, (4) Forêt sèche / Forêt claire, (5) Mosaïque terres cultivées / végétation naturelle (herbacée ou arbustive), (6) Savane arborée, (7) Savane arbustive / Savane herbeuse / Prairie, (8) Cultures, (9) Prairie aquatique, (10) Agglomération, (11) Zone d'eau, (12) Nuage, et (13) Ombre du nuage.

Des strates qui peuvent être classées par image ALOS, Landsat ont été examinées en se référant à la carte de UCL 2006 et 2010 [UCL]. On a visé une classification qui peut assurer un certain degré de précision.

La disponibilité des images a été examinée et les images qui ne comportent pas de nuages autant que possible ont été utilisées. De plus, on a analysé les images satellitaires dont la zone a été couverte par nuage pour enlever ceux-ci. Cependant, la strate de nuage et son ombre étaient laissés dans la stratification parce que les nuages ne pouvaient pas être complètement éliminés.

Tableau 6 : Stratification

No	Strate	Description	Particularités de l'interprétation des images satellitaires	Catég.
1	Forêt dense humide	Forêt semi-décidue ou sempervirente à grands arbres répandues à l'altitude d'au moins 1100m. De grandes forêts sont formées dans le climat pluvieux de forêt tropicale et le climat de mousson tropicale. Dans le climat de savane, se forment principalement les forêts galeries. La forêt secondaire maturée et la forêt dense humide soumise à la coupe sélective légère sont aussi incluses dans cette classification.	La canopée a la forme uniforme sur le terrain forestier bien répandu. La texture est mate sur l'image satellitaire. La densité étant élevée, cette forêt est représentée avec une couleur foncée par rapport à celle d'autres forêts.	Forêt
2	Forêt dense sur sol hydromorphe	Forêt semi-décidue ou sempervirente répandues sur les sols inondés temporairement ou en permanence. De grandes forêts aux alentours des lacs et grands fleuves sont formées dans le climat pluvieux de forêt tropicale et le climat de mousson tropicale. Dans le climat de savane, les forêts galeries se forment le long des cours d'eau de la savane.	Les canopées similaires étant étendues sur le terrain forestier bien répandu, la texture est mate sur l'image satellitaire. Comme la surface d'eau présente à l'arrière-plan est réfléchie, cette forêt est représentée avec une couleur noircie par rapport à celle des forêts de zone terrestre.	Forêt
3	Forêt secondaire	La végétation potentielle est la forêt dense humide. La forêt ayant subi des perturbations humaines / naturelles est en voie de régénération. Forêts à arbres grands mais relativement jeunes. La forêt dense humide soumise à la forte coupe sélective est aussi incluse dans cette classification. Dans le climat de savane, se forment souvent les forêts galeries.	Cette forêt est répandue, sous forme rapiécée ou « mitée », aux alentours de la forêt dense humide, de la forêt marécageuse, de la forêt sèche. Cette forêt est représentée avec une couleur claire par rapport à celle de la forêt dense humide et de la forêt dense sur sol hydromorphe. Les lieux où les troncs d'arbre sont peu développés sont représentés avec la texture aplatie. Cette forêt est souvent attenante irrégulièrement au terrain de culture ou au terrain dénudé.	Forêt
4	Forêt sèche / Forêt claire	Forêts décidues ou semi-décidues répandues sous climat de savane. Elles se trouvent principalement au sud à plus de 5 degrés de latitude sud et à plus d'environ 1,000m d'altitude. Le tapis forestier est souvent couvert de la végétation herbeuse.	La distance entre les arbres étant plus grande par rapport à celle de la forêt dense humide, la canopée est représentée avec la texture inégale et gonflante.	Forêt

No	Strate	Description	Particularités de l'interprétation des images satellitaires	Catég.
5	Mosaïque terres cultivées / végétation naturelle (herbacée ou arbustive)	La végétation potentielle est la forêt dense humide. La forêt ayant subi des perturbations humaines / naturelles est en voie de régénération. Végétation buissonneuse principalement bas arborées. Y compris la végétation rapiécée de forêts, terrain agricole, prairie et buisson aux alentours d'agglomération.	Les troncs d'arbres étant peu développés, cette végétation est représentée avec la texture aplatie. Aux alentours des agglomérations ou le long de la route, cette végétation est souvent attenante irrégulièrement à la forêt secondaire, au terrain de culture ou au terrain dénudé.	Non forêt
6	Savane arborée	Couverte principalement des végétations denses herbeuses et parsemée des arbres. La densité des arbres va d'état clair parsemé à l'état couvert de l'ordre de moins de 30%. Les arbres étant distants l'un de l'autre, les canopées ne sont pas généralement fermées. Y compris la forêt sèche de densité très peu élevée à cause des perturbations humaines / naturelles ou des exigences du lieu.	La canopée n'est pas fermée pour la savane arborée. En plus des arbres, la végétation de sous-étage se projette et est représentée avec la texture inégale. Comme la savane arborée a une densité des arbres relativement élevée par rapport aux autres savanes, elle est représentée avec la texture aplatie d'inégalité pointillée correspondant aux arborés. Le terrain de densité des arbres particulièrement élevée est représenté sous forme de grand rapiéçage.	Non forêt
7	Savane arbustive	Couverte principalement des végétations denses herbeuses et parsemée des arbustes. La densité des arbustes va d'état clair parsemé à l'état couvert de l'ordre de moins de 30%.	Comme pour la savane arborée, la savane arbustive est représentée avec la texture aplatie d'inégalité pointillée correspondant aux arbustes. Comme il est difficile de constater la différence des hauteurs d'arbres sur les images satellitaires, on distingue la savane arborée et la savane arbustes par la différence de la densité des arbustes sur la texture.	Non forêt
8	Savane herbeuse	Terrain couvert de végétations herbeuses ou terrain couvert de végétation herbeuse et parsemé des arbustes. La densité des arbustes est extrêmement basse. Elle peut inclure les cultures et les cultures abandonnées.	Elle est représentée avec la texture aplatie. Il existe un terrain utilisé comme terrain agricole dans le passé, puis transformé en prairie. Entre ce terrain et la prairie avoisine, on voit une ligne de délimitation artificielle.	Non forêt

No	Strate	Description	Particularités de l'interprétation des images satellitaires	Catég.
9	Prairie aquatique	Terrain de végétation herbeuse inondé temporairement ou en permanence. Il est étendu principalement aux alentours de grands fleuves et lacs sous le climat pluvieux de forêt tropicale du nord de la province et le climat de mousson tropicale. Y compris le cas où la Savane herbeuse est temporairement inondée au sud de la province.	Elle est représentée avec la texture aplatie. Elle est souvent attenante à la zone d'eau, telle que fleuve et lac. La végétation de prairie aquatique ayant la densité plus élevée que celle de la prairie terrestre, elle est représentée avec la couleur rose sur l'image en fausse couleur. Par ailleurs, elle est souvent attenante à la forêt dense sur sol hydromorphe.	Non forêt
10	Cultures	Cultures et cultures mises en jachères	Les états de la végétation et de la surface de terre exposée étant différents selon les types de produits agricoles et la saison, les cultures apparaissent sous forme rapiécée sur les images en fausse couleur avec la couleur bleu, bleu clair et rose. La grandeur de ces formes diffère selon la superficie des cultures. Ces terrains de culture se situent souvent adjacents à la forêt secondaire ou à la mosaïque terre cultivée/végétation naturelle (herbacée ou arbustive).	Non forêt
11	Agglomération	Zone concentrée des bâtiments et routes	Les maisons, les autres infrastructures et les cultures coexistant, l'agglomération est représentée avec la texture inégale.	Non forêt
12	Zone d'eau	Surfaces couvertes d'eau, telles que fleuve, rivière, lac etc.	Elle est représentée avec la texture sombre aplatie.	Non forêt
13	Nuage	Nuage	Le nuage est représenté avec la texture claire blanchâtre aplatie.	Non forêt
14	Ombre du nuage	Ombre du nuage	L'ombre du nuage est représenté avec la texture sombre noircie aplatie.	Non forêt

3.8 Méthode de construction de Donnée d'Activité

Trois cartes de séries temporelles, année 2000, 2010, 2014 sont développées par le projet DIAF / JICA. D'abord, la carte 2010 a été développée comme carte de base, puis les autres cartes ont été produites en combinant la carte de base et le lieu de changement extrait par l'analyse de changements.

3.8.1 Elaboration de la carte de base en 2010 dans l'ex-Bandundu

(1) Images satellitaires utilisées

Trois types d'images satellitaires ont été utilisés. Principalement, 100 scènes d'images ALOS AVNIR-2 (à 10m de résolution) ont été utilisées. Pour couvrir les régions où de bonnes conditions d'images ALOS AVNIR-2 n'étaient pas disponibles, 29 scènes d'images SPOT (à 10m de résolution) ont été utilisées. En même temps, pour combler des régions nuageuses, des images LANDSAT ont été utilisées.

(2) Analyse de classification

La méthode de classification basée sur objet était utilisée. L'étude aérienne et les vérités-terrain ont été faites pour l'examen de la correspondance entre la tonalité de la couleur observée sur les images au laboratoire et l'état réel sur terrain, et ces résultats aussi ont été utilisés comme données d'entraînement. En plus, l'ébauche de la carte forestière est révisée par interprétation visuelle.

3.8.2 Etablissement des cartes forestières de 2000 et 2014

(1) Données et images satellitaires utilisées

La carte de base en 2010 de l'ex-province de Bandundu et les 58 scènes des images Landsat de 2000, 2010 et 2014 ont été utilisées pour l'élaboration des cartes forestières de 2000 et 2014.

La liste des images Landsat utilisées pour l'analyse de changement est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 7 : Liste des images Landsat

Path	Row	ID image 1995	ID image 2000	ID image 2010	ID image 2014
178	62	LT51780621995020AAA02	LT51780621998204JSA00	LT51780622009154MLK00	LC81780622013357LGN00
	63	LT51780631993158JSA00	LT51780631998204JSA00	LT51780632009186JSA02	LC81780632014184LGN00
	64	LT51780641993158JSA00	LT51780641998236JSA00	LT51780642009138JSA01	LC81780642014184LGN00
	65	LT51780651996167JSA00	LE71780652000106EDC01	LT51780652009154JSA02	LC81780652014184LGN00
179	61	LT51790611995011XXX02	LE71790612002150EDC00		LC81790612014255LGN00
					LC81790622013252LGN00
	62	LT51790621995043XXX01	LE71790622002134EDC00		LC81790622014175LGN00
	63	LT51790641996174JSA00	LE71790632002134EDC00	LT51790632008175JSA00	LC81790632013204LGN00
	64	LT51790641996174JSA00	LE71790642002134EDC00	LT51790642009177JSA01	LC81780642014184LGN00
					LC81790642014191LGN00
180	65	LT51790651996174JSA00	LE71790652002134EDC00	LT51790652009177JSA01	LC81790652014143LGN00
	66	LT51790661995187JSA01	LT51790661998179JSA01	LT51790662009177JSA01	LC81790662014143LGN00
	61	LT51800611995098AAA01	LE71800612000296EDC00		LC81800612014342LGN00
			LE71800612001186EDC01		
	62	LT51800621994319XXX02	LE71800622002125EDC00		LC81800622013195LGN00
		LT51800621995050XXX01			
	63	LT51800631997183JSA00	LE71800632001170EDC00	LT51800632009184JSA01	LC81800632014182LGN00
	64	LT51800641993188JSA00	LE71800642001170EDC00	LT51800642009184JSA01	LC81800642014214LGN00
	65	LT51800651994239JSA00	LT51800651998138JSA00	LT51800652009184JSA01	LC81800652014198LGN00
	66	LT51800661994239JSA00	LT51800661998138JSA00	LT51800662009184JSA01	LC81800662014198LGN00
181	61		LT51810611999036XXX03		LC81810612015016LGN00
	62	LT51810621994326XXX03	LE71810622002132EDC00		LC81810622013138LGN01
	63	LT51810631997062JSA00	LE71810632002132EDC00	LT51810632008173JSA00	LC81810632013138LGN01
	64	LT51810641995249JSA00	LE71810642002132EDC00	LT51810642008221JSA00	LC81810632014221LGN00
					LC81810642014237LGN00

(2) Processus de développement de carte

- Le traitement de pré-analyse, tel que la correction géométrique, le calcul de la réflectance et l'indice de végétation, etc., pour les images Landsat a été réalisé.
- Les lieux de changement entre 2000 et 2010, et 2010 et 2014 ont été extraits sous forme de polygones et classifiés en utilisant l'analyse d'image basée sur l'objet.
- Afin d'améliorer la précision du résultat de la classification, le résultat de la classification automatique du lieu de changement a été corrigé visuellement.
- En intégrant les résultats de la classification du polygone des changements sur la carte forestière de l'année 2010, les cartes forestières ont été développées pour les années 2000, 2010 et 2014.

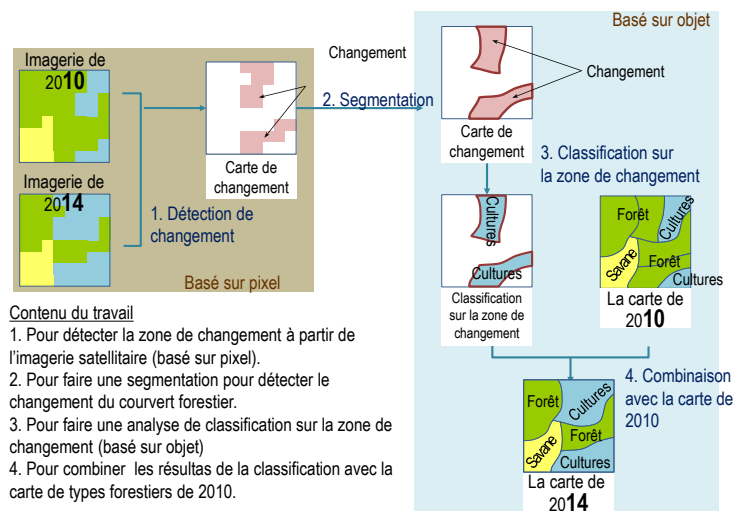


Figure 2 : Processus d'analyse

Le type de changement pris en compte est présenté dans le tableau ci-après.

Tableau 8 : Type de changement

			1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14
			Forêt dense humide	Forêt dense sur sol hydromorphe	Forêt secondaire	Forêt sèche / Forêt claire	Mosaïque terres cultivées / végétation naturelle (herbacée ou arbustive)	Savane arborée	Savane arbustive / Savane herbeuse	Prairie aquatique	Cultures	Agglomération	Zone d'eau	Nuage	Ombre du nuage
附首	1	Forêt dense humide	10100		10103		10105				10110	10111		10113	10114
	2	Forêt dense sur sol hydromorphe	10200		10203		10205			10209	10210	10211		10213	10214
	3	Forêt secondaire	10300	10301	10302		10305				10310	10311		10313	10314
	4	Forêt sèche / Forêt claire	10400				10405	10406			10410	10411		10413	10414
	5	Mosaïque terres cultivées / végétation naturelle (herbacée ou arbustive)	10500		10503					10509	10510	10511			
	6	Savane arborée	10600			10604	10605				10610	10611			
	7	Savane arbustive / Savane herbeuse	10700				10705					10711			
	9	Prairie aquatique	10900				10905		10907			10911	10912		
	10	Cultures	11000			11003	11005	11006				11011			
	11	Agglomération	11100			11103	11105	11106		11109					
	12	Zone d'eau	11200							11209					
	13	Nuage	11300	11301	11302	11303	11304								
	14	Ombre du nuage	11400	11401	11402	11403	11404								

Le type de changement comme Donnée d'Activité pris en compte est présenté dans le tableau suivant.

Tableau 9 : Type de changement

Type de changement	Début	Fin
Déforestation	Forêt dense	Non forêt
	Forêt secondaire	Non forêt
	Forêt sèche / forêt claire	Non forêt
Dégradation	Forêt dense	Forêt secondaire
Restauration	Non forêt	Forêt secondaire
	Non forêt	Forêt sèche / forêt Claire
	Forêt secondaire	Forêt dense

NB: La forêt dense comprend la forêt dense humide et la forêt dense sur sol hydromorphe.

La même valeur de Facteur d'Émission a été utilisée pour la forêt dense humide et la forêt dense sur sol hydromorphe pour le calcul du NERF parce qu'il n'y avait pas de différence significative entre la biomasse de la forêt dense humide et celle de la forêt dense sur sol hydromorphe. Par conséquent, la forêt dense humide et la forêt dense sur sol hydromorphe ont été combinées en s'appelant la forêt dense.

NB: Non forêt est : (5) Mosaïque terres cultivées / végétation naturelle (herbacée ou arbustive), (6) Savane arborée, (7) Savane arbustive / Savane herbeuse / Prairie, (8) Cultures, (9) Prairie aquatique, (10) Agglomération, (11) Zone d'eau

3.9 Méthode de construction du Facteur d'Émission

3.9.1 Conception de l'inventaire forestier

Afin d'estimer la biomasse stockée dans chaque type de forêt, le plan d'inventaire forestier dans l'ex-province de Bandundu a été conçu et l'inventaire forestier a été mis en œuvre. Pour calculer le nombre de placette nécessaire pour atteindre la précision cible, le résultat du Pré-inventaire a été utilisé. En 2013, la FAO n'avait pas encore terminé le Pré-inventaire dans les autres provinces que Bandundu, les données du Pré-inventaire d'autres provinces n'ont pas pu être utilisées pour la conception du plan.

Les éléments principaux du plan d'inventaire sont présentés dans le tableau ci-après.

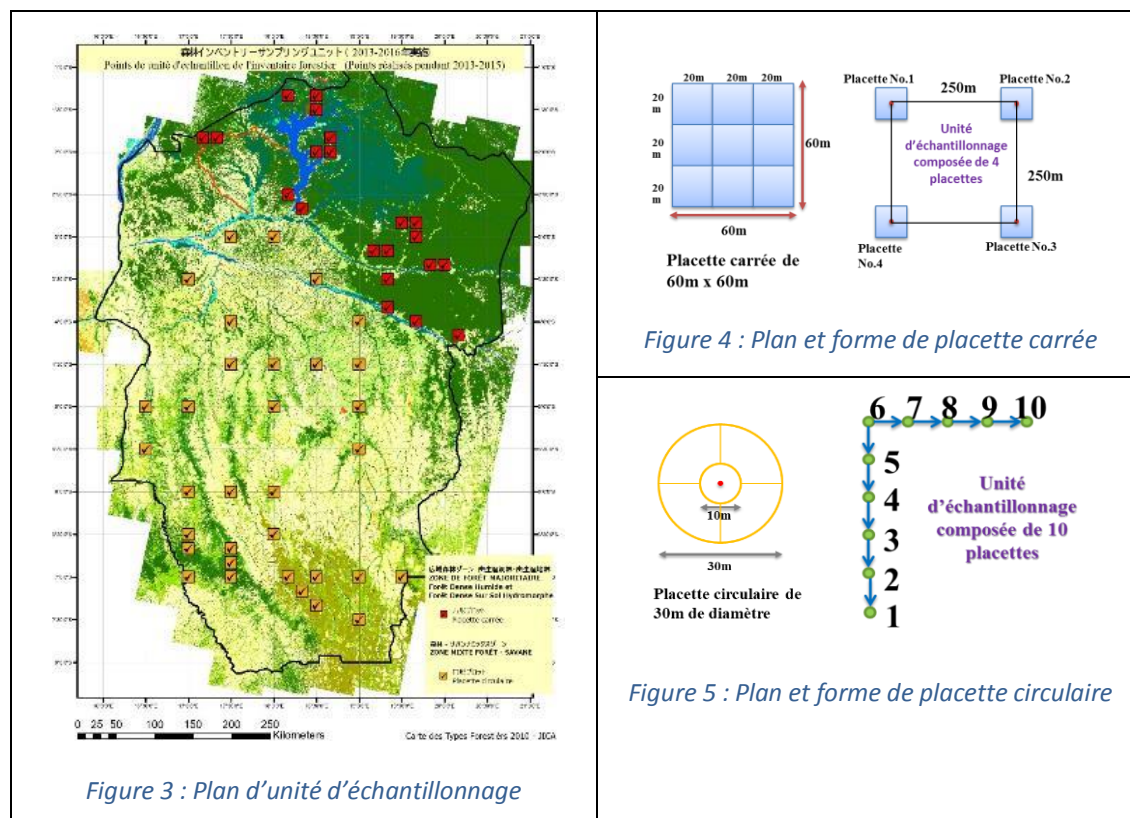
Tableau 10 : Des éléments principaux du plan d'inventaire

Élément	Explication
Précision cible	Erreur admissible 10 % (taux de confiance 95%)
Plan d'échantillonnage (unité d'échantillonnage)	- Échantillonnage systématique stratifiée - Zone de forêt majoritaire dans le nord de Bandundu : toutes les 10 minutes de la latitude et de la longitude - Zone mixte dans le sud de Bandundu : toutes les 30 minutes de la latitude et de la longitude (pour augmenter le nombre d'échantillons de la forêt secondaire et de la forêt sèche / forêt claire, la placette a été ajoutée avec l'intervalle de 10 minutes dans la zone de Popokabaka et Kahemba.) - L'unité d'échantillonnage a été choisie dans la zone de tampon 10 km à partir de la voie routière praticable et la voie fluviale navigable.
Forme de la placette	- Zone de forêt majoritaire (nord) : placette carrée (60m x 60m), cluster (4 placettes dans une unité d'échantillonnage) Superficie inventoriée $0,36 \text{ ha} \times 4 = 1,44 \text{ ha}$ - Zone mixte (sud) : placette circulaire (rayon 15m), cluster (10 placettes dans une unité d'échantillonnage) Superficie inventoriée $0,0707 \text{ ha} \times 10 = 0,707 \text{ ha}$

- Définition de la zone de forêt majoritaire et de la zone mixte

La zone de forêt majoritaire comprend « Central congolien lowland forest », « Eastern congolien swamp forest » de l'écorégion de WWF³⁴.

La zone mixte comprend « Western congolien forest-savanna mosaic », « Southern congolien forest-savanna mosaic », « Angolan miombo woodland »



Le nombre d'unité d'échantillonnage étudié est présenté dans le tableau suivant.

Tableau 11 : Nombre d'unité d'échantillonnage étudié (par zone)

Zone	Strate	Ph. 1	Ph. 2	Ph.3	Total
Zone de forêt majoritaire	Forêt dense humide	4	9	2	15
	Forêt sur sol hydromorphe	-	6	-	6
Zone mixte	Forêt sèche et savane avec végétation ligneuse	6	21	6	33
Total		10	36	8	54

³⁴ WWF(2004), Terrestrial Ecoregions of the World (<https://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world>)

Le nombre de placette étudié est présenté dans le tableau suivant.

Tableau 12 : Nombre de placette étudié (par type de forêt)

Type de forêt	Carrée	Circulaire	Total
Forêt dense humide	63		63
Forêt dense humide		51	51
Forêt dense sur sol hydromorphe	21		21
Forêt secondaire		38	38
Forêt sèche / forêt Claire		44	44
Mosaïque terres cultivées / végétation naturelle (herbacée ou arbustive)		76	76
Savane arborée		45	45
Savane arbustive / Savane herbeuse / Prairie		76	76
Total	84	330	414

Le nombre total d'arbres sur pied dénombré est 23 913 (16 858 dans la zone de forêt majoritaire et 7 055 dans la zone mixte). Le nombre d'espèce est 459 (y compris l'identification jusqu'au niveau de genre (sp.). Le nombre d'inconnu est 1 141).

3.9.2 Méthode de calcul de biomasse

- Equation allométrique (biomasse aérienne)

La biomasse aérienne a été estimée au moyen de la donnée d'arbres sur pied collectée dans l'inventaire forestier. L'équation d'estimation de la biomasse utilisée est Chave et al. (2014).

$$BA = 0.0673(\rho D^2 H)^{0.976}$$

BA: Biomasse aérienne (kg), D: Diamètre à hauteur de poitrine (cm), H : Hauteur (m), ρ : Densité ligneuse (g / cm³)

- Diamètre à hauteur de poitrine

Le diamètre à hauteur de poitrine collecté dans l'inventaire forestier a été utilisé. Le diamètre minimum à mesurer est de 5 cm.

(Dans le cas de la placette carré de 0,36ha, supérieur à 5 cm a été mesuré dans le 0,04 ha et supérieur à 10 cm a été mesuré dans le 0,32 ha.)

- Hauteur

La donnée de hauteur est nécessaire pour l'estimation de la biomasse au moyen de l'équation Chave et al. Cependant, la hauteur des tous les arbres n'a pas été mesurée (3 hauteurs d'arbres ont été mesurées par

tranche de 10 cm de diamètre). Pour ce faire, la hauteur qui n'était pas mesurée a été estimée au moyen de l'équation Hauteur-Diamètre au moyen de la hauteur mesurée. L'équation a été produite par type de forêt. Le résultat est présenté ci-après.

- Equation hauteur de forêt dense (zone de forêt majoritaire)

$$\ln(H) = 0.873332 + 0.668793 \ln(D) - 0.01271(\ln(D))^2$$

- Equation hauteur de forêt dense humide (zone mixte)

$$\ln(H) = 0.521315 + 0.927771 \ln(D) - 0.05488(\ln(D))^2$$

- Equation hauteur de forêt secondaire (zone mixte)

$$\ln(H) = 0.578605 + 0.748499 \ln(D) + 0.02042(\ln(D))^2$$

- Equation hauteur de forêt sèche / forêt Claire (zone mixte)

$$\ln(H) = -1.29673 + 1.743347 \ln(D) - 0.17046(\ln(D))^2$$

- Equation hauteur de non forêt (zone mixte)

$$\ln(H) = 0.470446 + 0.455642 \ln(D) + 0.040929(\ln(D))^2$$

Le modèle d'équation hauteur utilisé est comme suit :

$$\ln(H) = a + b \times \ln(D) + c(\ln(D))^2$$

[Chave et al. (2014)]

NB : La forêt dense (zone de forêt majoritaire) comprend la forêt dense humide et la forêt dense sur sol hydromorphe. La non forêt comprend la mosaïque terres cultivées / végétation naturelle (herbacée ou arbustive), Savane arborée et Savane arbustive / Savane herbeuse / Prairie

● Densité ligneuse

La base de données utilisée pour la densité ligneuse est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 13 : Base de données de densité ligneuse

Base de données	Explication
GWDDDB	Global Wood Density Database (http://www.datadryad.org/handle/10255/dryad.235) (Original publication: Chave J, Coomes DA, Jansen S, Lewis SL, Swenson NG, Zanne AE (2009) Towards a worldwide wood economics spectrum. Ecology Letters 12(4): 351-366. http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x)
IPCC	2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use

ITTO	The database of Tropical Industrial Lasser-Used Wood Species - Reference guide to Tropical Timber Species" Nagoya University Museum, ITTO/PD58/97, 2006
ICRAF	ICRAF Database - Tree Functional Attributes and Ecological "http://db.worldagroforestry.org/"2013 December, http://db.worldagroforestry.org/wd

Dans le cas où il y a la valeur dans les deux différentes bases de données (même plus) pour une espèce, la moyenne est appliquée comme sa densité ligneuse. Dans le cas où il n'y a pas de donnée dans la base de données, la moyenne de densité ligneuse dont les espèces ont apparus dans la placette est appliquée comme sa densité ligneuse. Dans le cas où il n'y a pas de donnée pour toutes les espèces qui se sont trouvées dans la placette, la valeur par défaut est appliquée comme sa densité ligneuse.

- Biomasse souterraine

Le taux de la biomasse souterraine / biomasse aérienne pour l'estimation de la biomasse souterraine est décrite dans le tableau suivant.

Tableau 14 : Taux de biomasse souterrain / biomasse aérienne

Type de forêt	Taux de BS/BA	Catégorie appliquée
Forêt dense	0,37	Tropical rainforest
Forêt secondaire	0,37	Tropical rainforest
Forêt sèche / Forêt claire	0,28	Tropical dry forest
Non forêt	0,40	Tropical shrubland

(Source : IPCC GPG 2006, Tableau 4.4, Chapitre 4 (AFOLU), taux de BA/BS)

BS : Biomasse souterraine en Mg ha⁻¹ de matière sèche, BA: Biomasse aérienne en Mg ha⁻¹ (dans le cas de forêt tropicale)

- Biomasse de bois mort

- Bois mort sur pied

$$BMSPB = V \times DWD$$

BMSPB : Biomasse de bois mort sur pied, V : Volume de bois mort sur pied, DBM : Densité de bois mort

(1) Volume de bois mort sur pied (V)

(a) Cas où la hauteur de bois mort sur pied est supérieur et égale à 1,3 m

$$V = V_1 + V_2$$

V : Volume de bois mort sur pied, V1 : Volume inférieure à 1,3 m, V2 : Volume supérieure et égale à 1,3 m

$$V_1 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \pi \times l \times \frac{1}{3}$$

$$V_2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \pi \times 1,3$$

D : Diamètre à hauteur de poitrine(m), π : pi, l : hauteur d'arbre moins 1,3 (m)

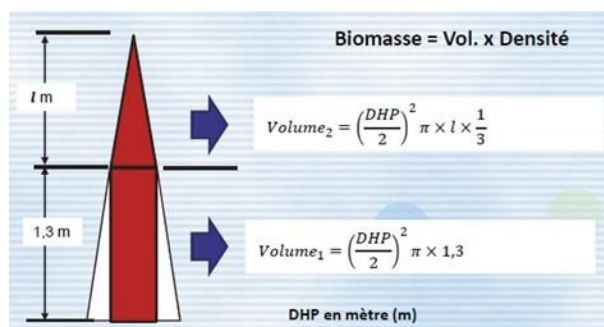


Figure 6 : Image de calcul de biomasse de bois mort sur pied

(b) Cas où la hauteur de bois mort sur pied est inférieure à 1,3 m

$$V = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times \pi \times l$$

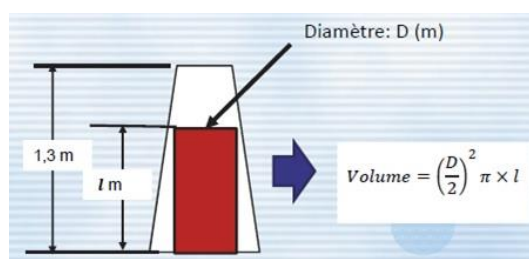


Figure 7 : Image de calcul de biomasse de bois mort sur pied

(2) Densité de bois mort

(a) Cas d'état 1 (Le bois est très solide)

$$DBM = 1.17 \times DL - 0.21 = 1.17 \times 0.58 - 0.21 = 0.47$$

DBM : Densité de bois mort, DL : Densité ligneuse

(b) Cas d'état 2 (Le bois est solide (intermédiaire entre 1 et 3))

$$DWD = 1.17 \times WD - 0.31 = 1.17 \times 0.58 - 0.31 = 0.37$$

(c) Cas d'état 3 (Le bois est putréfié et mou)

$$DWD = 0.29$$

(Source : RAINFOR, 2011)

La valeur par défaut (0,58) de densité ligneuse a été utilisée. (parce qu'il est impossible d'identifier l'espèce de bois mort.)

(Source : Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. (FAO Forestry Paper - 134))

➤ Biomasse de bois mort tombé

$$BBMT = V \times DBM$$

BBMT : Biomasse de bois mort tombé

(1) Volume de bois mort tombé (V)

$$V = \left(\frac{D_1^2 + D_2^2 + \dots + D_n^2}{8L} \right) \times \pi^2$$

V : Volume de bois mort tombé (m³/ha), D : Diamètre de bois mort tombé (m), L : Longueur de la ligne de relevé

(2) Densité de bois mort

C'est le cas pareil de bois mort sur pied, c'est-à-dire :

(a) Cas d'état 1 (Le bois est très solide) $DBM = 0.47$

(b) Cas d'état 2 (Le bois est solide (intermédiaire entre 1 et 3)) $DBM = 0.37$

(c) Cas d'état 3 (Le bois est putréfié et mou) $DBM = 0.29$

● Biomasse de litière

La litière est collectée dans un compartiment de 50 cm x 50 cm (0,25 m²). Ensuite, cela sera séché au laboratoire et le poids est pesé.

$$BL = PMSL \times \frac{10,000}{0.25} \times \frac{1}{1,000,000}$$

BL : Biomasse de litière (t/ha), PMSL : Poids de matière sèche de litière (g)

$$CL = BL \times 0.475$$

CL : Carbone de litière (t/ha)

(Source: FAO(2005), National Forest Assessment-Knowledge Reference, <http://www.fao.org/forestry/17111/en/>)

- Biomasse de sol

L'échantillon de sol est enlevé à partir de 3 couches (profondeur 10 cm, 20 cm, 30 cm) au moyen du cylindre de 100 cm³. Ensuite, cela sera séché dans le laboratoire et la teneur de carbone (%) est analysée au moyen de combustion sèche.

$$QCO_n = 10000 \times 0.1 \times DA \times TCO$$

(n = 10 cm, 20 cm et 30 cm. QCO_n est la quantité de carbone organique par couche.)

QCO : Quantité de carbone organique(t/ha/10cm), DA : Densité apparente (g/cm³), TCO : Taux de carbone organique

3.10 Méthode d'estimation

Les émissions de 1995-2000, 2000-2010, 2010-2014 sont calculées et elles sont faites en moyenne.

4. Résultat de calcul du NERF

4.1 Résultat de calcul de la Donnée d'Activité

La déforestation, la dégradation des forêts et le gain des trois provinces sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 15 : Déforestation, dégradation des forêts et gain des trois provinces

Province	Type de chang.	Chang.	Superficie de chagement (ha)			Superficie de changement (ha/an)		
			1995-2000	2000-2010	2010-2014	1995-2000	2000-2010	2010-2014
Kwango	Deforestation	FD-NF	5,075	8,082	8,173	1,015	808	2,043
		FS-NF	6,497	5,212	13,696	1,299	521	3,424
		FSC-NF	27,551	32,633	22,233	5,510	3,263	5,558
		Total	39,122	45,927	44,102	7,824	4,593	11,025
	Degradation	FD-FS	4,443	4,440	487	889	444	122
		FD-FSC	113	87	8	23	9	2
		FS-FSC	99	16	0	20	2	0
		Total	4,654	4,542	495	931	454	124
	Gain	NF-FD	415	138	0	83	14	0
		NF-FS	516	607	582	103	61	146
		NF-FSC	176	54	80	35	5	20
		FS-FD	2,333	543	0	467	54	0
		FSC-FD	405	475	0	81	47	0
		FSC-FS	58	91	10	12	9	3
		Total	3,902	1,909	672	780	191	168

Province	Type de chang.	Chang.	Superficie de chagement (ha)			Superficie de changement (ha/an)		
			1995-2000	2000-2010	2010-2014	1995-2000	2000-2010	2010-2014
Kwilu	Deforestation	FD-NF	37,554	24,061	15,887	7,511	2,406	3,972
		FS-NF	26,594	18,265	15,966	5,319	1,827	3,991
		FSC-NF	0	20	0	0	2	0
		Total	64,147	42,346	31,852	12,829	4,235	7,963
	Degradation	FD-FS	6,859	6,358	447	1,372	636	112
		FD-FSC	0	0	0	0	0	0
		FS-FSC	0	0	0	0	0	0
		Total	6,859	6,358	447	1,372	636	112
	Gain	NF-FD	315	1,203	0	63	120	0
		NF-FS	425	1,376	365	85	138	91
		NF-FSC	0	0	0	0	0	0
		FS-FD	3,575	3,095	0	715	310	0
		FSC-FD	0	2	0	0	0	0
		FSC-FS	0	3	0	0	0	0
		Total	4,314	5,679	365	863	568	91

Province	Type de chang.	Chang.	Superficie de chagement (ha)			Superficie de changement (ha/an)		
			1995-2000	2000-2010	2010-2014	1995-2000	2000-2010	2010-2014
Mai-Ndombe	Deforestation	FD-NF	50,935	131,479	61,848	10,187	13,148	15,462
		FS-NF	4,581	19,524	51,528	916	1,952	12,882
		FSC-NF	0	0	0	0	0	0
		Total	55,516	151,003	113,376	11,103	15,100	28,344
	Degradation	FD-FS	18,111	80,132	82,086	3,622	8,013	20,522
		FD-FSC	0	0	0	0	0	0
		FS-FSC	0	0	0	0	0	0
		Total	18,111	80,132	82,086	3,622	8,013	20,522
	Gain	NF-FD	659	5,966	5,353	132	597	1,338
		NF-FS	302	3,454	53,930	60	345	13,483
		NF-FSC	0	0	0	0	0	0
		FS-FD	646	7,359	1,966	129	736	492
		FSC-FD	0	0	0	0	0	0
		FSC-FS	0	0	0	0	0	0
		Total	1,607	16,778	61,249	321	1,678	15,312

NB : Il y a des changements théoriquement non naturels résultant de l'erreur d'analyse de télédétection.

L'évolution de la déforestation, de la dégradation des forêts et du gain est présentée dans la figure ci-après.

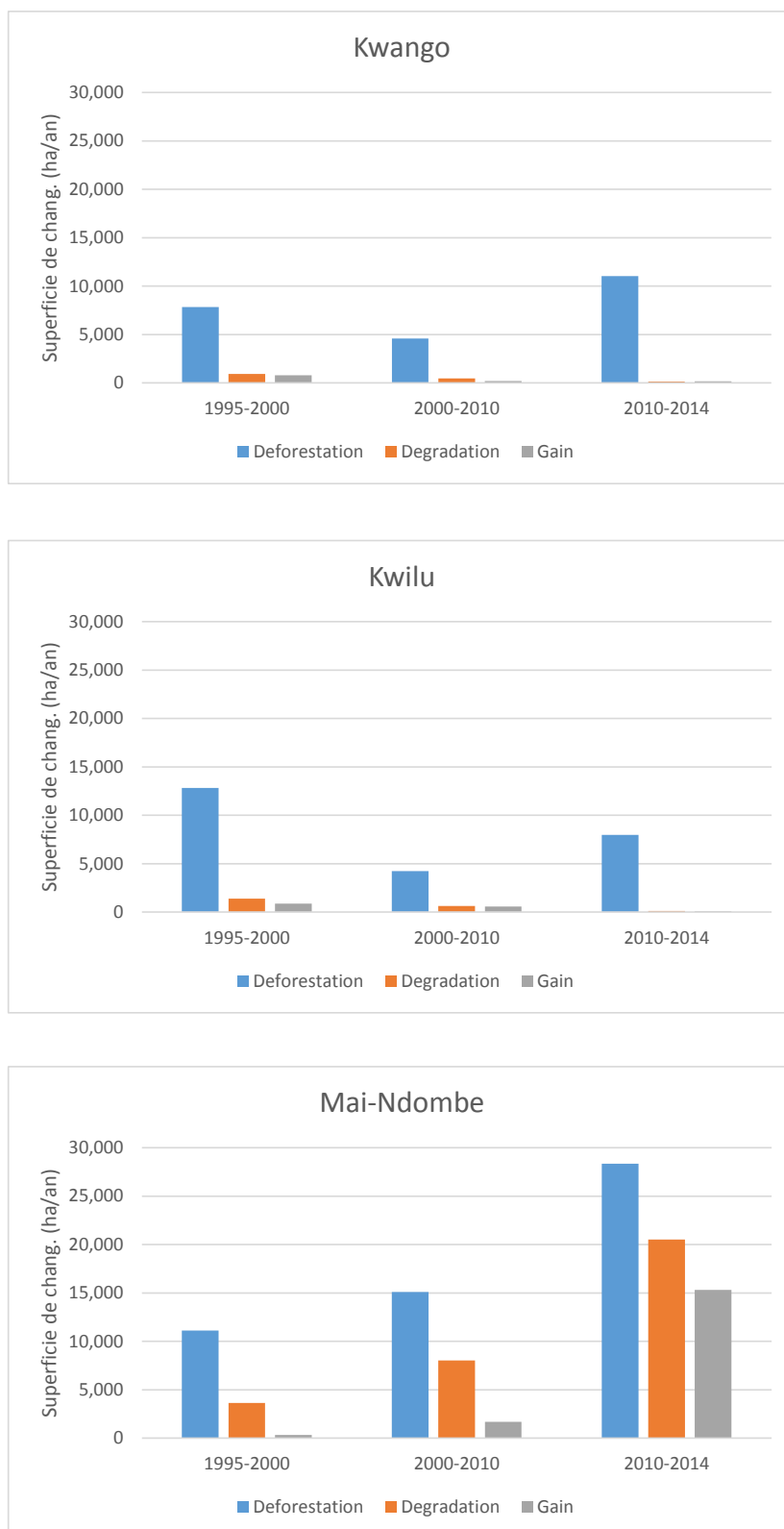


Figure 8 : Évolution de la déforestation, la dégradation de forêt et gain dans les provinces

4.2 Résultat de calcul du Facteur d'Émission

La biomasse, le carbone et CO₂ qui sont stockés dans chaque classe de forêt sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 16 : Biomasse, carbone et CO₂ de chaque forêt

Type de forêt	Biomasse (t/ha)	Carbone (t/ha)	CO ₂ (t/ha)
Forêt dense humide (FD)	372,34	175,00	641,67
Forêt secondaire (SD)	259,12	121,79	446,55
Forêt sèche / forêt Claire (FSC)	78,19	36,75	134,75
Non forêt (NF)	27,84	13,08	47,98

NB : La forêt dense signifie la forêt dense humide + la forêt dense sur sol hydromorphe.

NB : La biomasse signifie la biomasse aérienne + la biomasse souterraine.

NB : Le ratio de carbone / biomasse est 0,47, le ratio de CO₂ / C est 44/12.

Tableau 17 : Facteur d'Émission

Type de chang.	Type de chang.	CO ₂ (=FE)
Déforestation	FD-NF	593,69
	FS-NF	398,57
	FSC-NF	86,77
Dégradation	FD-FS	195,12
	FD-FSC	506,92
	FS-FSC	311,80
Gain	NF-FD	-593,69
	NF-FS	-398,57
	NF-FSC	-86,77
	FS-FD	-195,12
	FSC-FD	-506,92
	FSC-FS	-311,80

NB : Il y a des changements théoriquement non naturels résultant de l'erreur d'analyse de télédétection. Le Facteur d'Émission des tous les types de forêt est fixé pour la commodité de calcul des émissions (ou absorptions).

4.3 Résultat de calcul du NERF

L'émission est présentée dans le tableau ci-après.

Tableau 18 : Émission

Province	Type de chang.	Chang.	Emission (t-CO2)			Emission (t-CO2/an)		
			1995-2000	2000-2010	2010-2014	1995-2000	2000-2010	2010-2014
Kwango	Deforestation	FD-NF	3,012,923	4,798,191	4,852,080	602,585	479,819	1,213,020
		FS-NF	2,589,418	2,077,315	5,458,635	517,884	207,731	1,364,659
		FSC-NF	2,390,563	2,831,569	1,929,192	478,113	283,157	482,298
		Total	7,992,904	9,707,075	12,239,907	1,598,581	970,707	3,059,977
	Degradation	FD-FS	866,947	866,278	95,070	173,389	86,628	23,768
		FD-FSC	57,074	43,955	4,172	11,415	4,396	1,043
		FS-FSC	30,768	5,001	3	6,154	500	1
		Total	954,790	915,234	99,245	190,958	91,523	24,811
	Gain	NF-FD	-246,571	-82,095	0	-49,314	-8,210	0
		NF-FS	-205,578	-242,068	-231,996	-41,116	-24,207	-57,999
		NF-FSC	-15,232	-4,683	-6,914	-3,046	-468	-1,728
		FS-FD	-455,256	-105,970	0	-91,051	-10,597	0
		FSC-FD	-205,211	-240,630	0	-41,042	-24,063	0
		FSC-FS	-18,016	-28,495	-3,224	-3,603	-2,850	-806
		Total	-1,145,865	-703,941	-242,133	-229,173	-70,394	-60,533
Kwilu	Deforestation	FD-NF	22,295,149	14,284,947	9,431,710	4,459,030	1,428,495	2,357,927
		FS-NF	10,599,395	7,280,040	6,363,509	2,119,879	728,004	1,590,877
		FSC-NF	0	1,716	0	0	172	0
		Total	32,894,544	21,566,704	15,795,218	6,578,909	2,156,670	3,948,805
	Degradation	FD-FS	1,338,357	1,240,565	87,291	267,671	124,057	21,823
		FD-FSC	0	0	0	0	0	0
		FS-FSC	0	0	0	0	0	0
		Total	1,338,357	1,240,565	87,291	267,671	124,057	21,823
	Gain	NF-FD	-186,840	-714,357	-47	-37,368	-71,436	-12
		NF-FS	-169,225	-548,329	-145,554	-33,845	-54,833	-36,388
		NF-FSC	0	0	0	0	0	0
		FS-FD	-697,505	-603,949	-4	-139,501	-60,395	-1
		FSC-FD	0	-811	0	0	-81	0
		FSC-FS	0	-833	0	0	-83	0
		Total	-1,053,570	-1,868,279	-145,605	-210,714	-186,828	-36,401
Mai-Ndombe	Deforestation	FD-NF	30,239,380	78,057,714	36,718,806	6,047,876	7,805,771	9,179,702
		FS-NF	1,825,945	7,781,808	20,537,395	365,189	778,181	5,134,349
		FSC-NF	0	0	0	0	0	0
		Total	32,065,325	85,839,522	57,256,202	6,413,065	8,583,952	14,314,050
	Degradation	FD-FS	3,533,846	15,635,399	16,016,642	706,769	1,563,540	4,004,160
		FD-FSC	0	0	0	0	0	0
		FS-FSC	0	0	0	0	0	0
		Total	3,533,846	15,635,399	16,016,642	706,769	1,563,540	4,004,160
	Gain	NF-FD	-391,283	-3,541,907	-3,178,023	-78,257	-354,191	-794,506
		NF-FS	-120,332	-1,376,533	-21,494,916	-24,066	-137,653	-5,373,729
		NF-FSC	0	0	0	0	0	0
		FS-FD	-126,096	-1,435,849	-383,655	-25,219	-143,585	-95,914
		FSC-FD	0	0	0	0	0	0
		FSC-FS	0	0	0	0	0	0
		Total	-637,712	-6,354,289	-25,056,593	-127,542	-635,429	-6,264,148

L'évolution d'émission (ou d'absorption) de la déforestation, de la dégradation des forêts et du gain est présentée dans la figure ci-après.

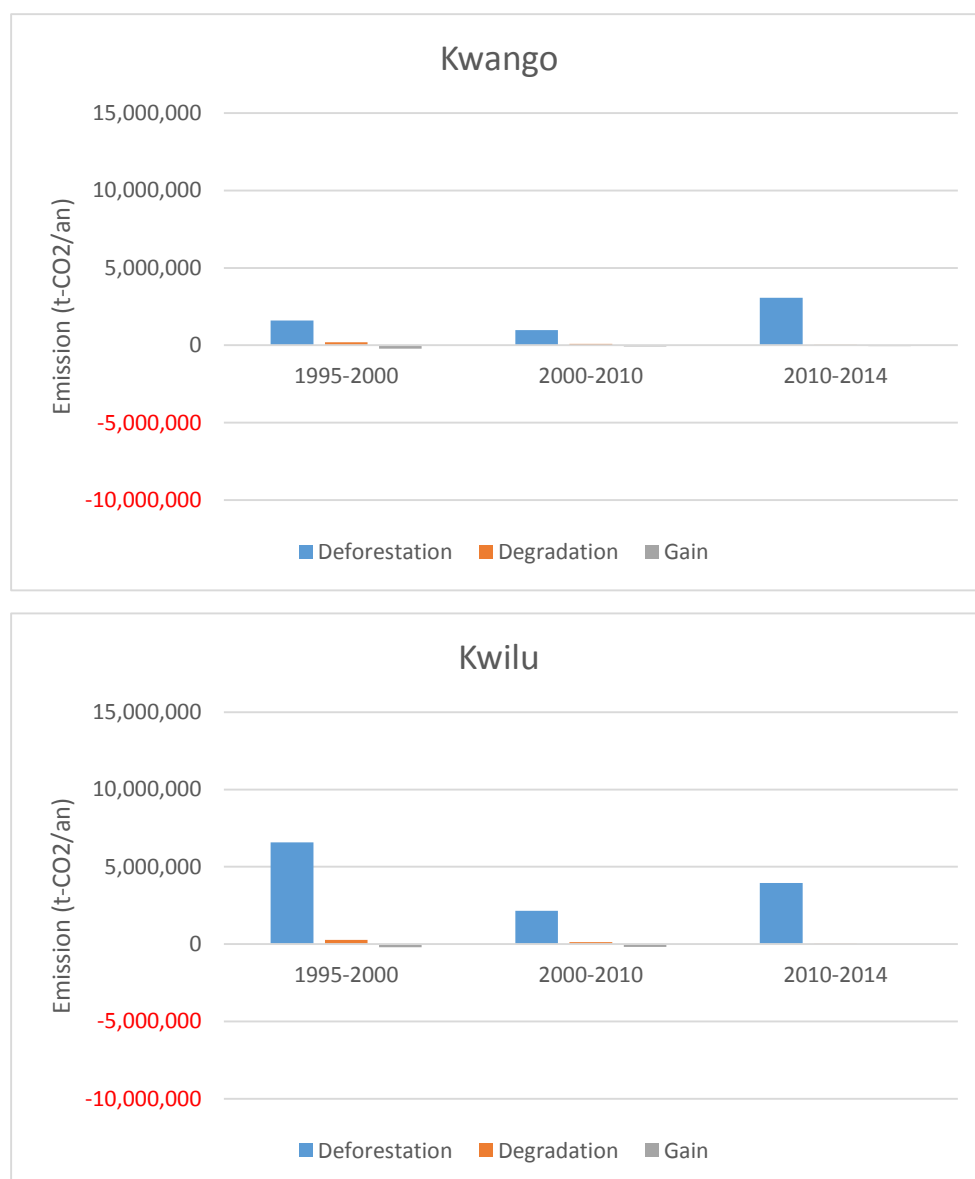




Figure 9 : Évolution d'émission

Le NERF des trois provinces est présenté dans le tableau ci-après.

Tableau 19 : NERF

Province	Type de chang.	Emission (t-CO ₂ /an)
		2000-2014
Kwango	Deforestation	1,567,642
	Degradation	72,463
	Gain	-67,577
Kwilu	Deforestation	2,668,709
	Degradation	94,847
	Gain	-143,849
Mai-Ndombe	Deforestation	10,221,123
	Degradation	2,260,860
	Gain	-2,243,634

Box Cas d'inclusion de l'année 1995

Province	Type de chang.	Emission (t-CO ₂ /an)
		1995-2014
Kwango	Deforestation	1,575,783
	Degradation	103,646
	Gain	-110,102
Kwilu	Deforestation	3,697,709
	Degradation	140,327
	Gain	-161,445
Mai-Ndombe	Deforestation	9,219,003
	Degradation	1,851,889
	Gain	-1,686,768

4.4 Évaluation d'incertitude

4.4.1 Incertitude de la Donnée d'Activité

Pour vérifier le degré de coïncidence entre les résultats de la classification et des données de référence, une matrice d'erreur a été préparée. On a collecté les données de référence de façon aléatoire avec les images de haute résolution au moyen de Google Earth et ArcGIS serveur. Pour assurer l'analyse de la précision appropriée, on a examiné le nombre des échantillons requis pour chaque élément (R. Congalton et al. (1999)). Pour la carte forestière 2014, les résultats de cette évaluation sont les suivants:

- Précision globale 95,3 % pour la stratification de Forêt/Non forêt
- Précision globale 89.2 % pour la stratification détaillée (dont 12 strates (exclu la strate de « Nuage » et de « Ombre de nuage »))

Les deux tableaux de matrice d'erreur sur Forêt/Non forêt et sur les 12 strates sont présentés ci-après.

Tableau 20 : Matrice d'erreur de Forêt/Non forêt

CLASS	Forest	Non Forest	Total
Forest	392	27	419
Non Forest	12	396	408
Total	404	423	827

Tableau 21 : Matrice d'erreur des 12 strates

	FDH	FDSH	Forêt secondaire	FSC	MTC/VN	Savane arborée	Savane arbustive	Prairie aquatique	Cultures	Agglomération	Zone d'eau	TOTAL	UA
FDH	203	3	5		3		1					215	94.4
FDSH	2	88			3							93	94.6
Forêt secondaire	11		46		9	1	5	1	1			74	62.2
FSC	1		1	32		1	2					37	86.5
MTC/VN	1		6		89	1	2		1			100	89.0
Savane arborée	1		2	1	1	36	6	2				49	73.5
Savane arbustive					1	3	191	5	1			201	95.0
Prairie aquatique								9				9	100
Cultures	1				1		3		6			11	54.5
Agglomération										2		2	100
Zone d'eau											36	36	100
TOTAL	220	91	60	33	107	42	210	17	9	2	36	827	
PA	92.3	96.7	76.7	97.0	83.2	85.7	91.0	52.9	66.7	100	100		

NB : FDH : Forêt dense humide

FDSH : Forêt dense sur sol hydromorphe

FSC : Forêt sèche / forêt claire

MTC/VN : Mosaique terres cultivées / végétation naturelle (herbacée ou arbustive)

PA : Producers Accuracy

UA : Users Accuracy

4.4.2 Incertitude du Facteur d'Émission

Le tableau suivant présente l'incertitude (intervalle de confiance avec le taux de 95 %) de la biomasse par type de forêt (en t-CO₂).

Tableau 22 : Incertitude de la biomasse

Type de forêt		Biomasse (t-CO ₂ /ha)	Intervalle de confiance
Forêt dense	FD	641,67	+ - 57,27
Forêt secondaire	FS	446,55	+ - 129,07
Forêt sèche / Forêt claire	FSC	134,75	+ - 15,73
Non forêt	NF	47,98	+ - 9,28

Le taux d'erreur de l'estimation de la biomasse est 6,55 %.

- Assurance de qualité / Contrôle de qualité (AQ/CQ)

L'étude de contrôle de AQ/CQ a été effectuée en février 2014. L'objectif est de :

évaluer la précision et la procédure d'étude d'inventaire forestier exécutée par l'ingénieur de la DIAF, améliorer l'exactitude dans les futurs travaux d'inventaire, améliorer l'efficacité, améliorer la sécurité au travail et renforcer la capacité des ingénieurs.

Le résultat de l'étude est résumé ci-après. (quant au détail, se référer au rapport de AQ/CQ (juillet 2014))

- Évaluation qualitative

- (a) Le Vertex était placé horizontalement pour mesurer la distance horizontale (le mesureur n'avait pas visé le Transpondeur). Quelques ingénieurs n'avaient aucun doute de la valeur exagérée des données (quoiqu'ils aient des doutes, ils ont continué le travail sans confirmation ni correction)
- (b) Des ingénieurs ont mesuré le DHP du côté bas de la pente.
- (c) Quelques ingénieurs ont sélectionné des arbres inclinés et cassés pour mesurer la hauteur des arbres. L'ingénieur en charge de prendre note sur terrain a choisi les arbres pour mesurer la hauteur sans tenir compte de leurs formes. Il serait mieux en mesurant le DHP de sélectionner aussi les arbres adéquats pour les mesures de la hauteur
- (d) Lors de mesure de la hauteur d'arbres, la coupe inutile d'arbustes était faite. Etant donné que le Vertex travaille avec ultrason, il peut mesurer en dépit des obstacles des arbustes.

- Erreur au niveau d'installation de la placette

La figure ci-après montre la forme de la placette mise en place par l'équipe d'inventaire DIAF et l'équipe d'experts JICA. La placette carrée a une forme carrée de 60m x 60m. Pour délimiter cette placette, 16 pieux sont plantés. Le signe « + » et le signe « x » indiquent la position de pieux plantés respectivement

par l'équipe d'inventaire DIAF et par l'équipe d'experts JICA. Le centre de la placette a les coordonnées (0,0) de la figure.

De la figure, on peut juger que malgré un léger décalage constaté l'équipe d'inventaire DIAF peut mettre en place à peu près correctement la placette. Les 2 pieux sont bien décalés. Pour la position (1) de la figure, le pieu planté par l'équipe d'inventaire DIAF est décalé à 5m vers le nord. Mais comme ce décalage n'est pas dans la direction qui affecte la superficie, l'influence est minimale en termes de la précision de la superficie de la placette. Etant donné que la distance horizontale peut être mesurée correctement avec Vertex, l'influence sur la superficie est minimale.

Pour la position (2), chaque pieu est décalé dans la direction qui affecte la superficie. Mais le pieu du côté ouest (gauche) est décalé dans la direction augmentant la superficie et le pieu du côté est (droite) dans la direction réduisant la superficie. De ce fait le changement de la superficie de l'ensemble de la placette est presque plus ou moins zéro. Tant que les pieux sont plantés en ligne droite comme le cas (2), Il semble possible de réduire au minimum l'impact sur la précision de la superficie.

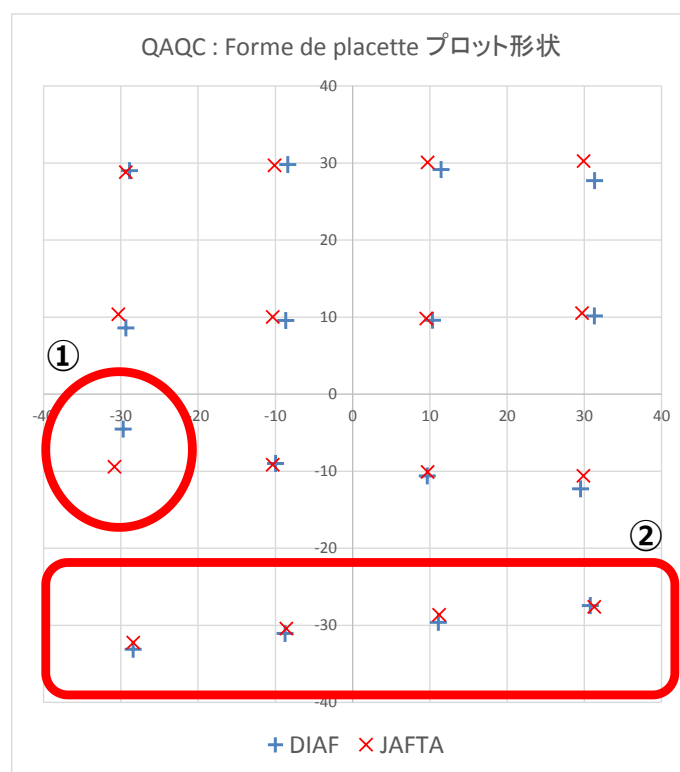


Figure 11 : Forme de la placette

Le tableau ci-après montre le taux d'erreur de la superficie de la placette. Par rapport à la superficie correcte de la placette de 3.600 m², les superficies données par la DIAF et par les experts JICA sont respectivement de 3.556 m² et de 3.574 m². Les taux d'erreur sont respectivement de 1,23 % et 0,73 %. Le taux d'erreur étant de 1% environ, l'impact sur l'évaluation du volume reste minimale. Du fait que l'erreur n'est que de 1% environ, la position de pieux a été décalée, mais l'impact de ce décalage sur la superficie reste minimale. Tant que la distance horizontale est correctement mesurée et que les pieux sont plantés sur la ligne droite, la précision de la superficie de la placette ne sera jamais très détériorée.

Tableau 23 : Taux d'erreur de la superficie de la placette

Placette	Superficie (m ²)			Taux d'erreur (%)	
	Superficie correcte	DIAF	Experts JICA	DIAF	Experts JICA
Placette carrée 60m x 60m	3 600	3 556	3 574	1,23 %	0,73 %

NB : Taux d'erreur (%) = (Superficie correcte – Superficie réelle) / Superficie correcte × 100

- Comparaison de DHP (diamètre à hauteur de poitrine)

La différence entre la mesure de DHP de l'équipe DIAF et celle de l'équipe JICA a été comparée. L'examen de différence entre ces deux au moyen de l'examen t. La différence significative n'était pas constatée.

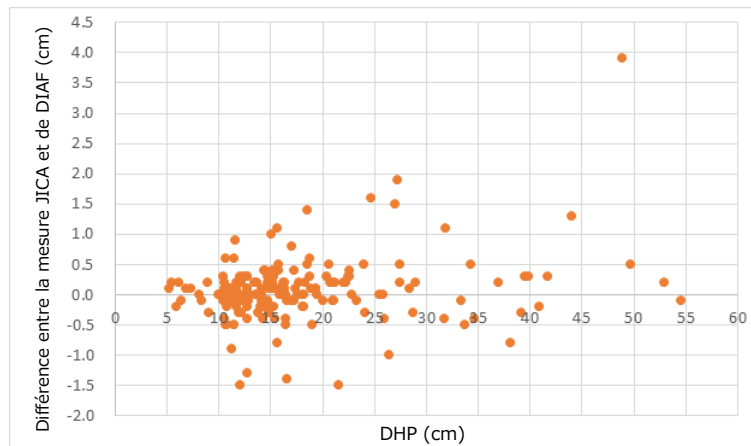


Figure 11 : Différence entre les mesures (DHP)

- Comparaison de hauteur

L'examen t a été fait pour la hauteur. Par conséquent, les valeurs mesurées par JAFTA ont été jugées différentes de celles par l'équipe d'inventaire DIAF. Lorsqu'on observe des raisons de cette différence entre 2 données, on constate que la quasi-totalité des données sont mesurées avec l'écart inférieur à 2cm. Ceci montre qu'il n'y a pas de problème important en matière de l'emploi du matériel (Vertex). La différence du mode de visée vers le bout de cime semble avoir des répercussions plus importantes sur la conséquence. Lors de la mesure de la hauteur d'arbre, il faudra être attentif à la mesure de haute précision avec l'opérateur de Vertex placé à la position de visibilité élevée du bout de cime, et l'utilisateur de transpondeur qui ébranle un arbre.

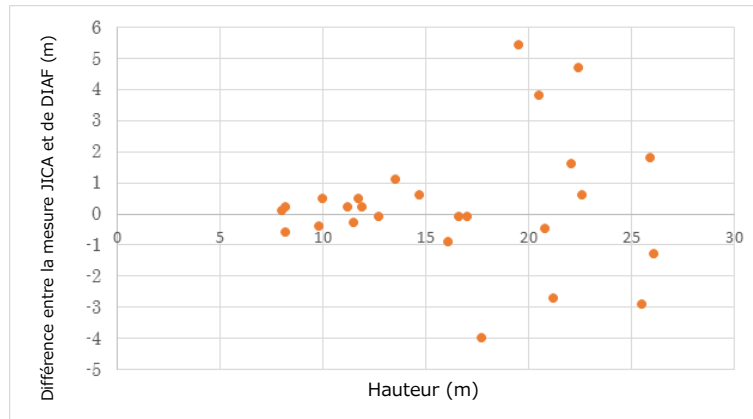


Figure 12 : Différence entre les mesures (hauteur)

4.2.3 Incertitude du NERF

L'agrégation ou la propagation des incertitudes est réalisée à partir des Lignes Directrice du GIEC (Chapitre 3, Volume 1 de GIEC 2006). L'équation utilisée est montrée ci-après.

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

U_{total} : le pourcentage d'incertitude du produit des quantités (moitié de l'intervalle de confiance de 95 pour cent divisé par le total et exprimé en pourcentage)

U_i : le pourcentage d'incertitude associé à chaque quantité

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \times x_1)^2 + (U_2 \times x_2)^2 + \dots + (U_n \times x_n)^2}}{|x_1 + x_2 + \dots + x_n|}$$

U_{total} : le pourcentage d'incertitude de la somme des quantités (moitié de l'intervalle de confiance de 95 pour cet divisé par le total (moyenne) et exprimé en pourcentage). Ce terme « incertitude » est donc basé sur l'intervalle de confiance de 95 pour cent

x_i et U_i : les quantités incertaines et leurs pourcentages d'incertitude respectifs

L'incertitude de la Donnée d'Activité n'a pas été calculée. Pour ce faire, on calculera dans le futur.

5. Discussion

5.1 Proportion de la biomasse de litière et de bois mort

Le bois mort, la litière et le sol sont mesurés en plus de l'arbre sur pied dans le cadre de l'inventaire forestier dans l'ex-province de Bandundu. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 24 : Biomasse des cinq réservoirs (t-CO₂/ha)

Type forêt	BA	BS	Bois mort	Litière	Sol	Total
FD	468,37	173,30	27,46	20,15	172,62	861,90
FD	449,64	166,36	9,01	40,14	108,47	773,62
FS	325,95	120,60	4,94	46,67	108,13	606,29
FSC	105,28	29,47	1,99	5,51	121,93	264,18
NF	34,27	13,70	2,77	40,97	119,34	211,05

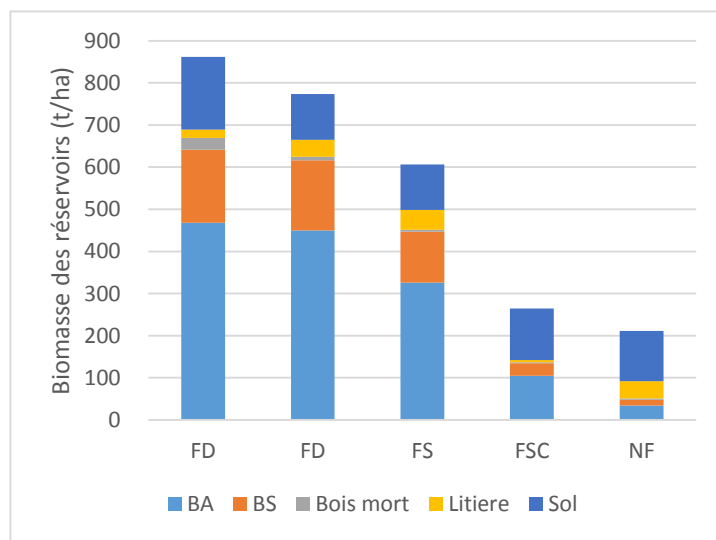


Figure 13 : Biomasse des réservoirs (t-CO₂/ha)

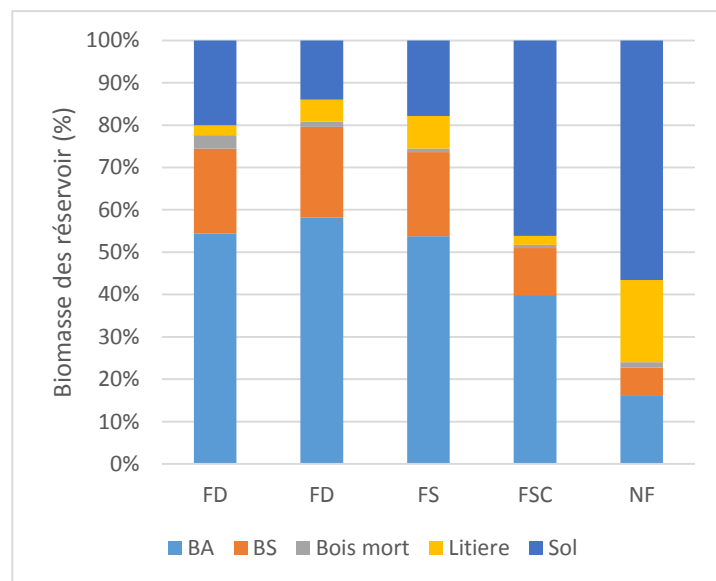


Figure 14 : Biomasse des réservoirs (%)

La proportion de la biomasse du bois mort et de la litière par rapport au total des cinq réservoirs est présentée dans le tableau ci-après.

Tableau 25 : Proportion de la biomasse du bois mort et de la litière par rapport au total des cinq réservoirs

Type de forêt	Bois mort	Litière
FD (nord)	3,2%	2,3%
FD (sud)	1,2%	5,2%
FS (sud)	0,8%	7,7%
FSC (sud)	0,8%	2,1%
NF (sud)	1,3%	19,4%

Par conséquent, il est possible de dire que les réservoirs du bois mort et de la litière sont à ignorer parce que la proportion du bois mort et de la litière est inférieure à 10% du total.

5.2 Importance de la dégradation de forêt

La proportion d'émission de la dégradation de forêt par rapport à l'émission de déforestation est présentée dans le tableau ci-après.

Tableau 26 : Proportion de dégradation de forêt

Province	Proportion de dégradation		
	1995-2000	2000-2010	2010-2014
Kwango	11,9%	9,4%	0,8%
Kwilu	4,1%	5,8%	0,6%
Mai-Ndombe	11,0%	18,2%	28,0%

Le ratio de la dégradation de forêt par rapport à la déforestation dans la province de Mai-Ndombe de 2010 à 2014 est 28,0%. Cela signifie que la dégradation de forêt est également une source importante d'émissions. Mais, d'autre part, la proportion de la dégradation de forêt varie en fonction de la localisation et de la période. On peut dire que l'importance de la dégradation de forêt dépend de la province. Cependant, la dégradation de forêt dans cette analyse ne comprend que le changement de la forêt dense humide (ou forêt dense sur sol hydromorphe) à la forêt secondaire. Donc, la dégradation telle que la coupe sélective n'est pas incluse. En plus, dans la province de Kwango et de Kwilu, la forêt dense humide n'est pas distribuée beaucoup (la proportion de la forêt sèche / forêt claire est élevée), donc catégoriquement il y a moins de la dégradation de forêt. En plus, il est possible que la dégradation de la forêt sèche / forêt claire existe, mais il est à noter qu'il y a la restriction au niveau de la résolution d'image satellitaire utilisée

(Landsat) pour l'analyse de la Donnée d'Activité, et qu'il y a la forêt déjà dégradée en raison de l'utilisation de la forêt sèche / forêt claire par l'homme.

6. Plan d'amélioration

- Donnée d'activité
 - L'incertitude de transition sera analysée
 - Des transitions curieuses seront vérifiées

7. Références bibliographiques

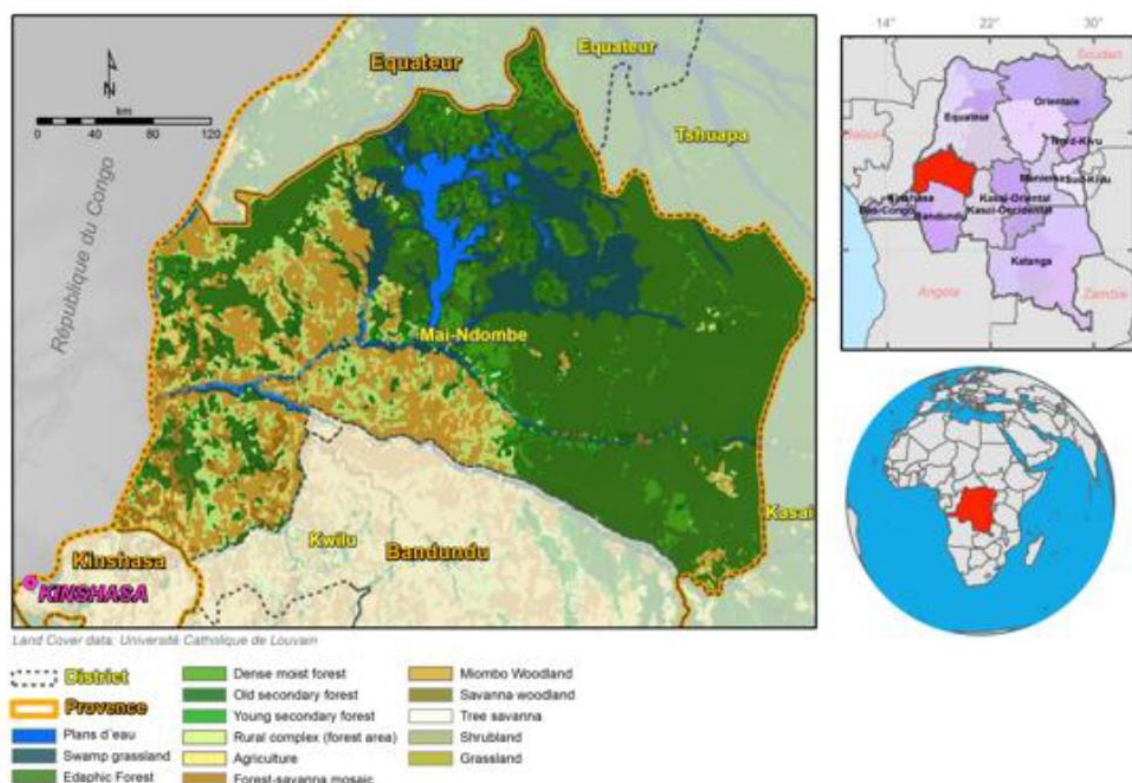
- [1] Chave, J. et al. (2014), Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees, *Global Change Biology*,
- [2] CIFOR(2011), Bois énergie en RDC : Analyse de la filière des villes de Kinshasa et de Kisangani, Projet Makala/CIFOR
- [3] Ministère de l'Agriculture, Pêche, Elevage & Développement Rural(2008), Note d'orientation des interventions du gouvernement provincial du Bandundu dans le secteur agricole
- [4] Ministère du Plan(2005), Monographie de la province de Bandundu
- [5] Ministère du Plan, Institut National de la Statistique(2014), Rapport global, Résultats de l'enquête sur l'emploi, le secteur informel et sur la consommation des ménages/2012
- [6] RDC(2012), Stratégie-cadre nationale REDD+ de la RDC
- [7] SPIAF (2007), Guide Opérationnel : Normes de stratification forestière de la République Démocratique du Congo, Ministère de l'Environnement et Développement Durable (MEDD)
- [8] UNREDD, GTCR(2012), Etude qualitative sur les causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en RDC
- [9] UNEP(2011), Analyse qualitative des causes de la déforestation et de la dégradation des terres forestières dans une RDC post-conflit (données recueillies : septembre 2009 à octobre 2010)
- [10] VAC (Vivre au Congo), le climat au Congo, accès au 22 juin 2017, <https://www.vivreaucongo.com/congo-brazzaville/environnement-congo/climat>
- [11] Vancutsem, C. et al. (2006), Carte de l'occupation du sol de la République Démocratique du Congo au 1 : 3 000 000, UCL
- [12] Verhegghen, A. et al.(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.

Annexe 6 - Programme de Réduction des Émissions du Maï-Ndombe

1. Introduction et contexte

La conservation de taux de déforestation faibles dans les pays HFLD constitue l'une des principales stratégies du secteur de l'utilisation forestière et des terres pour la réalisation des objectifs de l'Accord de Paris afin de limiter la hausse de température bien en dessous de 2 °C et de poursuivre les efforts visant à limiter la hausse à 1,5 °C au-dessus des niveaux pré-industriels. Le Gouvernement de la RDC s'est engagé à la mise en œuvre de cet objectif par l'envoi à la CCNUCC d'une contribution nationale (« Intended Nationally Determined Contribution » ou INDC) relative à l'atténuation présentant les objectifs de réduction des émissions spécifiques pour le secteur terrestre comprenant la réduction de la déforestation, l'accroissement de la reforestation et l'amélioration des pratiques agricoles. En particulier, le gouvernement de la RDC s'est engagé à ralentir et éventuellement à arrêter la disparition des forêts.

En 2012, le gouvernement de la RDC a adopté une Stratégie Nationale REDD+, qui illustre une vision de la façon dont un pays peut répondre à ses aspirations de développement à long terme par le biais d'une économie verte. La stratégie vise à stabiliser la couverture forestière sur les deux tiers de la superficie du pays d'ici 2030 et à la maintenir par la suite. **Afin de commencer à mettre en œuvre cette stratégie REDD+ à niveau juridictionnel, le Gouvernement de la RDC a conçu un Programme des Réductions d'Émissions dans la Province de Maï-Ndombe, qui vise à tester l'application de de la stratégie à niveau national et l'application des paiements basés sur les résultats pour la REDD+.**



Afin de pouvoir avoir accès aux paiements pour la performance, le pays a présenté une Note d'Idée d'un Programme de Réduction d'Émissions (ER-PIN) en avril 2014 au Fond Carbon du Forest Carbon Partnership Facility. Une fois approuvé le Gouvernement a avancé dans la conception du Document de

Programme de Réductions des Émissions (ERPD) pour le Maï-Ndombe qui s'est déroulée sur une période de près de deux ans en consultation étroite et fréquente avec les parties prenantes locales, nationales et internationales, y compris la société civile et les Peuples Autochtones Pygmées. L'ambition du PRE du Maï-Ndombe est de mettre en œuvre un modèle de développement vert au niveau provincial qui offre des alternatives à la déforestation et qui octroie des primes à la performance afin d'atténuer le changement climatique, de réduire la pauvreté, de gérer les ressources naturelles de manière durable et de protéger la biodiversité. Le programme est conçu pour réunir différentes sources de financement, comme le Programme d'Investissement Forestier (PIF), le Partenariat pour les Forêts du Bassin du Congo (PFBC) et l'Initiative Forêt de l'Afrique Centrale (CAFI), et pour obtenir des financements privés afin d'intensifier les activités pilotes et soutenir le passage à une dynamique de planification d'occupation des sols à grande échelle.

En résumé il s'agit d'un programme qui couvre une superficie totale de 12,3 millions d'hectares, dont 9,8 millions d'hectares de forêt, et s'entend dans une perspective à long terme de 20 ans avec une période de paiement pour la performance de 5 ans (2017 – 2022). Il est estimé que le programme va générer un total de 29 millions de tonnes de CO2 jusqu'en 2021

Afin de pouvoir évaluer la performance du programme et recevoir des paiements pour les émissions réduites, un Niveau d'Émissions de Référence des Forêts a été établi dans le document du programme. Ce NERF est censé à être en cohérence avec le Cadre Méthodologique du Fond Carbone FCPF, qui est le cadre qui définit les exigences du Fond Carbone en matière de comptabilisation carbone, sauvegardes, double comptage, etc.

Le document du programme ou ERPD a été évalué par une équipe d'experts et il a été présenté dans la 14^{ème} réunion du Fond Carbone qui a eu lieu à Paris Juin 2016. Le programme de Maï-Ndombe a été approuvé formellement en Novembre 2016 pour avoir accès aux paiements pour les RE. Le premier suivi est prévu pour Juin 2018.

2. Portée de la comptabilisation carbone

La portée de la comptabilisation carbone est exhaustive car elle prend en compte tous les activités REDD +, incluant non seulement la déforestation mais la dégradation forestière et le renforcement des stocks. La dégradation forestière a été comptabilisée comme requis par le cadre méthodologique du Fond Carbone qui exige sa comptabilisation si les émissions GES liées à la dégradation forestière représentent plus du 10% des émissions totales. Les uniques sources et puits qui manqueraient serait celles liées aux réservoirs de matière organique morte et le carbone organique du sol, et aux GES non-CO2.

La portée temporelle du NR correspond à la période 2004-2014. Bien que la date finale soit cohérente avec celle du NERF national, la durée de la période historique est de 2004 vue que le cadre méthodologique du Fond Carbone exige une durée d'autour 10 ans.

Activités REDD+	Réservoir de carbone	Gaz d'effet de serre	Période historique
Déforestation - Forêt primaire - Forêt secondaire Dégradation forestière Renforcement des stocks - Boisement-reboisement - Forêt restant forêt	Biomasse aérienne Biomasse souterraine	CO2	2004-2014

Dans le cadre du programme de RE, la dégradation a été définie comme le passage de forêt primaire/dense à forêt secondaire tandis que le renforcement des stocks dans les forêts restant forêts correspond à l'autre reverse de la médaille, i.e. passage de forêt secondaire à forêt primaire/dense.

3. Méthodes de quantification

Les émissions et absorptions GES ont été calculées en suivant les méthodes décrites dans les Lignes Directrices 2006 du GIEC et en utilisant les directrices spécifiques de la REDD+ fournies par le Document de Méthodes et Directrices du GFOI (« Global Forest Observation Initiative ») version 2. Les équations appliquées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Activité REDD+ (sources et puits)	Équation des lignes directrices 2006 du GIEC utilisées comme base pour l'estimation des GES (pour AGB et BGB)	Référence aux lignes directrices 2006 du GIEC
Généralités	Équation 2.2 Équation 2.3	Vol. 4, chapitre 2, section 2.2.1, page 2.7
Émissions et absorptions dues à la déforestation et amélioration des stocks de carbone forestiers (terres forestières en terres non forestières et vice versa)	Équation 2.15 Équation 2.16	Vol. 4, chapitre 2, section 2.3.1.2, page 2.20 Vol. 4, chapitre 2, section 2.3.1.2, page 2.20
Absorptions dues à la dégradation des forêts (terres forestières restant terres forestières)	Équation 2.7	Vol. 4, chapitre 2, section 2.3.1.1, page 2.12

En résumé, les calculs des émissions liées à la déforestation et la dégradation forestière peuvent être exprimées comme la multiplication des données d'activités par des facteurs d'émissions où les facteurs d'émissions correspondent à la différence des stocks de la terre avant de la conversion et après la conversion :

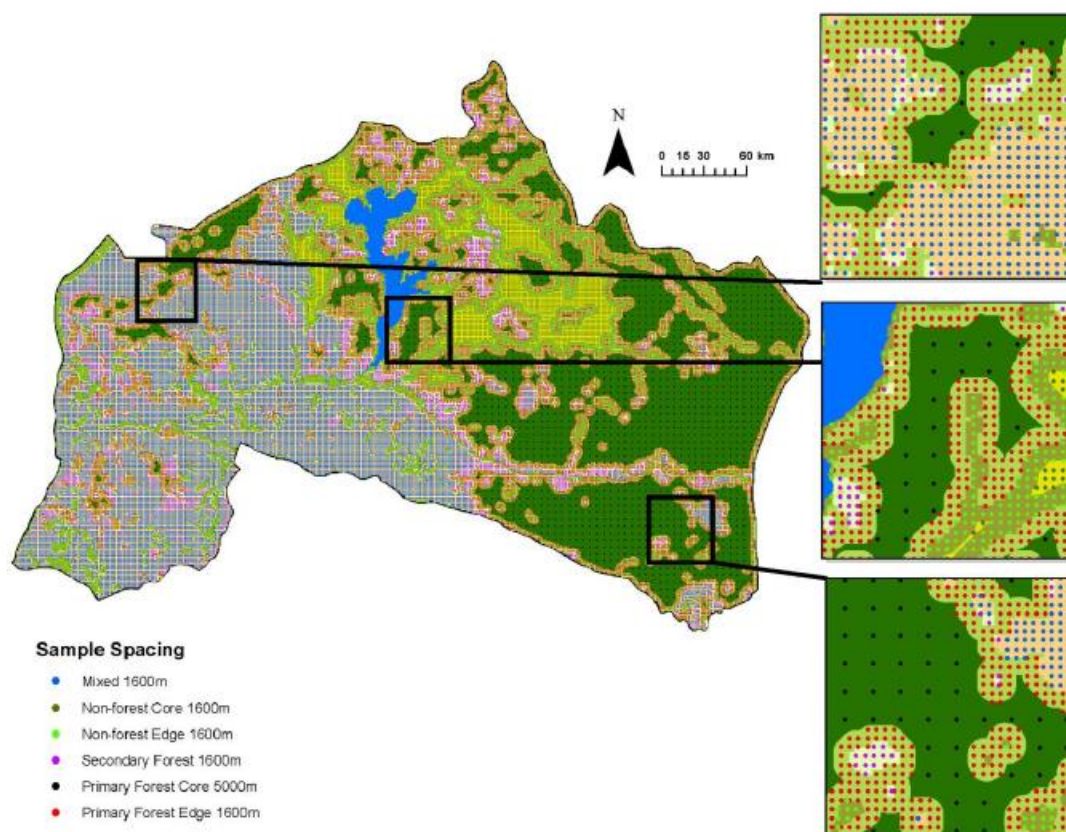
$$\Delta C_B = \sum_j \{EF_j \times \Delta A_j\}$$

Suite aux recommandations figurant dans le Chapitre 3.4 du GFOI MGD, l'amélioration des stocks de carbone a été estimée en utilisant les mêmes méthodes que celles utilisées pour la déforestation et la dégradation des forêts, mais, il sera supposé que la variation des stocks de carbone ne se produit pas de manière instantanée, mais progressivement au cours d'une période de temps (20 ans).

4. Données d'activités

Au moment de la conception du programme il n'y avait pas des données disponibles à niveau de Maï Ndombe qui permette l'établissement du NR. Les données d'activités ont été calculées sur la base de la classification manuelle des images de satellite Landsat et SPOT échantillonnées. La méthode d'échantillonnage correspond à un échantillonnage stratifié à deux degrés :

- Stratification : stratification régionale en 3 strates en fonction des risques de déforestation et dégradation.
- Premier degré : Au sein des strates il y a eu un premier échantillonnage systématique de ≈ 38000 échantillons en totale, où une classe de changement a été attribué à chaque échantillon avec une méthode de classification moins performante, i.e. la classe d'occupation de chaque échantillon a été attribué pour 6 époques différents et après on a fait une post-classification du changement. L'intensité d'échantillonnage de la strate de moins risque de changement (strate « primary forest core ») était de ≈ 2400 ha par échantillon tandis que l'intensité des autres strates était de ≈ 240 ha per échantillon.
- Deuxième degré : Après, dans le deuxième degré, il y a eu un sous-échantillonnage de ≈ 1600 échantillons en totale, où une classe de changement a été attribué avec une méthode plus performante (plusieurs interpréteurs, images à haut et très haut résolution, classification directe du changement, etc.).



En ce qui concerne l'interprétation des points, l'unité d'évaluation correspondre à une placette de ≈ 1.1 ha (placette circulaire de 60 mètres de diamètre) et l'interprétation a été fait en suivant des procédures standardisées.

Le résultat de l'analyse est présenté dans le tableau ci-dessus. La superficie de dégradation (DEG) dans la période de 10 ans correspondre à $\approx 645\,000$ ha et la déforestation (primaire PDEF et secondaire SDEF) est au peu près la même valeur. Le renforcement de stocks, soit en boisement/reboisement (SREG) soit en forêt restant forêt (PREG) correspondre à $\approx 190\,000$ ha en total.

Classe	Proportion	Superficies ajustées (ha)	Erreur relative au niveau de signification de 90 % (ha)	Erreur relative au niveau de signification de 90 % (%)	Intervalle de confiance à 90 % (ha)
DEG	0,05	645 365	112 416,0	17,4 %	532949 - 757781
STABLE	0,88	10 884 799	149 610,8	1,4 %	10735189 - 11034410
SREG	0,01	150 404	48 848,4	32,5 %	101556 - 199252
PREG	0,00	43 185	30 209,0	70,0 %	12976 - 73394
PDEF	0,02	218 385	57 179,6	26,2 %	161205 - 275564
SDEF	0,04	442 261	81 914,0	18,5 %	360347 - 524175

5. Facteurs d'émissions et absorption

Au moment de la conception du programme il n'y avait pas un inventaire forestier et cartographie de types de forêt disponibles à niveau national qui permettent l'estimation des facteurs d'émissions pour la province de Mai Ndombe . Donc, les facteurs d'émissions ont été établis sur la base des données relatives aux stocks de carbone développées dans le cadre du programme Carte et Modèle Carbone, par une campagne de vols de télédétection par laser (Light Detection and Ranging, en abrégé LiDAR) dans le périmètre du PRE.

La valeur de biomasse aérienne pour chaque type de forêt et la non forêt a été estimée avec la carte de biomasse, tandis que pour la quantification de la biomasse souterraine, des valeurs par défaut des Lignes Directrices 2006 du GIEC ont été utilisées.

Les résultats des facteurs d'émissions sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Sources / Puits	Facteur d'émission / d'absorption	Incertitude du facteur d'émission / d'absorption	Unité	Incertitude relative du facteur d'émission / d'absorption
Déforestation (PN)	605,98	+/- 93,93	tCO ₂ /ha	+/- 15,50 %
Déforestation secondaire (SN)	288,88	+/- 72,64	tCO ₂ /ha	+/- 25,15 %
Dégradation (PS)	317,09	+/- 117,33	tCO ₂ /ha	+/- 37,00 %
Régénération primaire (Y)	-15,85	+/- 5,87	tCO ₂ /ha/an	+/- 37,00 %
Régénération secondaire (X)	-14,44	+/- 3,63	tCO ₂ /ha/an	+/- 25,15 %

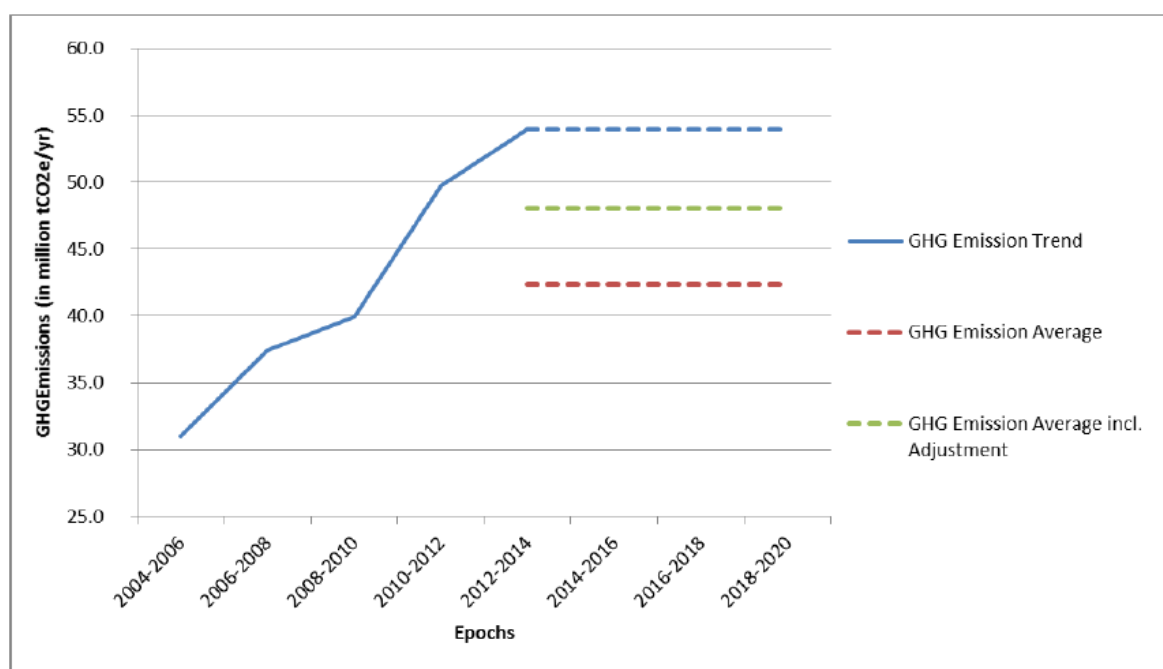
6. Niveau de référence

Les émissions historiques ont été calculées avec la combinaison des données d'activités avec les facteurs d'émissions et absorption. Le résultat est un total de 14.7 millions de tCO₂/an pour la déforestation et de 19 million de tCO₂/an pour la dégradation. Le renforcement de stocks est égal à 1.4 millions de tCO₂-an.

Sources / Puits	Émissions / absorptions (tCO ₂ /an)	Incertitude des émissions / absorptions (tCO ₂ /an)	Incertitude relative des émissions / absorptions
Déforestation (PN)	12 751 603	+/-3 879 976	+/- 30,43 %
Déforestation secondaire (SN)	12 061 756	+/-3 767 007	+/- 31,23 %
Dégradation (PS)	19 030 762	+/-7 782 713	+/- 40,90 %
Régénération primaire (Y)	-308 940	+/-244 482	+/- 79,14 %
Régénération secondaire (X)	-1 124 176	+/-461 755	+/- 41,07 %
Émissions moyennes au cours de la période de référence	42 411 005	+/-9 281 966	+/- 21,89 %

Dans le cas des pays à Haute Couverture Forestier et Faible Déforestation, le cadre méthodologique du Fond Carbon permet aux pays de proposer un ajustement à la hausse des émissions historiques. Cet ajustement à la hausse doit être justifiée, quantifiée et ne peut pas dépasser un seuil équivalent à un taux annuelle relatif de déforestation de 0,1%.

Dans le cadre du programme de RE il a été démontré l'existence d'une tendance à la hausse de déforestation et dégradation dans la période historique à cause de l'augmentation de la population et la croissance économique. Compte tenu de cette tendance historique, les émissions futures semblent vraisemblablement dépasser le niveau d'émission de 2012-2014 (soit 53,94 millions tCO₂e/an) Si les émissions futures correspondent à celles de 2012-2014, cela signifie que les émissions moyennes historiques (soit 42,41 millions tCO₂e/an) sous-estiment les émissions futures de 21,4 % (11,53 millions tCO₂e/an). Cela signifie que le PRE devrait réduire 11,53 millions de tonnes de CO₂ avant de pouvoir demander un premier paiement de réduction des émissions.



Tenant compte de cette situation et des preuves des changements survenus dans les circonstances nationales, le PRE se propose de comptabiliser l'ajustement maximal possible de 5,61 millions tCO₂/an. Cela nécessite encore un effort important de la part de la RDC pour réduire les émissions en dessous du Niveau de Référence ajusté et les propres contributions du pays restent importantes, ambitieuses et stimulantes.

Tableau 33 : Niveau de Référence du PRE					
Année t de la durée de l'ERPA	Moyenne annuelle historique des émissions dues à la déforestation (tCO2/an)	Moyenne annuelle historique des émissions dues à la dégradation (tCO2/an)	Moyenne annuelle historique des absorptions dues à l'augmentation des stocks de carbone (tCO2/an)	Ajustement (tCO2/an)	Total du niveau de référence (tCO2/an)
1	24 651 957	18 838 100	(1 424 990)	5 611 789	48 022 794
2	24 651 957	18 838 100	(1 424 990)	5 611 789	48 022 794
3	24 651 957	18 838 100	(1 424 990)	5 611 789	48 022 794
4	24 651 957	18 838 100	(1 424 990)	5 611 789	48 022 794
5	24 651 957	18 838 100	(1 424 990)	5 611 789	48 022 794
Total	123 259 786	94 190 502	(7 124 952)	28 058 945	240 113 972

7. Prochaines étapes

Une fois finalisé l'estimation du niveau de référence, il a été constaté que l'incertitude la plus importante, et qui pourrait empêcher la correcte évaluation de la performance, est liée aux données d'activités. Il se trouve qu'avec une incertitude de 26.2% en déforestation primaire et 18% en déforestation secondaire on aurait des difficultés pour mesurer la performance. En plus, la méthode d'échantillonnage adoptée pourrait causer quelques limitations dans le suivi, à cause de la nécessité de modifier la stratification adoptée. En vue de cette limitation des données d'activités, il a été décidé conjointement avec le Fond Carbone, d'avancer avec la recollecte de données d'activités avec une méthodologie plus robuste.

En vue de l'état d'avancement du NERF national et en vue de l'importance d'assurer la cohérence dans la comptabilisation carbone, il est prévu de faire la collecte de données en suivant la même conception de réponse (i.e. unité d'évaluation, système de classification, etc.) ce qui permettra avoir des données d'activités cohérentes et permettra l'utilisation de ces données dans l'amélioration du NERF national pour la province de Mai Ndombe.

Les travaux vont démarrer en Octobre et ils vont dérouler jusqu'au moins de Mars 2018. Il est prévu que la méthode sera similaire, mais l'échantillonnage sera systématique.

Annexe 7 - Projet Carbon Map and Model de WWF pour la cartographie de la biomasse forestière LiDAR par Télédétection LiDAR aéroporté

1. Contexte

L'accumulation de carbone dans la végétation ligneuse mondiale est devenue une stratégie efficace pour atténuer les changements climatiques. Cependant, la quantification du carbone stocké dans la végétation à des échelles utiles pour la comptabilité et l'élaboration des politiques de carbone est insuffisante. L'incertitude entourant les stocks de carbone dans les forêts, en particulier dans les régions tropicales humides, a des implications significatives pour évaluer et planifier avec précision la réduction des émissions provenant de la déforestation et de la dégradation des forêts (REDD +) aux échelles nationales et régionales.

La République démocratique du Congo (RDC) possède la deuxième plus grande superficie de forêts du monde, couvrant un système complexe de rivières étendues, de forêts humides et sèches, de parcelles de savane, de zones humides, de végétation de montagne et de paysages dégradés. Les forêts de la RDC sont riches en carbone et représentent l'un des centres les plus importants de la diversité biologique dans le monde, avec plus de 15 000 plantes et espèces animales. Les forêts de la RDC font face à des menaces provenant de l'extraction du bois industriel, de l'exploitation artisanale et illégale, de la coupe et de la combustion de l'agriculture, des mines, de la collecte des bois et des effets du braconnage.

Le Gouvernement de la RDC a initié l'un des plus importants programmes juridiques de réduction des émissions en Afrique et amené ses efforts au niveau national dans la quantification et la surveillance des changements dans les stocks de carbone des forêts.

Le projet « **Carbon Map and Model (CM & M)** » est une composante de cet effort national en produisant des estimations des stocks de carbone grâce à des technologies de télédétection.

Le projet CM&M a été développé par le World Wide Fund for Nature (WWF), avec le soutien de l'Initiative Internationale pour le Climat (**IKI**) du Ministère Fédéral Allemand de l'Environnement, de la Protection de la Nature, de la Construction et de la Sécurité Nucléaire (**BMUB**), la Banque Allemande de Développement **KfW**, en collaboration avec le Ministère de l'Environnement et du Développement durable de la RDC, l'Université de Californie à Los Angeles (UCLA) et d'autres partenaires nationaux et internationaux (SMC, OSFAC, GFA).

Il a permis de produire une carte nationale de carbone forestier, à partir des données collectées à l'aide du système laser LiDAR (Light Detection and Ranging) aéroporté, combinées aux images satellites et des données d'inventaires forestiers de terrain. Cette cartographie nationale de la biomasse forestière permet donc de quantifier le carbone forestier dans la plus grande forêt du Bassin du Congo afin d'appuyer le programme REDD+ de la RDC.

Elle a été présentée aux partenaires du projet CM&M et différents acteurs dans le processus national REDD+, sous le haut patronage du Ministère de l'Environnement et Développement Durable (MEDD) pour évaluation et validation. Elle devrait donc constituer un outil fort essentiel à l'appui au Gouvernement congolais dans la mise en œuvre de son processus REDD+, spécifiquement dans la construction du niveau d'émissions de référence, l'estimation des facteurs d'émissions et la mise en place du système MRV national.

2. Méthodologie

2.1. Aperçu

Bien que les méthodes de cartographie des stocks de carbone directement à partir des observations par télédétection par satellite n'aient pas été perfectionnées ni encore opérationnelles, les efforts et les pratiques actuels utilisent souvent une combinaison d'images aériennes et satellitaires, formés par des mesures de terrain au niveau de l'échelle nationale¹⁻³.

Les méthodologies de télédétection les plus avancées pour l'estimation et la cartographie des stocks de carbone reposent fortement sur les observations LiDAR de la structure forestière qui peuvent être facilement converties en biomasse aérienne (AGB) et extrapolées sur le paysage à l'aide d'images satellites^{4,5,6}.

Cependant, il existe une incertitude associée à cette méthodologie en raison de l'échantillonnage irrégulier ou non irrégulier de la région étudiée, de faibles données d'entraînement LiDAR à la biomasse forestière et de la sensibilité de l'imagerie satellitaire à la structure végétale et à la biomasse, lors de l'extrapolation des estimations de la biomasse LiDAR sur le paysage^{7,8}.

Pour la première fois en RDC la RDC détenant la deuxième plus grande étendue de forêts tropicales après le Brésil, une carte nationale de carbone forestier est développée dans un pays tropical, basée sur l'échantillonnage probabiliste de la structure forestière et de la biomasse par les données aéroportées LiDAR, et en développant un estimateur sans biais de la biomasse aérienne (AGB) par l'utilisation des échantillons LiDAR formés avec des parcelles terrain.

Les estimations de l'AGB LiDAR sont intégrées à la modélisation géospatiale basée sur l'algorithme du « Maximum Entropy (ME) » pour produire une carte de biomasse à une résolution de 100 m (1-ha) de l'ensemble de la RDC. La méthodologie globale a été conçue pour réduire les erreurs provenant de différentes sources et fournir des estimations d'incertitude aux échelles de pixels de 1-ha qui peuvent être facilement vérifiées à l'aide de parcelles d'inventaire.

La carte AGB ainsi que celle sur l'incertitude associée peuvent fournir des facteurs d'émissions pour l'utilisation des terres et les activités de couverture de sol aux échelles nationales et infranationales.

L'approche est analogue à une inférence fondée sur la conception, avec une modélisation hiérarchique^{9,10} qui comprend trois étapes: (1) parcelles de sol utilisées comme première source d'information, fournissant des échantillons de structure et de biomasse; (2) les données aéroportées de balayage LiDAR échantillonnées dans le pays utilisées comme deuxième source d'information et un proxy pour l'inventaire forestier au niveau national, et (3) la modélisation géospatiale et les images satellitaires utilisées comme troisième source d'information pour la cartographie par l'approche wall-to-wall de la biomasse forestière et des stocks de carbone.

2.2. Echantillonnage LiDAR

La conception d'échantillonnage LiDAR a suivi la méthodologie introduite dans l'outil VCS VT0005 pour l'utilisation des observations de télédétection en tant que techniques d'inventaire pour estimer les stocks de carbone⁵. Il a été créé des vols ALS (Airborne LiDAR Scanning), à savoir les "transects LiDAR", basés sur un schéma d'échantillonnage aléatoire systématique où une grille 1°x1° a été recouverte sur la carte de couverture forestière du pays⁶ produite par l'Observatoire satellital des forêts d'Afrique Centrale (OSFAC).

Les emplacements de transects LiDAR (figure 2) ont été sélectionnés en choisissant au hasard au moins un point dans la cellule de grille.

Pour réduire l'incertitude de l'estimation de la biomasse (<1%) au niveau du transect, la taille du transect a été fixée à environ 2000 ha sur la base d'études portant sur les autocorrélations spatiales pour les mesures LiDAR^{5,11,12}. L'orientation du transect LiDAR et les points de début et de fin ont également suivi la randomisation de l'angle et de l'emplacement du cap pour assurer un échantillonnage aléatoire complet de la population à chaque point et pour assurer une inférence impartiale de la moyenne et de la variance de la population (AGB).

Au total, 216 transects LiDAR ont été survolés, fournissant plus de 432 000 ha d'échantillons de forêts et 150 000 ha d'échantillons supplémentaires collectés lors des vols traversiers d'un transect LiDAR à un autre (ferry flight lines). Les unités d'échantillonnage à chacun des 216 emplacements sont aléatoires, ce qui suggère l'inférence de la structure forestière ou l'AGB est indépendant de la corrélation spatiale potentielle entre les unités d'échantillonnage (transects LiDAR).

Cependant, en raison de la nature de l'échantillonnage LiDAR à partir de plates-formes aériennes, à chaque transect LiDAR, les données LiDAR de 2000 ha sont considérées comme regroupées, de sorte que la moyenne de la population est la moyenne des pixels regroupés et la variance doit inclure les corrélations spatiales existant au sein de chaque transect LiDAR transect^{5,13-15}.

2.3. Modèle d'estimation de biomasse LiDAR

Les échantillons ALS ont été convertis en AGB en utilisant un modèle non linéaire (power-law) entre l'AGB estimé au sol et les mesures de hauteur LiDAR à travers la RDC. 92 parcelles d'inventaire forestier de 1-ha ont été utilisées, situées dans environ 15% des transects LiDAR pour développer le modèle.

Les parcelles de terrain sont principalement localisées au hasard dans les transects LiDAR et sont dispersées sur le pays, pour permettre de développer un estimateur sans biais pour toutes les forêts de la RDC.

En raison de la difficulté d'accès et de coût, l'échantillonnage au sol n'a pas été effectué de façon aléatoire dans tous les échantillons LiDAR et, par conséquent, n'a pas complètement suivi un échantillonnage aléatoire simple sans remplacement. Le modèle (figure 3b) est donné par:

$$AGB = 10.43 (\overline{WD}h)^{1.19} \quad (1)$$

où $\overline{WD}$ est la densité moyenne de bois à chaque emplacement correspondant en fonction du type de forêt au plus haut niveau possible, h est la hauteur moyenne de canopée (MCH) à 1-ha (100 mx 100 m) dérivée de haute résolution (2 m) de pixels LiDAR. La constante de mise à l'échelle (10.43) et les paramètres de l'exposant power-law (1.19) sont dérivés en utilisant une approche linéarisée pour s'adapter à la loi de puissance en incluant un terme de bruit gaussien à moyenne zéro (zero-mean Gaussian noise term) pour tenir compte de l'incertitude dans les mesures. La densité moyenne de bois est le seul facteur de mise à l'échelle qui permet d'utiliser le modèle comme estimateur à travers les régions et pour tous les pixels LiDAR (en comparant les figures 3a et 3b).

2.4. Prédiction spatiale de l'AGB et du stock de carbone

Les mesures par satellite de la réflectance de surface sensibles à la structure forestière et aux caractéristiques de la canopée ont été utilisées comme variables pour prédire l'AGB à travers le paysage, en utilisant des échantillons AGB dérivés de LiDAR distribués aléatoirement.

Nous avons utilisé l'estimateur Maximum Entropy (MaxEnt) modifiée, comme un algorithme non paramétrique « machine learning » avec des fonctions de probabilité dérivées de Bayes (Bayesian-derived probability functions) qui permettent d'estimer la moyenne et la variance de l'AGB aux échelles de pixels et régionale^{4,15}.

L'algorithme MaxEnt a produit des estimations d'AGB à une résolution spatiale de 100 m (1-ha) à partir des données Landsat, ALOS PALSAR et SRTM. La carte AGB et l'incertitude au niveau des pixels ont été utilisées pour estimer la moyenne et la variance de la biomasse aérienne à différents types de forêts et échelles juridictionnelles.

Le carbone total de la végétation vivante a été calculé en estimant d'abord la biomasse souterraine (BGB) en utilisant des modèles allométriques dépendants^{16,17} de l'AGB et en utilisant la sommation des deux puits et en appliquant la fraction de carbone de 0,49 à travers les types et les régions forestières.

Les étapes clés de notre prévision spatiale comprennent le traitement des données par satellite et LiDAR, la modélisation spatiale à l'aide de l'algorithme MaxEnt et l'analyse d'incertitude pour fournir des estimations au niveau de pixels et régional des erreurs associées à la carte.

3. Résultats et discussions

3.1. Carte de biomasse forestière aérienne

La carte d'AGB de la DRC (figure 4) fournit la variabilité spatiale détaillée du carbone stocké dans les forêts, en capturant la physiographie de la structure forestière à l'échelle paysagère et régionale. À l'échelle du paysage, les variations dans l'AGB suivent les perturbations et les gradients topographiques.

Les mesures LiDAR de la répartition de la structure de la forêt capturent la distribution de grands arbres et montrent comment la dégradation, la distance aux routes et les établissements, ou les caractéristiques géomorphologiques associées aux pentes, au type de sol et aux conditions d'humidité ont une incidence sur la répartition spatiale de la structure forestière et de la biomasse aérienne¹⁸⁻²¹.

La prédiction spatiale de l'AGB fournit une estimation sans biais de toutes les parcelles de terrain disponibles avec une erreur quadratique de 60 t/ha (figure 3c). En faisant la moyenne d'AGB dans tout le pays et en appliquant la fraction de carbone de 0,49 de matière sèche, nous signalons une densité de carbone moyenne de 139 ± 9 tC/ha dans les arbres vivants en amont de la RDC, en cohérence avec d'autres estimations d'études antérieures²².

La variation globale de l'AGB à travers les types de couverture terrestre (voir Méthodes complémentaires) varie de valeurs aussi faibles que 3 (Intervalle de confiance de 95%: 0 à 9) t/ha pour la savane et les arbustes jusqu'à 326 (IC 95%: 87 -476) t/ha pour les forêts humides (figure 4b).

En moyenne, les forêts tropicales humides de la RDC ont une densité de biomasse beaucoup plus élevée (~ 300 t/ha), une densité de bois plus élevée (~ 0,66 g cm³) et une densité de tige relativement inférieure (~ 400 arbres/ha) aux forêts en Amazonie et au sud-est de l'Asie^{23, 24,25}.

L'AGB moyen en RDC est significativement inférieur aux valeurs déclarées pour les forêts tropicales humides africaines à partir de réseaux de parcelles de recherche (~ 430 t/ha) principalement en raison de différences dans la région d'étude et de la conception de l'échantillonnage, mais la densité moyenne du bois et la densité de la tige dérivée de nos parcelles de formation sont approximativement les mêmes²⁴.

La différence dans les estimations de l'AGB peut également être attribuée à la conception d'échantillonnage probabiliste en RDC (figure 2) que, contrairement aux parcelles de recherche dans les forêts anciennes, les forêts non perturbées captent une combinaison de forêts intactes et partiellement perturbées provenant de l'exploitation forestière sélective.

Les résultats de l'analyse des données LiDAR à haute résolution suggèrent également que les grands arbres de hauteur supérieure à 50 m dominent les zones de haute biomasse. Ces arbres semblent être beaucoup plus grands que les grands arbres moyens en Amazonie^{18, 26}.

En particulier dans les peuplements monodominants capturés dans les données du parcours d'entraînement en Ituri, il existe un certain nombre d'arbres importants (par exemple, une hauteur supérieure à 60 m), avec une densité moyenne de bois > 0,7 g/cm³, des valeurs AGB > 400 t/ha. En général, ces forêts majestueuses restent principalement dans la région de l'est et du nord-est de la RDC, avec un faible impact de l'exploitation forestière et des perturbations, éventuellement en raison du manque d'accès lié aux conflits politiques.

Dans les provinces du sud de la RDC, la couverture terrestre est dominée par la mosaïque de savanes herbeuses et de forêts riveraines, s'étendant de la province du sud de Bandundu vers les vastes forêts du sud-est du Miombo à Lualaba et au Katanga. Ces forêts ont une AGB nettement inférieure (23, avec l'IC de 95%: 0-113 t/ha et 53, avec l'IC de 95%: 0-171 t/ha, respectivement), mais elles couvrent une région également importante en RDC par rapport aux forêts humides.

Les échantillons aéroportés LiDAR n'ont été survolés que dans la zone de forêt tropicale humide avec une certaine couverture dans les régions limitrophes forestières du nord et du sud du pays, mais avec presque aucune donnée sur les terres boisées de Miombo. De même, les données de terrain utilisées dans l'entraînement des données ne couvrent pas les forêts de Miombo.

De ce fait, cet échantillonnage limité et la sensibilité plus élevée de l'image ALOS PALSAR à la gamme de biomasse forestière ont constitué des données d'entraînement raisonnables pour l'algorithme MaxEnt, afin d'estimer la répartition spatiale de l'AGB dans les forêts situées en dehors de la zone tropicale humide. Les estimations moyennes de l'AGB des forêts de Miombo en RDC montrent des chiffres très proches des estimations au sol d'autres régions des pays d'Afrique centrale et australe².

3.2. Estimation des incertitudes

L'approche d'échantillonnage probabiliste LiDAR suit le modèle d'échantillonnage d'inventaire afin d'assurer des estimations sans biais de la structure forestière. Cependant, à l'échelle nationale ou régionale, l'estimation de l'AGB à l'échelle locale ou régionale dépend de l'utilisation d'un modèle allométrique pour convertir les mesures de la structure forestière en biomasse.

Le modèle LiDAR-AGB joue le même rôle que le modèle allométrique au sol et l'incertitude globale de l'estimation AGB dépend de la façon dont le modèle a été développé.

Ici, nous fournissons l'incertitude de la biomasse forestière à deux niveaux: (1) Nous quantifions l'incertitude associée au modèle LiDAR-AGB utilisant des parcelles de terrain; (2) Nous estimons

l'incertitude associée à la prédiction MaxEnt aux échelles de pixels et juridictionnelles sur l'ensemble du pays.

Le modèle LiDAR-AGB a été développé en utilisant 92 parcelles de terrain réparties au hasard dans les transects LiDAR à travers le pays.

Nous avons testé l'incertitude du modèle en utilisant une approche de validation croisée (cross validation) « **bootstrapping** » (1000 fois) avec sélection aléatoire de 80% des données pour les ajustements du modèle et 20% pour la validation.

Le résultat suggère que le modèle a une erreur standard de 52 t/ha, mais reste relativement imparfait (-0,6 t/ha) dans toutes les régions.

L'utilisation de la densité de bois comme poids à la hauteur moyenne de canopée dérivée de LiDAR peut aider à réduire les biais supplémentaires lors de la mise en œuvre du modèle dans les forêts avec une composition arborescente différente (figure 3).

Nous avons d'abord évalué l'incertitude associée à la modélisation spatiale de l'AGB en utilisant l'approche de validation croisée (CV). Les résultats CV provenant de l'échantillonnage basé sur le diagramme de LiDAR (figure 5a) donnent la meilleure prédiction globale, avec un RMSE moyen de 61 ± 1 t/ha. Compte tenu de l'existence possible d'une autocorrélation spatiale résiduelle, les résultats CV provenant de l'échantillonnage latitudinal (figure 5b) ont une erreur de prédiction relativement plus grande, avec un RMSE moyen de 70 ± 6 t/ha.

Les deux résultats CV ont également confirmé que les prédictions étaient statistiquement non biaisées sur l'ensemble de la taille de l'échantillon, avec l'écart-type moyen (MSD, Mean Signed Deviation) à $0,4 \pm 3,2$ t/ha pour l'échantillonnage basé sur la parcelle LiDAR et $-4,5 \pm 15,2$ t/ha pour les approches d'échantillonnage latitudinal.

Pour mieux expliquer les différences entre les deux méthodes de CV, nous avons utilisé une analyse basée sur les variogrammes, montrant l'autocorrélation spatiale avec une distance couplée.

L'autocorrélation spatiale dans la carte AGB d'origine peut s'étendre sur plus de 200 kilomètres et la covariance entre les pixels à proximité spatiale est supérieure à 15000. D'autre part, les résidus entre nos échantillons de prédiction et les échantillons LiDAR montrent une gamme d'autocorrélation spatiale similaire, mais inférieure à 20% de la covariance initiale. Cette autocorrélation spatiale résiduelle peut entraîner une plus grande incertitude de prédiction pour les pixels loin des données d'entraînement, ce qui entraîne des différences entre deux méthodes CV.

Ce test suggère que nous pouvons sous-estimer l'incertitude dans les provinces du sud de la RDC, où aucun LiDAR supplémentaire et des échantillons au sol ne sont actuellement disponibles dans les forêts tropicales et les miombos.

D'autres sources d'incertitude proviennent de :

(1) l'incertitude du modèle LiDAR-AGB dérivé du domaine, (2) les erreurs de géolocalisation entre la modélisation LiDAR dérivée du sol et la cartographie spatiale, et (3) l'erreur de mesure et d'interpolation des hauteurs LiDAR aéroportées.

Ici, nous estimons l'incertitude relative à la biomasse forestière estimée au sol à partir de l'inventaire des arbres au niveau du terrain et des modèles allométriques²⁷. Le modèle LiDAR-AGB a un RMSE moyen de 52 t/ha (figure 3), qui se propage ensuite sur la carte nationale avec une erreur potentielle de géolocalisation

de sous-pixels. L'erreur moyenne de géolocalisation des sous-pixels peut être approximée comme l'effet de pépité de distance zéro dans l'analyse semi-variogramme et est d'environ 50 t/ha.

L'erreur d'interpolation des hauteurs LiDAR peut être modélisée en utilisant le krigeage ordinaire. Sous la résolution originale de 2 mètres pour le produit raster LiDAR, nous avons constaté que les régions sans rendements au sol adéquats pourraient avoir une incertitude aussi élevée que 1 mètre de hauteur de forêt.

Cependant, l'agrégation spatiale des produits de 2 mètres à une résolution de 1-ha rend cette partie de l'incertitude plutôt petite et négligeable. Par conséquent, par rapport aux sources d'incertitude susmentionnées, les mesures en hauteur LiDAR fournissent l'estimation la plus précise en supposant que les points au sol peuvent vraiment représenter le sol.

L'incertitude de modélisation spatiale de l'AGB représentée par l'erreur de prédiction du niveau des pixels est la dernière source d'incertitude (figure 6a). Les résultats montrent que la majorité de l'incertitude de modélisation AGB des forêts tropicales est limitée entre 40 et 90 t/ha. Cependant, par rapport aux valeurs de pixels avec AGB estimé au sol dans les parcelles de 1-ha, l'incertitude est plus grande (~ 90 t/ha) par rapport à toutes les parcelles de terrain (figure 6b) et à environ 105 t/ha, lorsque comparé à un ensemble de données indépendant (Fig. 6c).

Si nous supposons que les différents processus affectant l'incertitude de notre carte AGB ne sont pas liés, la propagation de l'incertitude de l'erreur de modélisation LiDAR AGB dérivée terrain (~ 50 t/ha), l'erreur de non correspondance des pixels (~ 50 t/ha), à l'erreur moyenne de cartographie spatiale (~ 70 t/ha), est théoriquement d'environ 100 t/ha, semblable à ce que nous avons trouvé à partir d'une validation de terrain indépendante (figure 6c).

4. Conclusion

L'inventaire systématique et basé sur les probabilités de la structure forestière avec les données aéroportées de LiDAR a permis de fournir les premières variations physiographiques de la hauteur et de la densité de carbone à l'échelle du paysage dans le bassin du Congo.

À l'aide des mesures d'inventaire LiDAR calibrées avec des données de terrain, nous avons pu développer la répartition de la biomasse forestière au niveau national avec l'incertitude dans le deuxième plus grand pays après le Brésil avec des forêts tropicales.

La densité d'échantillonnage a été conçue pour fournir des statistiques de carbone au niveau sous-national et des provinces, ainsi que des estimations AGB résumées par types de forêts. En examinant les variables climatiques et édaphiques, nous avons identifié les variables clés du climat (température et précipitations), du terrain (élévation et interquartile) et des propriétés du sol contribuant à la répartition spatiale des stocks de carbone forestier et des types de forêts.

Le développement des estimations du carbone et de la carte nationale suit une méthodologie vérifiable avec une quantification formelle de l'incertitude qui peut être appliquée à d'autres pays tropicaux pour une évaluation rentable et efficace du stockage du carbone forestier et des changements aux niveaux régional et national.

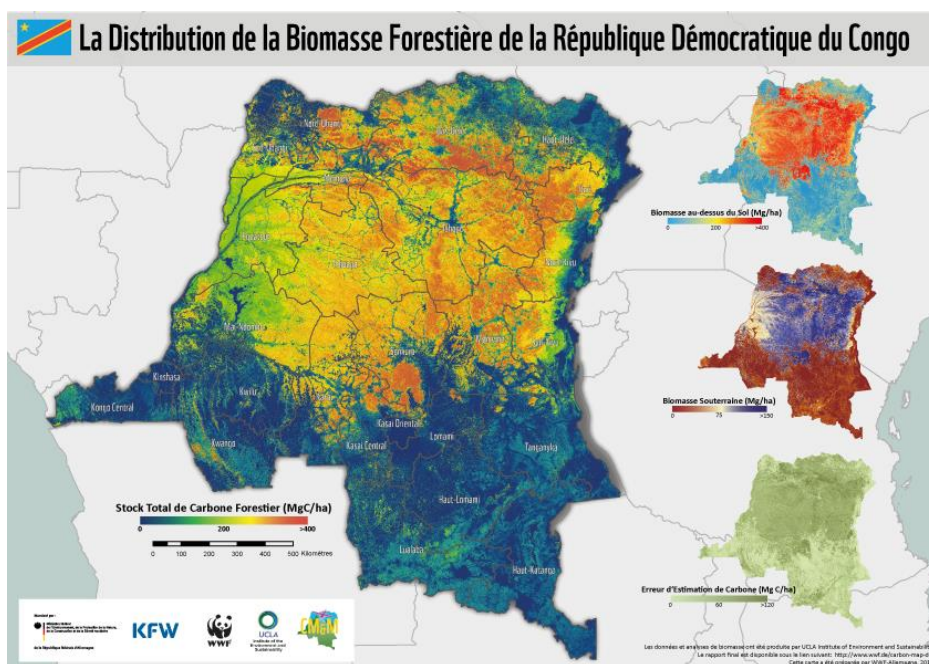


Figure 1 : Carte nationale de la biomasse forestière élaborée par Télédétection LiDAR aéroporté

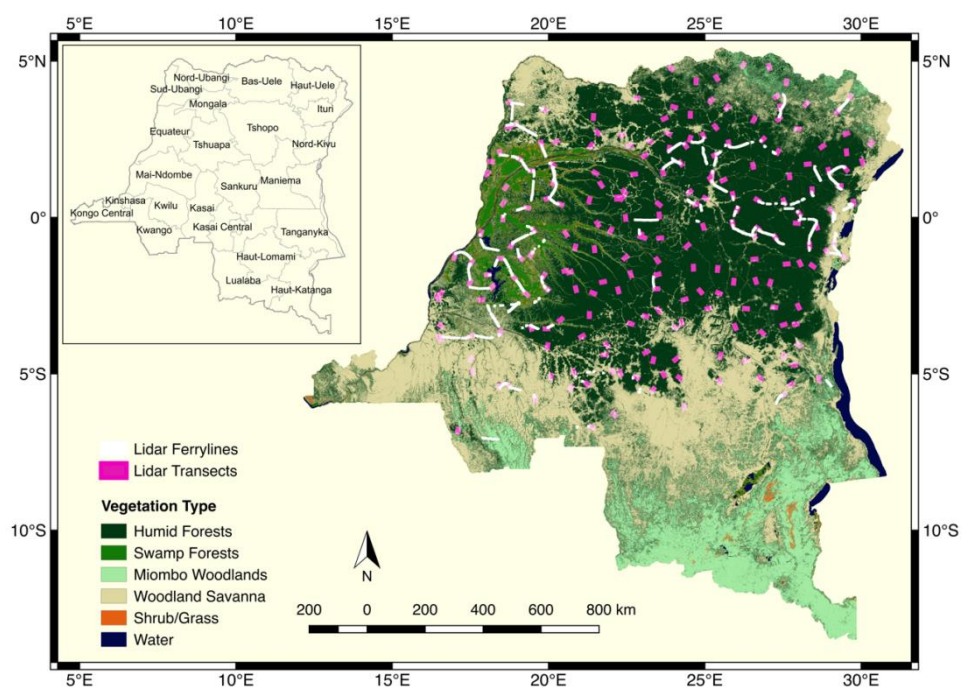


Figure 2 : Modèle d'échantillonnage Lidar de la RDC sur fond de carte de couvert forestier. Les emplacements des transects LiDAR (~ 1,5 km x 11 km) et les lignes traversières entre les transects sont en gras en blanc

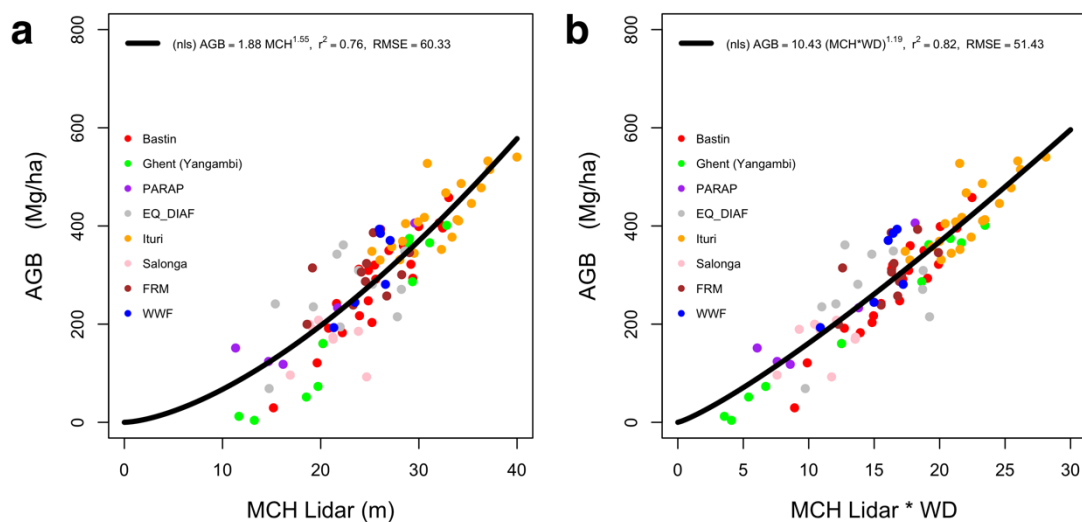


Figure 3 : Modèle LiDAR-AGB utilisant des parcelles de terrain de 1-ha : (a) modèle AGB entre l'AGB estimé au sol et la hauteur moyenne de la canopée (MCH) dérivée du LiDAR; (b) Modèle AGB entre l'AGB estimé au sol et le MCH pondéré par densité de bois (WD). Les points colorés correspondent aux sites de terrain mesurés par différents groupes de recherche

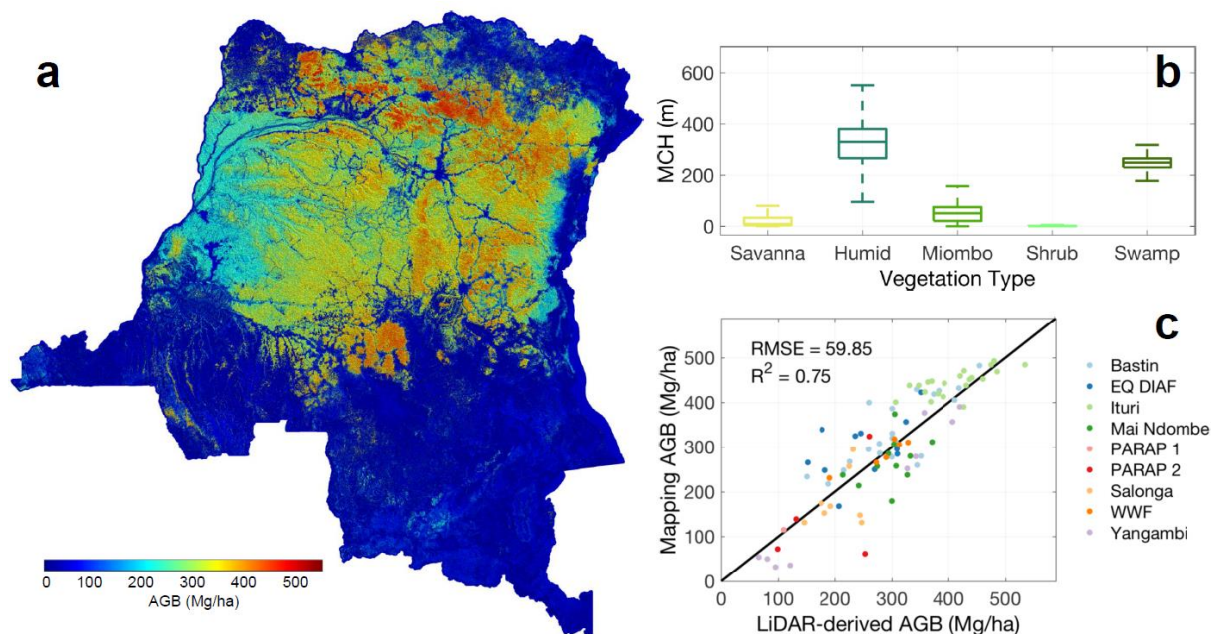


Figure 4 : Carte AGB de la RDC et analyses associées : (a) Modèle spatial d'AGB de la RDC; (b) Estimations moyennes de l'AGB pour chaque type de couvert forestier; et (c) Tracé des valeurs estimées d'AGB LiDAR par rapport à celles de l'AGB cartographié.

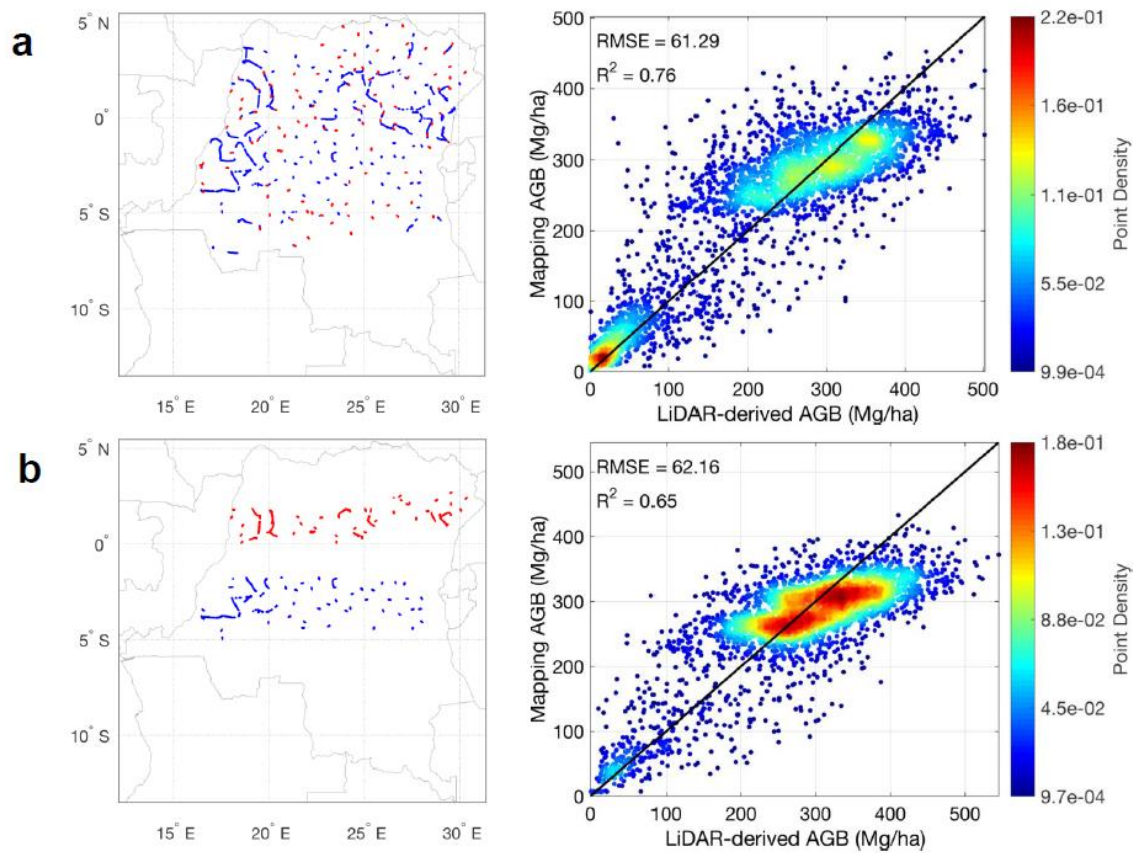


Figure 5 : La validation croisée (CV) résulte de 2 méthodes : (a) A gauche, l'exemple de CV d'échantillonnage par traçage avec les localisations de données d'entraînement utilisées et de test et le graphique relatif au test, à droite; (b) A gauche, l'exemple de CV d'échantillonnage latitudinal avec les localisations de données d'entraînement utilisées et de test et le graphique relatif au test, à droite. Pour les graphiques de gauche, les points bleus sont les emplacements d'échantillons d'entraînement et les points rouges sont les emplacements d'échantillons de test.

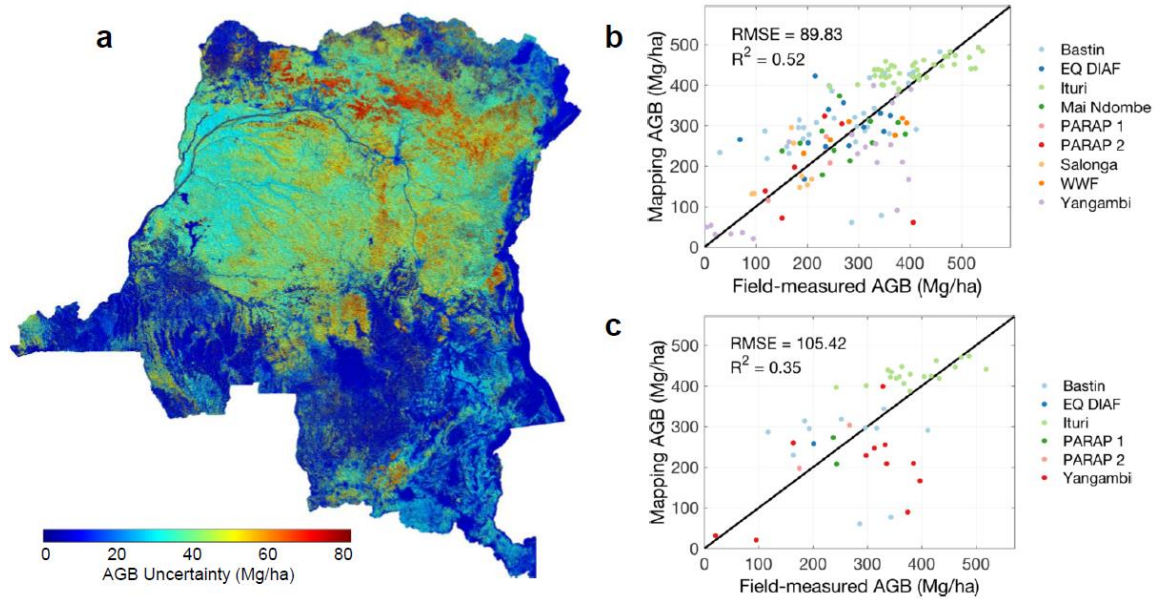


Figure 6 : Les diagrammes de validation de l'AGB : (a) carte d'incertitude AGB avec un écart-type ; (b) Validation à partir de toutes les données de terrain disponibles ; (c) Validation par rapport aux sites de terrain indépendants.

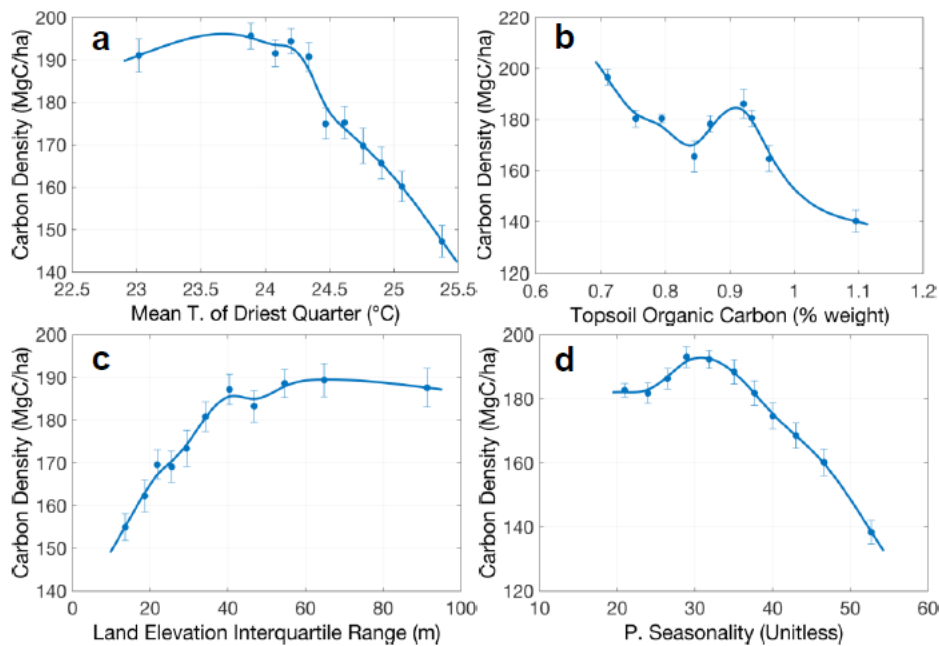


Figure 7 : Certaines relations moyennes entre la densité de carbone et les variables environnementales dans les forêts tropicales humides en RDC. Les graphiques affichent une densité de carbone par rapport à : (a) la température moyenne du trimestre le plus sec, (b) le carbone organique du sol végétal, (c) la variation de l'élévation et (d) la saisonnalité des précipitations. Les parcelles montrent les relations entre les valeurs moyennes dans chaque intervalle des variables environnementales. La barre d'erreur associée à la densité de carbone est l'erreur standard de l'estimation moyenne à partir des échantillons d'amorçage (bootstrapping).

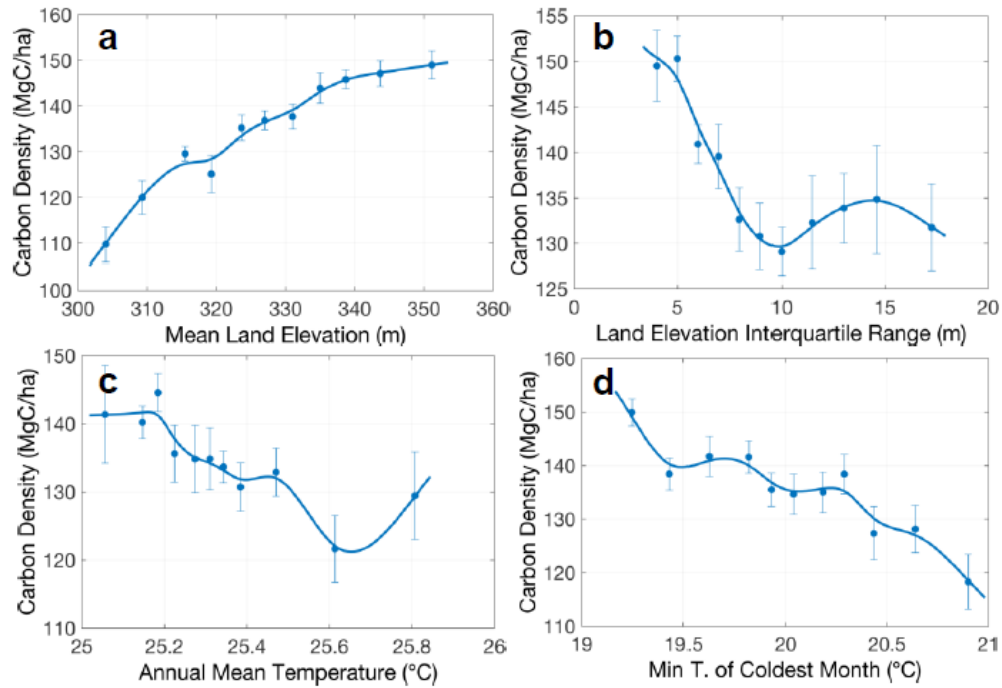


Figure 8 : Certaines relations moyennes entre la densité de carbone et les variables environnementales dans les forêts de marécages de la RDC semblables à celles de la figure 7. Les graphiques présentent une densité de carbone par rapport à : (a) l'élévation, (b) la variation de l'élévation, (c) la température moyenne annuelle et) température minimale du mois le plus froid.

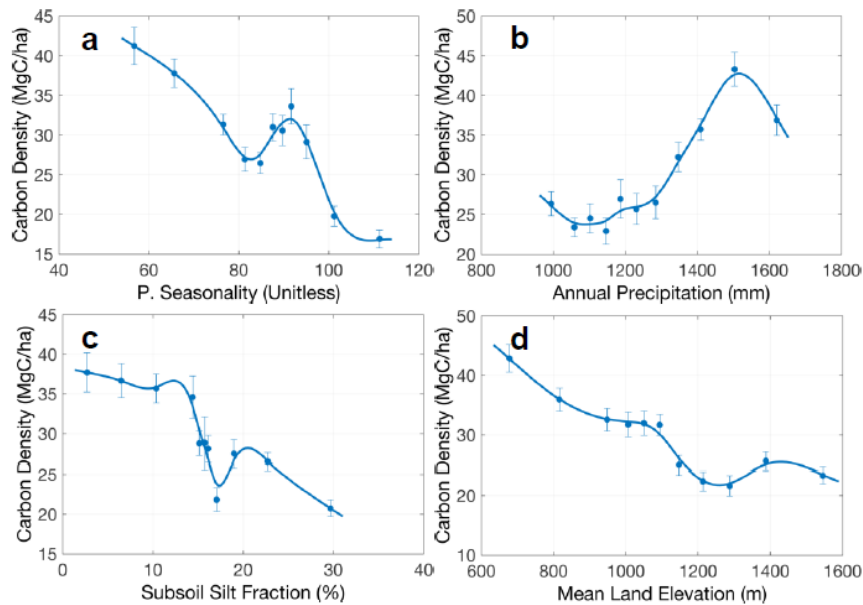


Figure 9 : Certaines relations moyennes entre la densité de carbone et les variables environnementales dans les terres boisées de Miombo en RDC semblable à la figure 7. Les graphiques présentent une densité de carbone par rapport à : (a) la saisonnalité des précipitations, (b) les précipitations annuelles, (c) la fraction de silos du sous-sol et (d) l'élévation moyenne.

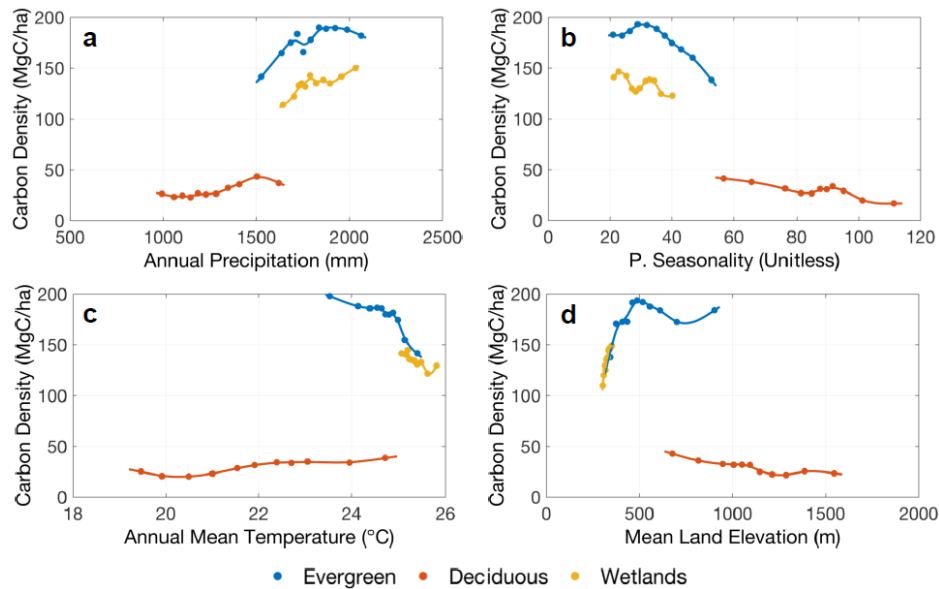


Figure 10 : Les relations moyennes entre la densité de carbone et les variables environnementales pour trois principaux types de forêts en RDC. Les graphiques présentent une densité de carbone par rapport à (a) les précipitations annuelles, (b) la saisonnalité des précipitations, (c) la température moyenne annuelle, et (d) l'altitude moyenne. Les graphiques montrent les relations entre les valeurs moyennes dans chaque intervalle des variables environnementales.

Tableau 1 : Statistiques sur la biomasse et le carbone pour chaque province de la RDC. Les deux FA (ZF1 et ZF2; ZF signifie "Zone Forestière") sont des valeurs calculées à partir de : (1) la carte MCH dérivée de LiDAR, et (2) la carte de couvert forestier de l'OSFAC. Les pixels de la forêt pour les calculs de l'AGB et de carbone sont déterminés par la définition de ZF1.

Province	ZF1 (Mha)	ZF2 (Mha)	AGB Moyen (t/ha)	Carbon Moyen (t/ha)	Total AGB (Gt)	Total Carbon (Gt)
Bas-Uele	13.56	12.36	268.93±12.29	162.50±11.11	3.645±0.168	2.203±0.152
Equateur	9.61	9.37	246.09±12.57	148.85±11.05	2.366±0.122	1.431±0.107
Haut-Katanga	6.2	8.22	60.06±8.19	35.48±5.25	0.372±0.052	0.220±0.033
Haut-Lomami	4.22	3.84	80.70±9.89	48.04±6.30	0.340±0.042	0.202±0.027
Haut-Uele	7.45	6.52	173.01±10.70	104.22±8.49	1.289±0.080	0.777±0.064
Ituri	4.68	4.56	312.41±16.00	188.92±13.24	1.461±0.075	0.883±0.062
Kasai	7.18	6.27	249.40±12.17	150.67±10.74	1.792±0.088	1.082±0.078
Kasai Central	3.75	2.86	182.47±11.76	109.95±8.79	0.684±0.045	0.412±0.033
Kasai Oriental	0.12	0.08	83.66±11.71	49.99±7.41	0.010±0.001	0.006±0.001
Kinshasa	0.2	0.08	67.87±10.30	40.45±6.32	0.013±0.002	0.008±0.001
Kongo Central	2.3	0.76	76.49±9.62	45.61±6.10	0.176±0.022	0.105±0.014
Kwango	4.6	3.65	114.68±10.76	68.68±7.25	0.528±0.050	0.316±0.034
Kwilu	3.46	2.59	112.22±9.91	67.39±6.87	0.389±0.035	0.233±0.024
Lomami	1.26	0.86	119.74±10.63	71.85±7.26	0.151±0.014	0.091±0.009

Lualaba	6.93	6.63	89.39±10.04	53.21±6.63	0.619±0.071	0.369±0.047
Mai-Ndombe	10.06	9.42	237.93±12.40	143.85±10.71	2.393±0.126	1.447±0.109
Maniema	10.4	9.75	285.01±12.65	172.29±11.65	2.963±0.133	1.791±0.122
Mongala	5.39	4.97	261.53±13.02	158.10±11.25	1.410±0.071	0.852±0.061
Nord-Kivu	4.71	4.37	253.54±13.59	153.22±11.34	1.194±0.064	0.722±0.054
Nord-Ubangi	3.85	3.37	275.37±14.51	166.45±11.90	1.060±0.056	0.641±0.046
Sankuru	9.31	8.88	310.00±13.83	187.46±12.60	2.885±0.130	1.744±0.118
Sud-Kivu	4.51	4.30	251.25±14.76	151.83±11.60	1.134±0.067	0.685±0.053
Sud-Ubangi	3.85	3.40	212.64±12.83	128.43±10.12	0.819±0.050	0.495±0.039
Tanganyika	6.04	6.77	76.67±8.89	45.60±5.84	0.463±0.054	0.276±0.036
Tshopo	19.82	19.40	323.55±12.99	195.74±12.72	6.413±0.259	3.879±0.254
Tshuapa	13.26	13.11	306.14±13.15	185.21±12.45	4.058±0.176	2.455±0.166
All	166.58	156.26	231.67±9.09	139.90±9.43	38.592±1.529	23.304±1.587

Références

1. Hansen, E. H. *et al.* Relative Efficiency of ALS and InSAR for Biomass Estimation in a Tanzanian Rainforest. *Remote Sens.* **7**, 9865–9885 (2015).
2. Næsset, E. *et al.* Mapping and estimating forest area and aboveground biomass in miombo woodlands in Tanzania using data from airborne laser scanning, TanDEM-X, RapidEye, and global forest maps: A comparison of estimated precision. *Remote Sens. Environ.* **175**, 282–300 (2016).
3. Chen, Q., McRoberts, R. E., Wang, C. & Radtke, P. J. Forest aboveground biomass mapping and estimation across multiple spatial scales using model-based inference. *Remote Sens. Environ.* **184**, 350–360 (2016).
4. Saatchi, S. S. *et al.* Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **108**, 9899 (2011).
5. Peter Tittmann, Sassan Saatchi & Benktesh Sharma. VCS: Tool for measuring aboveground live forest biomass using remote sensing. (2015). doi:10.13140/RG.2.1.2351.8567
6. Zolkos, S. G., Goetz, S. J. & Dubayah, R. A meta-analysis of terrestrial aboveground biomass estimation using lidar remote sensing. *Remote Sens. Environ.* **128**, 289–298 (2013).
7. Xu, L. *et al.* Satellite observation of tropical forest seasonality: spatial patterns of carbon exchange in Amazonia. *Environ. Res. Lett.* **10**, 084005 (2015).
8. Réjou-Méchain, M. *et al.* Local spatial structure of forest biomass and its consequences for remote sensing of carbon stocks. *Biogeosciences* **11**, 6827–6840 (2014).
9. Saarela, S. *et al.* Hierarchical model-based inference for forest inventory utilizing three sources of information. *Ann. For. Sci.* **73**, 895–910 (2016).

10. Ståhl, G. *et al.* Use of models in large-area forest surveys: comparing model-assisted, model-based and hybrid estimation. *For. Ecosyst.* **3**, 5 (2016).
11. Potapov, P. V. *et al.* Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000–2010, with Landsat ETM + data. *Remote Sens. Environ.* **122**, 106–116 (2012).
12. Mascaro, J. *et al.* A Tale of Two “Forests”: Random Forest Machine Learning Aids Tropical Forest Carbon Mapping. *PLoS ONE* **9**, e85993 (2014).
13. Ståhl, G. *et al.* Model-based inference for biomass estimation in a LiDAR sample survey in Hedmark County, Norway This article is one of a selection of papers from Extending Forest Inventory and Monitoring over Space and Time. *Can. J. For. Res.* **41**, 96–107 (2010).
14. Neigh, C. S. R. *et al.* Taking stock of circumboreal forest carbon with ground measurements, airborne and spaceborne LiDAR. *Remote Sens. Environ.* **137**, 274–287 (2013).
15. Xu, L., Saatchi, S. S., Yang, Y., Yu, Y. & White, L. Performance of non-parametric algorithms for spatial mapping of tropical forest structure. *Carbon Balance Manag.* **11**, 18 (2016).
16. Pachauri, R. K. *et al.* *Climate change 2014: synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* (IPCC, 2014).
17. Mokany, K., Raison, R. J. & Prokushkin, A. S. Critical analysis of root : shoot ratios in terrestrial biomes. *Glob. Change Biol.* **12**, 84–96 (2006).
18. Longo, M. *et al.* Aboveground biomass variability across intact and degraded forests in the Brazilian Amazon. *Glob. Biogeochem. Cycles* **30**, 2016GB005465 (2016).
19. Choi, S. *et al.* Application of the metabolic scaling theory and water–energy balance equation to model large-scale patterns of maximum forest canopy height. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **25**, 1428–1442 (2016).
20. Espírito-Santo, F. D. B. *et al.* Size and frequency of natural forest disturbances and the Amazon forest carbon balance. *Nat. Commun.* **5**, (2014).
21. Yang, Y. *et al.* Abiotic Controls on Macroscale Variations of Humid Tropical Forest Height. *Remote Sens.* **8**, 494 (2016).
22. Pan, Y. *et al.* A Large and Persistent Carbon Sink in the World’s Forests. *Science* **333**, 988–993 (2011).
23. Saatchi, S. *et al.* Seeing the forest beyond the trees. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **24**, 606–610 (2015).
24. Lewis, S. L. *et al.* Above-ground biomass and structure of 260 African tropical forests. *Phil Trans R Soc B* **368**, 20120295 (2013).

25. Feldpausch, T. R. *et al.* Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeosciences* **9**, 3381–3403 (2012).
26. Steege, H. ter *et al.* Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora. *Science* **342**, 1243092 (2013).
27. Chave, J. *et al.* Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Glob. Change Biol.* **20**, 3177–3190 (2014).

Annexe 8 - Méthodologie de production de la carte de stratification nationale

Cette annexe énumère sommairement les étapes méthodologiques d'établissement de la carte nationale de stratification de la République Démocratique du Congo (RDC) et le plan d'amélioration de la stratification.

A. Étapes méthodologiques

La carte de stratification nationale de la RDC a été construite selon l'approche méthodologique développée par le projet JICA-DIAF/Forêt (JICA-DIAF/Forêt, 2014). Elle comprend trois étapes majeures (figure 1) : (1) la préparation des données (sélection et téléchargement des scènes d'images satellites Landsat « 30 de résolution spatiale » et la compilation des bandes « layer stack ») ; (2) les traitements (la segmentation et la classification supervisée / « proche voisin ») et enfin (3) l'analyse et amélioration des résultats (l'examen des classifications des scènes, production de la mosaïque des scènes des résultats, l'exportation de résultat dans ArcMap pour la correction des objets mals codifiés, l'interprétation visuelle, la production de la mosaïque de la carte finale, la vérification sur terrain et l'analyse de précision).

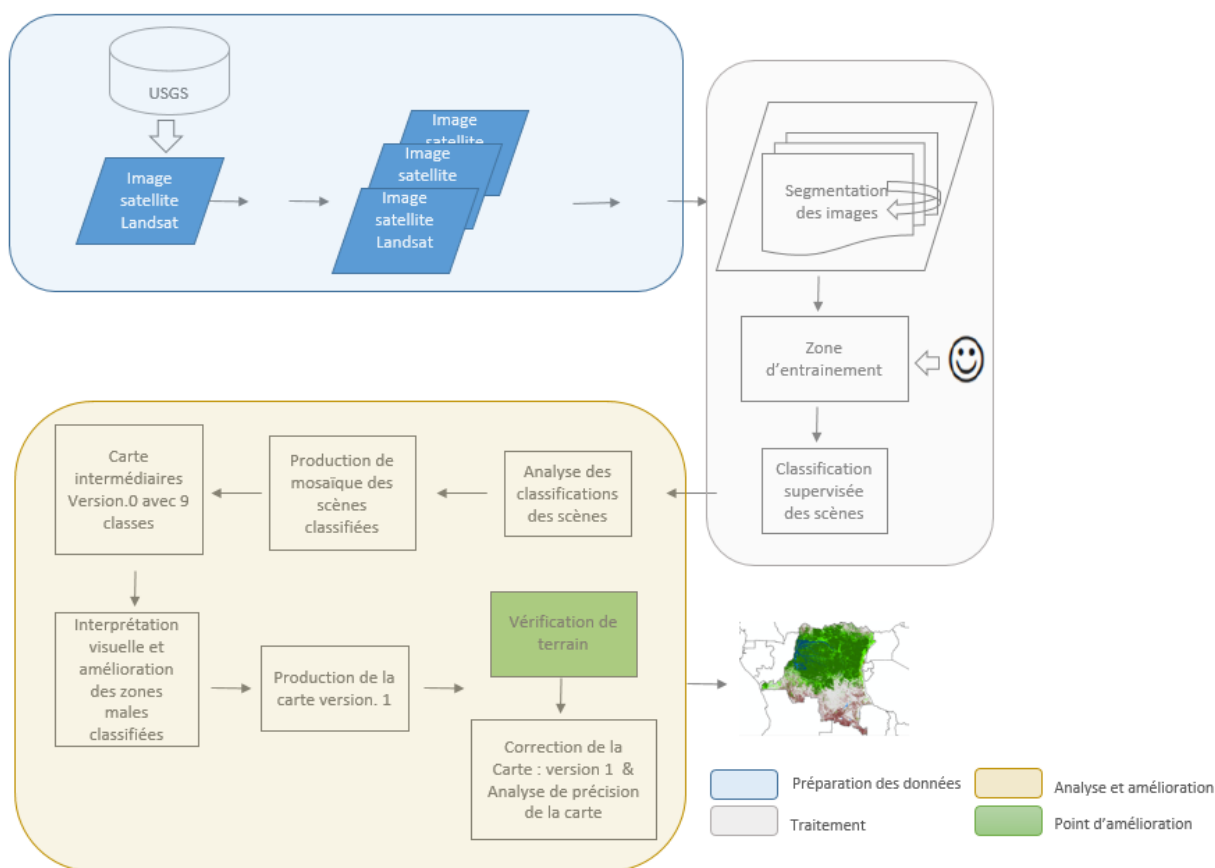


Figure 1 : approche méthodologique d'établissement de la carte de stratification nationale du SNSF

B. Point d'amélioration

La vérification terrain d'occupation du sol n'ayant pas été réalisée au courant des activités de production de la carte, elle a été identifiée comme l'unique point d'amélioration de la carte de stratification nationale. Ainsi sa réalisation permettra de disposer des informations nécessaires à l'amélioration de la qualité du produit établi.

Annexe 9 - Méthodologie du Pré-Inventaire Forestier National

Cette annexe présente de manière détaillée la méthodologie mis en œuvre pour conduire le pré inventaire forestier national.

Définition de la forêt

La définition de forêt en RDC a été établie le 17 octobre 2008, dans le cadre du Mécanisme de Développement Propre (MDP), après un travail de concertation avec les acteurs concernés (opérateurs privés, communautés locales, ONG, entités publiques, etc.) La forêt est définie comme : «un terrain occupant une superficie minimale de 0,5 hectare avec des arbres atteignant une hauteur supérieure ou égale à 3 mètres et un couvert arboré minimal de 30 % » (Arrêté Ministériel n°5094/CAB/MIN/ECN-T/JEB/08 du 22 octobre 2008). Cette définition est celle utilisée actuellement dans le processus REDD+.

Stratification forestière

Les systèmes de classification de la végétation en RDC sont nombreux et fondés le plus souvent sur des connaissances relatives au milieu et adaptés aux conditions particulières de terrains.

Les critères les plus couramment utilisés sont la physionomie et la structure de la végétation (forêt dense ou claire), l'écologie (forêt marécageuse ou sur terre ferme) et le stade de développement (forêt primaire ou forêt secondaire).

Classification UCL : La réalisation de la carte d'occupation du sol de la RDC a été réalisée en différentes étapes, à savoir : le prétraitement des images satellitaires (SPOT VEGETATION), la classification des images et l'édition cartographique à l'échelle 1 :3 000 000. Ensuite, une description détaillée de chaque classe d'occupation du sol, leur distribution spatiale et leur comportement phénologique ont été faites d'après le système de classification. Ainsi, la conception du pré-IFN se base sur cette stratification, présentée dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Classification UCL

Code	Strate	Code	Strate
1	Forêt dense humide	11	Savane herbeuse
2	Forêt de transition	12	Prairie aquatique
3	Forêt de montagne	13	Prairie marécageuse
4	Forêt dense sur sol hydromorphe	14	Zone à faible couvert végétal
5	Mangrove	15	Mosaïque terre cultivées / végétation (herbacée ou arbustive)
6	Mosaïque forêt - savane	16	Agriculture
7	Complexe rural - surface forestière	17	Agriculture irriguée

Code	Strate	Code	Strate
8	Forêt sèche claire et/ou forêt sèche dense	18	Zones sans couvert végétal
9	Savane boisée et/ou savane arborée	19	Villes
10	Savane arbustive	20	Eau

Classification DIAF35 : La stratification du territoire utilisée par la DIAF prend exclusivement en considération les strates forestières et s'inspire donc de la stratification dite de «Yangambi». Elle est essentiellement physionomique et structurelle et donne des indications d'ordre écologique dans une moindre mesure. Elle constitue un outil de travail indispensable pour la confection des cartes forestières. De ce fait, les strates ainsi que les peuplements forestiers qui y sont décrits doivent nécessairement être identifiables sur les photographies aériennes ou les images satellites à partir desquelles les cartes ont été réalisées. La classification DIAF cible donc les seules strates forestières. Les éléments qui sont considérés dans cette classification sont les suivants : le milieu, le stade de développement, le tempérament de la forêt, le comportement du feuillage, le caractère géographique, les associations d'essences dominantes, la densité du peuplement, la hauteur, la catégorie de terrain, les origines et les perturbations. La classification prévoit 6 différents niveaux, le 6ème niveau étant normalement facultatif. Le tableau suivant présente la classification de la DIAF.

Tableau 2 : Classification DIAF

1	2	3	4	5	6	Symbole											
Terrains Forestiers Productifs	Forêt secondaire	Jeune	Régénération sur culture abandonnée			SJ											
						RCA (SJ)											
		Adulte			à Terminalia	SA											
					à Uapaca	SA (t)											
					à Xylopia	SA (u)											
	Forêt primaire					SA (x)											
						Claire	DC										
						De basse moyenne altitude :	et Dense humide	Semi-décidue	Semi-caducifoliée hétérogène à Gossweilerodendron balsamiferum	DHC (g)							
									À Gilbertiodendron Dewevrei	DHC (k)							
									Sempervirente à Brachystegia	DHS(b)							
											Dense sèche	DS					
											Dense humide	DHM					
											De montagne :	Dense sèche	DSM				
												Bambou	BAM				
											Marécageuse						FM
																De petit tributaire	FM1
																Inondée périodiquement	FM2
						Mangrove						Inondée en permanence	FM3				
													MAG				

Tableau 3: Description des différentes classes

N°	Strates	Description	Surfaces calculées (km ²)
1	Forêt dense humide	Grands arbres à feuilles larges persistantes avec des grands arbustes sous étage fermé/grands arbres à feuilles larges semi-décidues	1 018 005
2	Forêt de transition	Fermée à plus de 65%, forêt semi- décidue (H> 14 m), altitude 1100 à 1750m	32 776
3	Forêt de Montagne	Fermée à plus de 65%, forêt semi-décidue (H> 14m), altitude > 1750m	9 277
4	Forêt dense sur sol hydromorphe	Grands arbres semi-décidus sur terrains temporairement ou en permanence inondés	84 922
5	Mangrove	Fermée à plus de 40 %, sur terrain inondé par l'eau salée	2
6	Mosaïque forêt-savane	Mosaïque fermée à 65% d'arbres semi décidus (H >14 m)	69 502
7	Complexe rural-surface forestière	Zones cultivées/Forêts semi-décidues partiellement fermées	214 396
8	Forêt sèche claire et / ou forêt sèche dense	Forêt décidues à grands arbres	239 257
9	Savane boisée et/savane arborée	Savane forestière à arbres décidus avec un couvert herbacé important	370 601
10	Savane arbustive	Savanes décidues à canopée peu fermée (entre 10 et 40%) et couvert herbacé dense	67 222
11	Savane herbeuse	végétation herbacée dense avec quelques arbres	44 023
12	Prairie aquatique	Végétation herbacée denses en milieu temporairement inondé	734
13	Prairie marécageuse	Végétation herbacée dense sur sol gorgé d'eau	7 009
14	Zone à faible couvert végétal	Arbres, arbustes, herbacées dispersés	21

15	Mosaïque terres cultivées / végétation (herbacée ou arbustive)	Zones terrestres cultivées ou exploitées en mosaïque avec des zones arbustives ou herbacées plus au moins fermées	129 465
16	Agriculture	Cultures herbacées arrosées d'eau pluviales	NA
17	Agriculture irriguée	Zones agricoles irriguées sur plus de 70% de l'eau de surface	1
18	Zones sans couvert végétal	Surfaces nues	408
19	Villes	Zones urbaines à plus de 50%	424
20	Eau	Milieus aquifères naturels ou artificiels	39 602
Total			2 327 655

Variabilité

Le pré-inventaire a fourni une importante base d'information disponible pour quantifier la variabilité dans les différentes strates identifiées pour les variables collectées. Étant donné son étendu, le pré-IFN donne surtout des informations sur les différentes structures forestières et sur l'état de perturbation causées par l'homme. Une base de ce type permettra de déterminer les taux de sondage par strate quand la RDC prendra la décision d'effectuer un IFN.

Échantillonnage

Les sites à inventorier ont été sélectionnés selon une procédure d'échantillonnage aléatoire stratifié. Cette procédure consiste à diviser la population en différentes sous-populations appelées strates, constituées d'éléments homogènes, et de sélectionner des échantillons aléatoires indépendants dans chaque strate. Les strates ont été définies sur la base de la carte d'occupation du sol développée par l'Université catholique de Louvain (UCL).

Le nombre de sites à inventorier dans chaque strate est étroitement lié au budget et au délai de réalisation des travaux. Ainsi, le nombre total de sites à inventorier à l'échelle nationale pour le pré-inventaire a été fixé à 65. Il est important de mentionner que la distribution de ces sites a tenu compte des différentes strates forestières de façon à approcher le plus finement possible la variabilité des strates présentant de forts enjeux. Ces enjeux sont liés à la superficie occupée par la strate sur le territoire national et à la pression de déforestation au sein de ces strates, ceci pour obtenir des taux de sondage minimum et donc optimiser le budget de l'IFN tout en apportant la précision pour les évaluations de carbone des activités de la REDD+ (déboisement, dégradation).

Le choix de nombre de sites à inventorier dans chaque strate a été effectué sur la base de:

L'importance relative des différentes strates forestières sur la base de la stratification UCL ;

L'importance de la déforestation au sein de ces strates ;

La situation relative des sites par rapport aux forêts considérées comme intactes ;

Les paramètres logistiques (facilité d'accès aux sites, etc.).

En plus des 65 sites présélectionnés, 60 sites supplémentaires ont été identifiés afin de s'assurer de mesurer le nombre de sites nécessaires dans chaque strate en cas d'inaccessibilité des sites pré sélectionnés.

Tableau 4: Distribution des sites selon la stratification forestière de l'UCL

Strate	Répartition des sites	Sites mesurés
Forêt dense humide	20	20
Mosaïque forêt - savane	5	4
Complexe rural – surface forestière	20	17
Savane boisée et /ou savane arborée	10	3
Forêt sèche claire et/ou forêt sèche dense	10	5
TOTAL	65	49

Parmi les 65 sites réalisés, 16 ont été choisis parmi les sites supplémentaires à cause de l'inaccessibilité mais en essayant de respecter la répartition des sites par strate.

Sur le terrain, les agents ont classé la forêt en utilisant soit la méthodologie UCL (pour valider la pré-stratification) soit la classification historique de DIAF (basée sur la stratification Yangambi et beaucoup plus orientée vers l'écologie).

Description des placettes

Le choix de la forme des placettes a été fait pour optimiser la collecte des données sur le terrain en fonction de la pré-stratification³⁶. La forme carrée a été jugée appropriée pour la forêt dense humide car l'installation de parcelles carrées est plus aisée dans de telles forêts et que cette forme permet de relier chaque site avec les images satellitaires, également de forme carrée. Dans tous les autres types de forêt,

³⁶ Voir la « Méthodologie pour le Pré-- Inventaire dans le cadre d'un Inventaire Forestier National en République Démocratique du Congo (Nov. 2012)»

moins homogènes, un cluster de dix placettes circulaires a été jugé plus approprié afin de mieux capter la variabilité des types forestiers (ex. mosaïque forêt/savane ou forêt/agriculture).

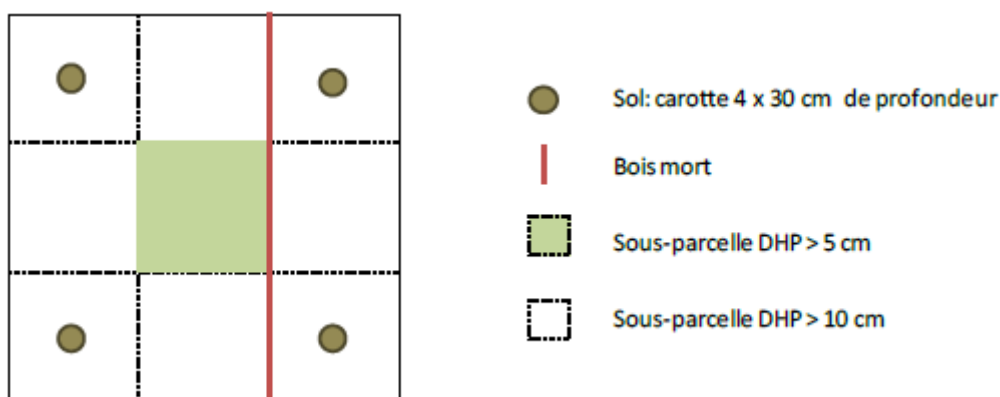


Figure 2 : Description détaillée des parcelles

Une forme carrée de 60 m x 60 m, d'une superficie de 0.36 ha a été choisie pour les strates de forêt majoritaire, subdivisée en sous carré tous les 20 m afin de ne pas oublier des arbres et de faciliter les opérations au sol, la localisation relative et donc une éventuelle remesure à intervalle régulier (dans le cas de placettes de suivi).

Ce format de placette permet de faire le lien entre la localisation de la placette au sol et les images satellites. En effet, les dispositifs alternatifs de placettes d'inventaire (placettes en ligne habituellement utilisées pour les inventaires d'aménagement en RDC) ne permettent pas une bonne corrélation avec les images satellites. Cette corrélation est nécessaire pour maximiser l'utilisation des données collectées en inventaire et notamment pour faire le lien avec les strates forestières discriminées sur la base d'images satellites.

Sur les placettes carrées, l'ouverture systématique des layons de bordure ($4 \times 60 \text{ m} = 240 \text{ m}$) et des layons internes ($4 \times 60 \text{ m} = 240 \text{ m}$) permet de matérialiser et dénombrer des sous-placettes carrées de $20 \times 20 \text{ m}$ soit 0.04 ha. Le comptage a lieu :

Dans la sous-placette $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ au centre de la parcelle ; tous les diamètres des ligneux de plus de 5 cm de DHP sont mesurés ;

Sur l'ensemble de la surface, tous les arbres de plus de 10 cm DHP ont leur diamètre mesuré et sont identifiés ;

Sur l'ensemble de la surface, au moins 5 arbres par classe de 10 cm de diamètre (à partir de 10 cm) ont leur hauteur totale mesurée ;

Les arbres morts ont également relevés et classés ;

Quatre relevés de sol sont faits via le prélèvement d'un cylindre de sol de 7 cm de diamètre et 7,5 cm de hauteur sur 30 cm de profondeur. Le sol recueilli est mis dans un unique sac plastique sur lequel sont

indiquées les informations de la parcelle. Ces échantillons sont analysés dans des laboratoires en RDC (Universités et institutions) pour déterminer leur teneur en carbone ;

Sur le 3ème sous-layon nord-sud sont comptés les arbres morts au sol dont le tronc croise le passage. Le diamètre sur le layon et la longueur totale sont mesurés ;

La litière n'est pas prise en compte lors du pré-inventaire car sa variabilité saisonnière ne pourra être appréciée. De plus, sa variabilité spatiale est relativement faible.

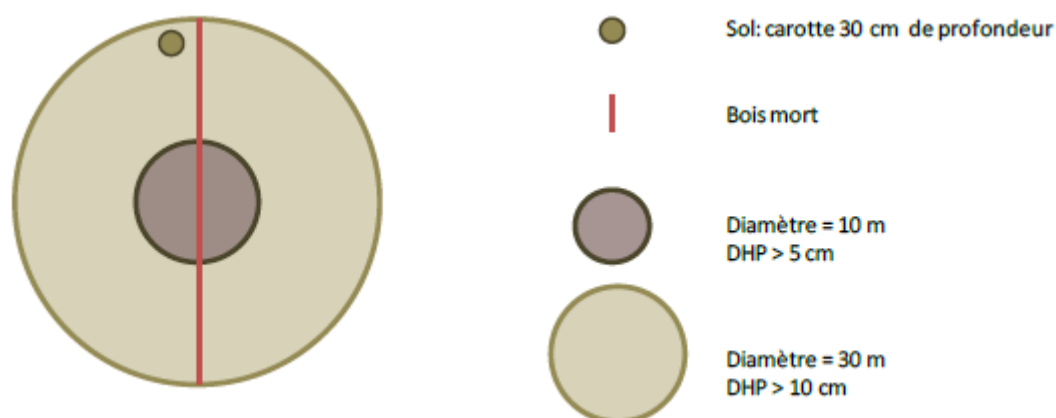


Figure 3 : Description d'une placette circulaire

Afin de mieux comprendre la variabilité dans les zones et le mélange au sein de strates de forêts et de terres ne répondant pas à la définition de la forêt, un inventaire par agrégat de 10 placettes circulaires de 30 m de diamètre a été mis en place. Chacune des placettes de l'agrégat se répartit le long de 2 axes perpendiculaires à un intervalle de 250 m les unes des autres (de centre à centre). Chacune des 10 placettes est circulaire et a un diamètre de 30 m. Cette choix permet d'évaluer la proportion de la strate sondée répondant à la définition de forêt telle que définie par le pays et d'avoir une évaluation de la biomasse dans les placettes définies comme forêt. L'agrégation des placettes d'inventaire permet aussi de réduire les coûts de déplacement des équipes d'inventaires.

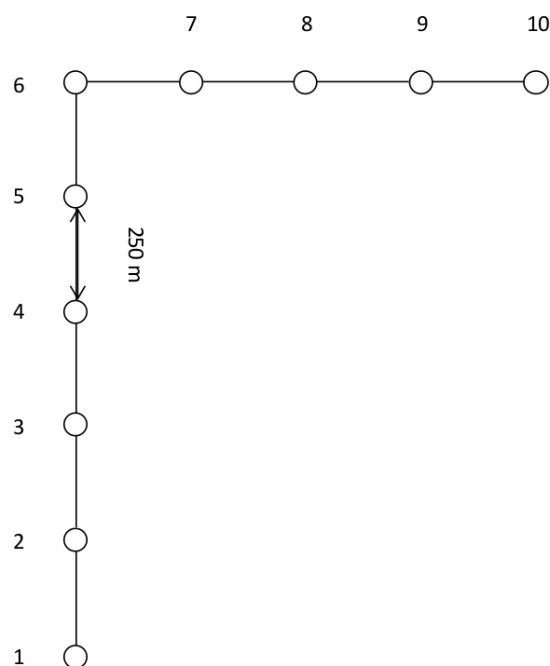


Figure 4 : Description de l'agrégat de placettes circulaires

Chacune des placettes circulaires a été inventoriée de la façon suivante :

Chacune des placettes circulaires est considérée comme une placette individuelle ;

Si la placette ne se trouve pas majoritairement dans la strate prévue, elle sera néanmoins mesurée et décrite selon la description des strates forestières ;

Chaque placette est subdivisée en sous placettes concentriques (voir Figure 2) ;

Des relevés de sols sont faits dans le coin nord des placettes 2, 4, 6 et 8 et mis dans des sacs différents ;

Les bois morts au sol sont mesurés selon des axes diamétriques dans le prolongement des rayons d'accès au sein des placettes 1, 3, 5 et 7 (voir Figure 3) ;

Le positionnement précis de la placette est effectué à l'aide d'un GPS au centre de chacune des placettes.

Informations collectées

Le pré-IFN permet la collecte de plusieurs informations comme l'utilisation et l'état des ressources forestières, le potentiel ligneux, la biomasse forestière, la biodiversité forestière, etc. Les paramètres suivants ont notamment été pris en compte :

Nom des espèces : Tous les arbres mesurés sont identifiés par un botaniste en précisant le genre, espèce, famille et nom vernaculaire ou commercial si possible. Pour les arbres non identifiés, les échantillons sont prélevés pour être identifiés au bureau. Pendant la reconnaissance, chaque arbre est dénombré à l'aide d'une craie forestière.

Diamètre à Hauteur de Poitrine (DHP) : Tous les arbres debout (morts ou vivants) sont mesurés à 1,30 mètre du sol avec un ruban diamétrique. Au cas où le ruban diamétrique n'est pas disponible, les mesures sont prises par un ruban circonférentiel devant être par la suite converti en diamètre. Dans le cas de contreforts, les diamètres sont mesurés à l'aide d'une échelle à 50 cm au-dessus de la fin du contrefort. Chaque arbre est correctement nettoyé des éventuelles lianes avant la mesure.

Hauteur : Les hauteurs d'au moins cinq arbres par classe de diamètre (par amplitude de 10 cm) sont mesurées à l'aide du Vertex Laser VL402.

Diamètre des arbres tombés : Les diamètres de tous les arbres croisant le layon situé au nord de la petite parcelle sont mesurés à partir de 10 cm de diamètre à l'aide d'un ruban diamétrique ou circonférentiel.

Sol : Des échantillons de sol sont prélevés en utilisant un carottier.

Faune : Un questionnaire est utilisé pour collecter les informations relatives à la faune sur le site de l'inventaire et le village le plus proche du site.

Données socio-économiques : Un questionnaire est utilisé pour collecter les informations relatives aux aspects socio-économiques dans le village le plus proche du site.

Un certain nombre d'informations complémentaires relatives à l'occupation du sol sont prélevées sur le terrain. Il s'agit notamment de la topographie, la texture du sol, l'érosion ainsi que les traces des activités humaines et la position GPS des villages plus proches aux sites.

Composition des équipes

Chaque équipe est composée de deux agents de la DIAF (un chef d'équipe et un expert) et d'un botaniste (soit indépendant soit recruté dans les universités).

Cette composition varie parfois en fonction de la difficulté estimée pour la réalisation de la collecte sur le site. La composition de base de l'équipe et les responsabilités de chaque membre sont détaillées ci-dessous :

Chef d'équipe : responsable de mission chargé de la coordination de l'unité et de la logistique. C'est aussi le porte-parole du ministère dans le village, en charge de la sensibilisation des communautés locales. Il est également responsable de la sécurisation des données ;

Assistant du chef d'équipe : chargé de remplir la fiche de terrain et de s'assurer que la placette est correctement identifiée. Il doit aussi appuyer le chef pour les aspects logistiques ;

Botaniste : responsable de l'identification correcte des essences sur le terrain. Quand l'espèce n'est pas correctement identifiée sur place, le botaniste collecte un échantillon pour l'analyse en laboratoire. Le

botaniste n'est pas un agent de la DIAF mais est identifié dans les universités des différentes provinces. Le botaniste, en fonction de son origine, appuie aussi la sensibilisation.

La grande partie du personnel travaillant sur le pré-IFN fait partie de la DIAF et a reçu une formation spécifique préalable. Le personnel de la DIAF est responsable de toutes les phases du pré-IFN.

Les 3 membres de chaque équipe sont renforcés par au moins 2 macheteurs et 1 cuisinier. Cette composition a été modifiée en fonction du contexte : en exemple, 1 macheteur et 2 transporteurs supplémentaires sont rajoutés lorsque les campements ne sont pas proches des villages.

Le processus de coordination et de réalisation du pré-IFN est appuyé par la FAO avec la présence de trois consultants basés à la DIAF.

Au total, 43 techniciens de la DIAF ont été directement impliqués dans la mise en œuvre du pré-IFN.

Les équipements

L'équipement a représenté un des aspects stratégiques de la mise en œuvre de l'inventaire. Durant la phase de planification, il a fallu considérer plusieurs aspects :

- 1- La taille du pays qui ne permet pas une livraison du matériel dans toutes les provinces.
- 2- La sécurisation du matériel dans les provinces est possible si seulement des agents forestiers sont sur place.
- 3- Les matériels en vente dans les provinces sont souvent d'une qualité impropre aux conditions du terrain.
- 4- Les équipements doivent être disponibles totalement avant le départ sur le terrain car la plupart du temps, les équipes sont complètement isolés sur le terrain.
- 5- Des équipements spécifiques doivent être importés quand ils n'existent pas en RDC.

Le maniement des équipements doit faire l'objet de différentes formations spécifiques.
