



REPUBLIQUE DU CONGO



NIVEAU D'EMISSIONS DE REFERENCE POUR LES FORETS (NERF) DE LA REPUBLIQUE DU CONGO

DRAFT_1

JANVIER 2024



MINISTRE DE L'ENVIRONNEMENT,
DU DEVELOPPEMENT DURABLE
ET DU BASSIN DU CONGO



Organisation des Nations Unies
pour l'alimentation
et l'agriculture

Table des matières

Liste des Figures	iii
Liste des Tableaux.....	iii
Acronymes et abréviations.....	v
Résumé	x
Introduction	1
I. Rappel du contexte national dans lequel se met en place le NERF.....	3
II. Structuration du NERF de la République du Congo.....	6
II.1. Définition nationale de la forêt en République du Congo.....	6
II.2 Définition nationale de la déforestation.....	6
II.3 Définition nationale de la dégradation.....	6
II.4 Définition des gains	7
II.5 Période de référence du NERF	7
II.6 Échelle du NERF	7
II.7 Portée du NERF	7
II.7.1 Activités à prendre en compte	7
II.7.2 Réservoirs à prendre en compte.....	7
II.7.3 Gaz à prendre en compte	8
III. Approche méthodologique appliquée pour estimer les émissions et absorptions	9
III.1- Méthodologie de production des données d'activités.....	9
III.3 - Facteurs d'émission et autres paramètres	14
III.3.1. Facteurs d'émission de la Déforestation CO ₂	14
III.3.2. Facteurs d'émission de la Dégradation CO ₂	21
III.4 Incertitudes des facteurs d'émission de l'IFN.....	24
III.5 Incertitudes des données d'Activités.....	25
III.6. Equations	26
III.6.1 Equations de la variation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine due à la déforestation.....	27
III.6.2 Equation de la variation annuelle des stocks de carbone dans le bois mort ou la litière due à la déforestation	28

III.6.3 Equation de la variation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine due à la déforestation	29
III.6.4 Equation de quantification d'émissions de Gaz non-CO ₂ dues au feu associé à la déforestation ou à la dégradation forestière	30
III.6.5 Equation variation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine due à la dégradation forestière	31
III.6.6 Equation de la variation annuelle des stocks de carbone dans la matière organique morte ou de la litière due à la dégradation	31
IV. Présentation des résultats.....	33
IV.1 Présentation des résultats des Données d'Activités	33
IV.1.1 Données d'Activités de la Déforestation	33
IV.1.2 Données d'Activités de la Dégradation.....	34
IV.2 Présentation des Résultats des émissions de 2016-2021	35
IV.2.1 Émissions de gaz CO ₂ et non-CO ₂ dues à la déforestation, par réservoir.....	36
IV.2.2 Émissions de gaz CO ₂ et non-CO ₂ dues à la dégradation forestière, par réservoir	37
IV.2.3 Émissions de gaz CO ₂ et non-CO ₂ dues à la déforestation et à la dégradation forestière, par réservoir	38
IV.3 Résultat de l'ajustement des émissions liées à la déforestation et la dégradation forestière pour la période 2022-2026	39
IV.4 Améliorations à partir du premier NERF	40
IV.5 Domaines pour améliorations futures.....	40
Conclusion	42
Références Bibliographiques	43
Annexes.....	47

Liste des Figures

Figure 1 : Carte d'occupation du sol.....	4
Figure 2 : Carte de la Répartition géographique des 2815 échantillons interprétés.....	11
Figure 3 : Formulaire et différentes images intégrées dans le système de réponse de Collect Earth on Line (CEO)	13

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Synthèse de la portée du NERF en termes d'activités, gaz et réservoirs.	8
Tableau 2 : Stratification des classes nationales.....	12
Tableau 3 : Facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans la biomasse vivante aérienne et souterraine due à la déforestation	14
Tableau 4 : Biomasse aérienne et biomasse souterraine des terres forestières par strate selon l'inventaire forestier de 2009-2014	16
Tableau 5 : Facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans la matière organique morte (DOM) due à la déforestation	17
Tableau 6 : Stock de carbone moyen dans le réservoir du bois mort (Co) des terres forestières.....	18
Tableau 7 : Facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans les sols minéraux due à la déforestation	19
Tableau 8 : Facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation des émissions des gaz non-CO ₂ due aux feux de forêts associés à la déforestation	20
Tableau 9 : Facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans la biomasse vivante aérienne et souterraine due à la dégradation forestière	21
Tableau 10 : Facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans la matière organique morte due à la dégradation forestière	22
Tableau 11 : facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation des émissions des gaz non-CO ₂ due aux feux associés à la dégradation forestière	23
Tableau 12 : Nombre de points de conversion des terres forestières en terres non-forestières détectés à travers l'analyse visuel des images satellitaires ...	33

Tableau 13 : Nombre de points de dégradation des terres forestières détectés à travers l'analyse visuelle des images satellitaires et nombre de points pour lesquels le feu a été identifié comme partie du processus de dégradation	34
Tableau 14 : Synthèse des résultats des émissions historiques 2016 - 2021	35
Tableau 15 : Synthèse des résultats des émissions historiques et ajustées .	36
Tableau 16 : Émissions de gaz CO ₂ et non-CO ₂ due à la déforestation, par réservoir.....	37
Tableau n°17 : Émissions de gaz CO ₂ et non-CO ₂ dues à la dégradation forestière, par réservoir.....	38
Tableau 18 : Émissions de gaz CO ₂ et non-CO ₂ due à la déforestation et à la dégradation forestière, par réservoir	38
Tableau 19 : Stocks de Carbone forestier disponible en 2022	389

Acronymes et abréviations

AFAT	: Agriculture Forêt et Autres Utilisations de Terres
CAFI	: Initiative des Forêts d’Afrique Centrale
CDN	: Contribution Déterminée Nationale
CCNUCC	: Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CNIAF	: Centre National d'Inventaire et d'Aménagement des Ressources Forestière et Fauniques
CNSE	: Centre National de la Statistique et des Études Économiques
CN-REDD	: Coordination Nationale REDD
COP/CP	: Conférence Of Parties (Conférence des Parties)
CPDN	: Contribution Prévues Déterminées au niveau National
eSBAE	: Ensemble Sample-Based Area Estimation
ERPD	: Document de Programme de Réduction des Emissions (Fonds Carbone)
ER-PIN	: <i>Emission Reduction Programme Idea Note</i>
FCPF	: Fonds de Partenariat pour le Carbone Forestier
FRA	: Évaluation des ressources forestières mondiales
FVC	: Fond Vert Climat
FSC	: <i>Forest Stewardship Council</i>
GES	: Gaz à Effet de Serre
GIEC	: Groupe Inter-gouvernemental sur l’Evolution du Climat
GFC	: <i>Global Forest Change</i>
GFOI	: Initiative Globale pour l’Observation des Forêts
Ha	: Hectare
HFLD	: <i>High Forest Cover Low Deforestation</i> (Couverture forestière élevé et faible taux de Déforestation)
IFN	: Inventaire Forestier National
MNV	: Mesure, Notification et Vérification
NERF	: Niveau des Emissions de Référence des Forêts
NRF	: Niveau de Référence des Forêts
PIB	: Produit intérieur brut
PND	: Plan national de développement
RDC	: République Démocratique du Congo
PNUE	: Programme des Nations Unies pour l’Environnement
RGPH	: Recensement Général de la Population et de l’Habitation du Congo
REDD+	: Réduction des Emissions liées à la Déforestation et à la dégradation des forêts avec Inclusion de la gestion durable des forêts, de la conservation de la biodiversité et de l’accroissement des stocks de carbone forestier
R-PP	: Plan de Préparation à la REDD+
SPC	: Sous-placette circulaire
SPR	: Sous-placette rectangulaire

SYNA-MNV	: Système National de Monitoring, de Notification et Vérification
SNSF	: Système National de Surveillance des Forêts
SUT	: Sections d'utilisation des terres
UE	: Unité d'échantillonnage
UFA	: Unité Forestière d'Aménagement
UTCAF	: Utilisation des Terres, Changement d'Affectation des Terres et Foresterie
UFE	: Unité Forestière d'Exploitation
UMC	: Unité Minimale de Cartographie
WELD	: <i>World Enabled Landsat Dataset</i>

Personnes de contact au niveau national

Nom et prénoms	Fonctions	Email
Arlette SOUDAN-NONAUT	Ministre de l'Environnement, du Développement Durable et du Bassin du Congo, Autorité Nationale Désignée FVC, Point Focal opérationnel et politique GEF	soudannonaultarlette@gmail.com
Rosalie MATONDO	Ministre de l'Economie Forestière	rosalie_mat@yahoo.fr
Pierre TATY	Directeur de Cabinet MEF	Pierretaty2020@gmail.com
Jean de Dieu NZILA	Secrétariat permanent de la Coordination pour la mise en œuvre de la lettre d'Intention valant accord de partenariat entre la République du Congo et CAFI	jeandedieu.nzila@umng.cg
Carine Saturnine MILANDOU	Directrice p.i du CNIAF	carinesat@yahoo.fr
Dabney MATOKO KOUEDIATOUKA	Coordonnateur National du Projet SYNA-MNV	matokodabney@gmail.com
Amelie ARQUERO	Conseillère technique Principale du Projet SYNA-MNV	amelie.arquero@fao.org
Arnaud KIESSE KIBINZA	Coordonnateur National REDD+	arnaudkiesse@gmail.com
Florantine Mapeine	Ministère de l'Environnement, du Développement Durable et du Bassin du Congo_ Point Focal technique CCNUCC	florantinef2bc@gmail.com
Professeur Averti Suspens IFO	Maître de conférence CAMES, Ecologie Forestière Expert, Quantification des stocks et émissions des GES de forêts	averti.ifosuspens@umng.cg

Représentation de la FAO

Nom et prénoms	Fonctions	Email
Yannick Ariane RASOARIMANANA	Représentante Résidente de la FAO en République du Congo	Yannick.Rasoarimanana@fao.org

Equipe de rédaction

Nom et prénoms	Fonctions	Email
Equipe Nationale		
Carine Saturnine MILANDOU	Directrice du CNIAF	carinesat@yahoo.fr
Dabney MATOKO KOUEDIATOUKA	Coordonnateur National du Projet SYNA-MNV	matokodabney@gmail.com
Jean Blaise Samuel MPONGUI	Chef de Service Cartographie et Photo-Interprétation du CNIAF	Jeanblaise.hugo@gmail.com
Daglish Questron KOMBO	Collaborateur à la Cellule MNV du CNIAF	daglish.kombo2022@gmail.com
Lisa Francine LOUVOUANDOU	Collaboratrice à la Cellule MNV du CNIAF	francinelouv@gmail.com
Tiriël LOKOKA NGOMA	Collaboratrice à la Cellule MNV du CNIAF	lytinalo94@gmail.com
Ersilia BATSA LAHOU	Collaboratrice à la Cellule MNV du CNIAF	ersibat@gmail.com
Jacque GAKOSSO-GALA	Collaboratrice à la Cellule MNV du CNIAF	jacquiegala@gmail.com

Larissa NDANDOU	Collaboratrice à la Cellule MNV du CNIAF	ndandoularissa7@gmail.com
NGASSAKI OKA	Collaborateur à la Cellule Recherche et Développement au CNIAF	oka.ngassaki@gmail.com
Professeur IFO Averti Suspense	Maître de conférences CAMES, Ecologie Forestière, Expert Quantification des stocks et émissions des GES de forêts	averti.ifosuspens@umng.cg
Georges Claver BOUNDZANGA	Conseiller de Direction Générale de la société forestière IFO (secteur privé)	Bouzgegeredd@gmail.com

Equipe de la FAO

Remi D'ANNUNZIO	Officier Forestier – FAO NFO	remi.dannunzio@fao.org
Amelie ARQUERO	Conseillère Technique Principale (CTA) SYNA - MNV – FAO Congo	amelie.arquero@fao.org
Flora MARTINS	Consultante MRV SYNA-MNV – FAO Congo	flora.martins@fao.org
Karel MENGUE ZOLA	Consultant Télédétection SYNA-MNV – FAO Congo	rodann.menguezola@fao.org

Résumé

Le processus REDD+ de la République du Congo, lancé officiellement par le Gouvernement en Janvier 2010, a permis au pays d'élaborer ses outils techniques et stratégiques de la REDD+, et de soumettre en 2016 le premier niveau d'Émissions de Référence des Forêts (NERF), Ceci a placé le Congo comme le premier pays africain à soumettre son NERF à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC).

Cette soumission a permis au pays de bénéficier de financement pour la mise en œuvre de certains projets de réduction des émissions et d'accroissement de stock de carbone, par la Banque Mondiale, le Fond Vert Climat (FVC) et l'Initiative des Forêts d'Afrique Centrale (CAFI).

Ce document présente le Niveau d'Émissions de Référence pour les Forêts (NERF) révisé de la République du Congo pour la REDD+, pour la période de 2016 et 2021, avec une convention de date au 31 décembre.

Ce NERF national comprend les activités de la REDD+ qui occasionnent la déforestation, la dégradation forestière.

Les réservoirs inclus sont la biomasse aérienne, la biomasse souterraine et la biomasse du bois mort, la litière et le carbone organique du sol.

Les gaz inclus sont le **CO₂**, le **CH₄** et le **N₂O**. Les deux derniers, non-CO₂, sont ceux associés aux feux identifiés dans le processus de déforestation et dégradation forestière.

Le NERF révisé, construit sur la base des données historiques et ajustées suivant les circonstances nationales du pays, est estimé à **32 529 037t CO₂ eq/an** réparti comme suit :

- Emissions Historiques : **19.716.935 t CO₂ eq/an soit 61 %**
- Ajustement : **12 812 101t CO₂ eq/an soit 39%**

Le NERF initial de la République du Congo, approuvé par la CCNUCC en 2017 était estimé à **35.475.652 t CO₂ eq/an** réparti comme suit :

- Emissions Historiques : **19.208.572 t CO₂ eq/an soit 54,15%**
- Ajustement : **16.267.080 t CO₂ eq/an soit 45,85%**

La superficie forêt suivant les données de stratification est estimée à **23.527.898** hectares.

Introduction

La République du Congo qui poursuit sans relâche son engagement à faire valoir ses performances dans le cadre du processus REDD+, avait décidé, sur une base volontaire, de présenter son premier Niveau d'Émission de Référence pour les Forêts (NERF) en 2016. Ce qui a fait de la République du Congo, le premier pays africain à soumettre auprès de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) le NERF. Le pays avait ainsi répondu à l'invitation exprimée dans la décision 12/CP.17, paragraphe 13.

Le pays a été à l'avant-garde du plaidoyer pour un programme de réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts dans les pays en développement (REDD+). Ces cinq dernières années, le pays a continué de marquer son engagement dans la préservation des forêts et dans la lutte contre le changement climatique. À cet effet, depuis 2017, le pays dispose d'une stratégie nationale REDD+, et les forêts sont un élément clé de sa première Contribution Déterminée Nationale (CDN de 2017) avec la vision que « le potentiel de séquestration de la forêt est maintenu et renforcé à la fois par une meilleure gestion et le reboisement ». Cet engagement s'est poursuivi en 2018 avec la déclaration de Brazzaville et l'importance reconnue des tourbières dans la lutte contre le changement climatique.

En 2019, la République du Congo et le CAFI ont signé une Lettre d'intention dans laquelle le pays s'engage notamment à maintenir la conversion des forêts en dessous de 20 000 hectares par an. L'accord prévoit notamment, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, en particulier celles du secteur « utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF) » sur la base d'une soumission révisée du niveau d'émission de référence des forêts.

Cette lettre d'intention a permis le financement puis le développement de projets au niveau national, dont le projet d'Opérationnalisation du Système National de Mesure, Notification et Vérification (SYNA-MNV) mis en œuvre par le Centre National D'inventaire et d'aménagement des Ressources Forestières et Fauniques (CNI AF), structure sous tutelle du Ministère de l'Economie Forestière en partenariat avec la FAO et la collaboration du Ministère de l'Environnement, du Développement Durable et du Bassin du Congo.

Le SYNA-MNV a pour ambition de permettre à la République du Congo de mettre à jour l'ensemble de données d'activités qui permettront de quantifier les émissions des Gaz à Effet de Serre (GES) dans le secteur Agriculture, Forêt et Autres Utilisations de Terres (AFAT) et ainsi d'appuyer la mise en œuvre de la Communication Nationale (CN), de la CDN et la publication du rapport biennal, afin de rendre le pays éligible aux paiements basés sur résultats, dans le cadre des différents mécanismes de finance climatique auxquels il peut prétendre.

En mars 2021, le Fond Vert Climat (FVC) a approuvé un projet de mise en œuvre REDD + (29 MUSD), axé sur l'agroforesterie pour l'approvisionnement en bois-énergie dans le sud du pays. En avril de la même année, le Congo a signé avec le Fonds carbone FCPF de la Banque mondiale un accord de paiement pour la réduction des émissions (ERPA) pour une période de 5 ans (2020-2024) : le programme de réduction des émissions Sangha Likouala.

Par conséquent, la soumission révisée du NERF témoigne d'une volonté nationale solide de poursuivre les engagements du pays en faveur du processus REDD+ initié depuis 2008 dont les avancées significatives des outils stratégiques et techniques ont été notifiées dans la Lettre d'Intention. Cette soumission révisée s'inscrit également dans un contexte d'investissement stimulants en faveur de la gestion durable des écosystèmes forestiers et du rôle de la République du Congo dans la lutte contre le changement climatique.

Dans la construction de son ancien NERF et du nouveau NERF révisé, la République du Congo a suivi les lignes directrices fournies par la CCNUCC à travers les décisions prises lors des Conférences des Parties (COP). Il s'agit, notamment des Modalités d'établissement des niveaux d'émission de référence pour les forêts et des niveaux de référence pour les forêts dans la décision 12/CP.17, les directives sur les niveaux d'émission dans l'annexe de la décision 12/CP.17, les « Recommandations en matière de bonnes pratiques pour l'utilisation des terres, les changements d'affectation des terres et la foresterie (GPG-LULUCF) » (GIEC 2003) et « les lignes directrices pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre » (GIEC 2006) et « les lignes directrices pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre » (GIEC 2019). De plus, la République du Congo a suivi les principes directeurs de l'Initiative Globale pour l'Observation des Forêts (GFOI 2013).

I. Rappel du contexte national dans lequel se met en place le NERF

La République du Congo, à cheval sur l'équateur et au cœur du deuxième massif forestier mondial, s'étend sur 342.000 km².

C'est un pays à forte couverture forestière (23, 527 898 millions d'hectares de forêts, représentant 69% du territoire national) et faible taux de déforestation avec seulement 0,10% par an, soit environ 25 886 hectares/an ± 6905 ha/an (CNIAF 2023). La situation du couvert forestier, qui n'est pas uniforme sur l'ensemble du pays, varie en fonction de la densité de la population, de la qualité des infrastructures de transport, de la richesse des forêts, de l'historique de leur exploitation et de l'existence de zones urbaines.

Le pays jouit d'un climat tropical humide et d'un relief généralement peu accidenté. Il est limité :

- Au Nord par la République centrafricaine avec 467 km de frontière ;
- Au Nord-Ouest par le Cameroun, avec 523 km de frontière ;
- A l'Ouest par le Gabon, avec 1903 km de frontière ;
- Au Sud par l'Angola et l'enclave du Cabinda, avec 201 km de frontière ;
- Au Sud-Ouest par l'Océan Atlantique, avec 170 km de frontière ;
- A l'Est par la RDC, avec 2410 km de frontière).

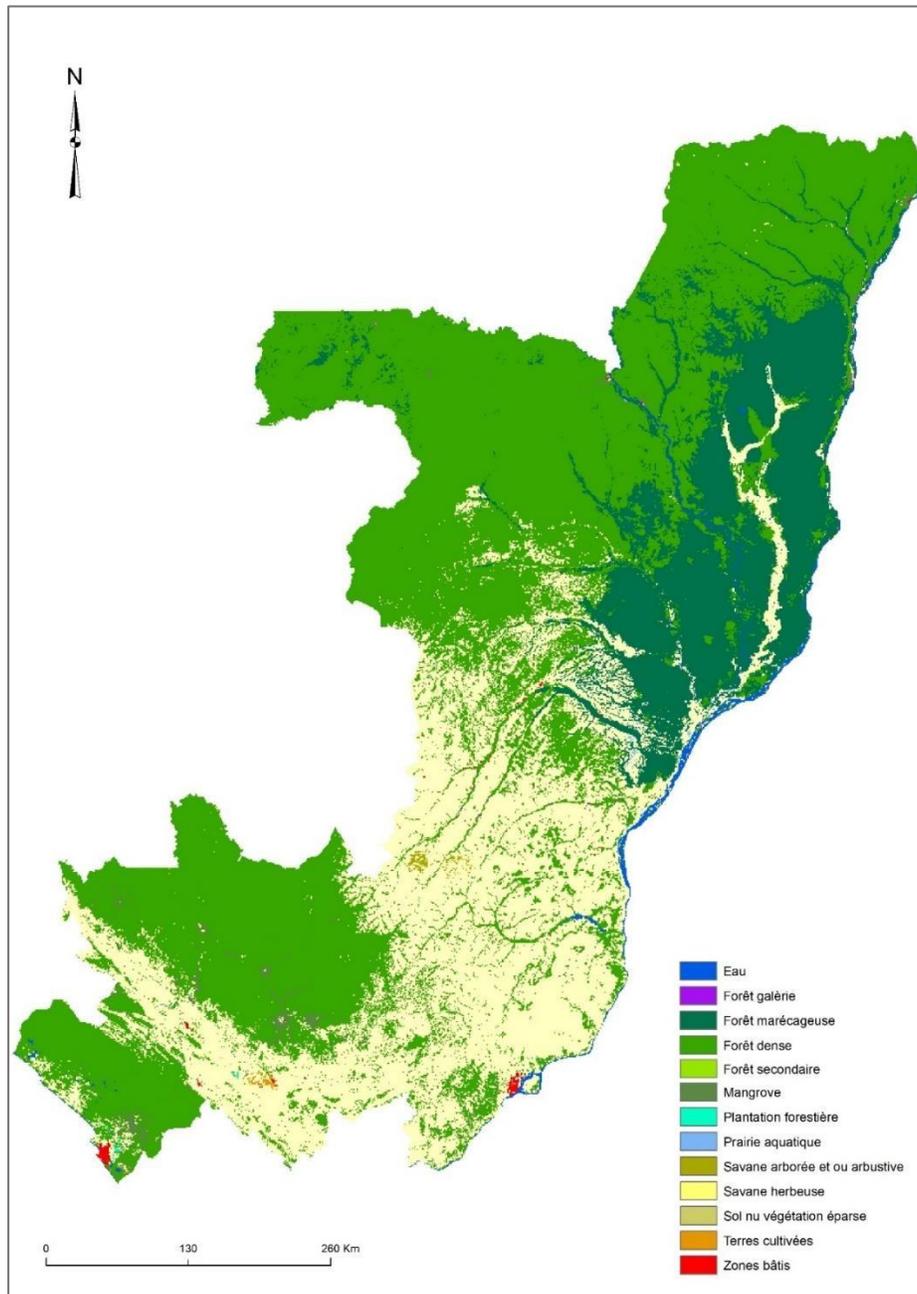


Figure 1 : Carte d'occupation du sol (CNIAF, 2016)

Selon le dernier recensement général de la population et habitat (RGPH) de 2023, la population congolaise est de 6 142 180 millions d'habitants. (RGPH, 2023).

Plus de 60% de la population habitent dans les cinq principales villes (Brazzaville, Pointe-Noire, Dolisie, Nkayi et Ouesso). La plus grande partie de la population dépend toujours des forêts pour ses besoins vitaux (alimentation, énergie, pharmacopée, etc.).

L'économie congolaise est principalement basée sur l'exploitation des ressources naturelles, notamment le pétrole et le bois, qui contribuent à près de 70% du PIB. L'agriculture, qui occupe 40% de la population active, ne contribue encore que pour 5 % au PIB.

Les principales causes directes de la déforestation et de la dégradation des ressources forestières congolaises par ordre d'importance décroissant sont : (i) la pratique non durable de l'agriculture itinérante sur brûlis, (ii) la production et la consommation non durables de bois énergie, (iii) l'exploitation forestière et minière non durable et/ou illégale et (iv) le développement urbain. Ces causes directes sont aggravées par de nombreux facteurs sous-jacents dont, parmi d'autres, l'absence d'une vision commune de l'aménagement du territoire discutée et validée par toutes les parties prenantes, la pauvreté des populations rurales, l'augmentation démographique, l'absence de sources d'énergies alternatives adaptées aux faibles revenus des populations, la production et l'utilisation inefficaces du charbon de bois, les faiblesses de la gouvernance forestière exercée par l'Etat.

Pour pallier à cette déforestation et dégradation des forêts, le Congo s'est investi dans l'aménagement et la certification de ses forêts de telle sorte qu'il est devenu un modèle en la matière. Actuellement, seize (16) concessions forestières¹ couvrant 3 467 379 hectares, sont en cours d'aménagement et vingt-deux (22) d'entre elles, d'une superficie d'environ 8 565 850 millions d'hectares, soit 58% de la superficie totale attribuée à la forêt de production, disposent déjà d'un plan d'aménagement.

L'engagement du pays à la gestion forestière durable, se consolide par un ambitieux programme de certification forestière, avec à ce jour neuf (9), dont 5 concessions forestières certifiées Forest Stewardship Council (FSC), 3 concessions OLB et une concession Legal Source.

¹ Superficie affectée à un concessionnaire pour l'exploitation industrielle du bois

II. Structuration du NERF de la République du Congo

Le Niveau des Emissions de Référence pour les Forêts (NERF), est organisé autour de l'estimation des émissions de la période de référence 2016 - 2021. Il comprend :

- La **définition de la forêt** ;
- La **définition de la déforestation** ;
- La **définition de la dégradation** ;
- La **définition des gains** ;
- La **période de référence** ;
- L'**échelle** ;
- La portée (**activités REDD+, les réservoirs** de carbone et les gaz inclus)

II.1. Définition nationale de la forêt en République du Congo

Dans le cadre du NERF de la République du Congo, la définition à prendre en compte est :

« La forêt est un espace couvrant sur une superficie minimale de 0,5 hectare (0,50 ha), avec des arbres ayant une hauteur minimale de 3 mètres (3 m) et un taux minimal de couverture de houppier de 30% ».

Cette définition a été utilisée dans le NERF précédent et est toujours en vigueur, elle prend en compte les plantations forestières commerciales de type cacao, café ; les vieilles palmeraies et exclut les activités agricoles, notamment les palmeraies en production.

II.2 Définition nationale de la déforestation

La déforestation est un processus de changement d'occupation du sol, qui conduit du passage de forêt à non forêt ; la forêt qui est défini comme toute formation végétale naturelle ou artificielle d'une superficie minimale de 0.5 ha, avec les arbres d'une hauteur supérieure à 3 m et un couvert arboré de plus de 30%.

II.3 Définition nationale de la dégradation

La dégradation forestière est un processus dans lequel la forêt définit comme toute formation végétale naturelle ou artificielle d'une superficie minimale de 0.5 ha, avec les arbres d'une hauteur supérieure à 3 m et un couvert arboré de plus de 30%, subit une

modification de sa structure par une diminution de la couverture forestière comprise entre 75 à 30% sur une période de 2 ans. ²

II.4 Définition des gains

Les gains est définie comme une augmentation de la biomasse au sein d'une unité forestière. Les gains sont détectables sur une période minimale de 3 ans après l'observation de la perte.

II.5 Période de référence du NERF

La période de référence pour l'analyse et la prise en compte des informations pour la détermination du Niveau de Référence va de 2016 à 2021, avec une convention de date au 31 décembre.

La période historique de référence s'étend donc du 31 décembre **2016 au 31 décembre 2021**, l'année 2016 étant l'année de base. Cela signifie que le niveau de référence est établi en considérant les émissions estimées au cours des cinq années consécutives : **2017, 2018, 2019, 2020, 2021**.

II.6 Échelle du NERF

L'échelle du NERF est **nationale**, tout comme la Stratégie REDD+ du pays. C'est à ce titre que les données collectées pour sa construction couvrent l'ensemble du pays.

II.7 Portée du NERF

II.7.1 Activités à prendre en compte

Ce présent NERF prend en compte les activités **de la déforestation et de la dégradation forestière**.

II.7.2 Réservoirs à prendre en compte

Les réservoirs pris en compte dans ce NERF sont :

- **La biomasse aérienne** constituée par le fût et le houppier ;
- **La biomasse souterraine** constituée par les racines des arbres ;
- **La biomasse du bois mort** constituée par le bois mort tombé, le bois mort sur pied et les souches.

² Il est à noter que cette définition n'est applicable que dans les études de la cartographie de la dégradation forestière par télédétection en République du Congo. Elle n'implique en rien les aspects écologiques associées de la dégradation forestière.

- **La litière ;**
- **Le carbone organique du sol.**

II.7.3 Gaz à prendre en compte

Les gaz pris en compte dans le NERF sont : le **CO₂**, le **CH₄** et le **N₂O**. Les gaz non-CO₂ sont ceux associés aux feux identifiés dans le processus de déforestation et dégradation. (Tableau 1).

Tableau 1 : Synthèse de la portée du NERF en termes d'activités, gaz et réservoirs.

Activités	Gaz	Réservoirs	Emissions brutes ou nettes
Déforestation	CO ₂	Biomasse aérienne, biomasse souterraine, bois mort, litière et sols	Nettes
	CH ₄ et N ₂ O	Biomasse aérienne, bois mort et litière	
Dégradation forestière	CO ₂	Biomasse aérienne, biomasse souterraine, bois mort et litière	brutes
	CH ₄ et N ₂ O	Biomasse aérienne, bois mort et litière	

III. Approche méthodologique appliquée pour estimer les émissions et absorptions

Le NERF est constitué des émissions dues à la déforestation et à la dégradation forestière.

III.1- Méthodologie de production des données d'activités

Les données d'activités ont été estimées dans la continuité de l'approche méthodologique utilisée dans le précédent Niveau de Référence : c'est-à-dire à partir d'une classification supervisée à l'échelle nationale, d'un échantillonnage systématique stratifié et d'une interprétation visuelle des points. Toutefois cette approche a été significativement optimisée. Les améliorations comprennent : (1) un échantillonnage plus dense et (2) l'intégration de produits additionnels (séries chronologiques, algorithmes de détection de changements) en vue d'optimiser la stratification finale et les données à interpréter. Ces nouvelles modifications renforcent la précision et l'efficacité de la méthode, tout en restant fidèle à l'approche méthodologique de base.

Cette approche améliorée également intitulée 'eSBAE'(Ensemble Sample-Based Area Estimation), a été produite dans la plateforme SEPAL développé par la FAO, à partir de scripts python au sein de l'environnement Jupyter, le détail de chaque étape de travail est donné en annexe 02.

La taille minimale de l'échantillonnage est définie sur la base de la formule de Cochran (1963) à partir d'une marge d'erreur tolérée de 10%, et d'un niveau de confiance souhaité à 90% sur la base de statistiques forestières extraites d'un produit global en procédant à plusieurs itérations. In fine, une grille a été créée à partir d'un échantillonnage systématique sur la base des paramètres définis afin de capter un maximum de changements. Le maillage de la grille est de 1 km, ce qui a donné pour le Congo, un total de 291 595 échantillons.

La classification supervisée a été produite par l'algorithme « Random Forest » (Breiman, 2001) en vue de produire un modèle de probabilité de changements réels à partir de la combinaison de données d'entraînements issues de l'étude régionale CAFI³, d'informations statistiques provenant de séries chronologiques denses et d'algorithmes de détection des changements (CCDC, BFAST, CUSUM, etc.) tirés sur la grille d'échantillonnage.

Le modèle de probabilité des changements est ensuite stratifié en 3 classes distinctes : « pas de changements », « changements potentiels », « haute probabilité de changements ». La stratification est réalisée à partir de l'algorithme K-Means, un

³ « Estimation de la déforestation et de la dégradation des forêts et des facteurs directs actuels et historiques associés à ces processus à l'aide de SEPAL »

puissant algorithme de clustering (regroupement) non supervisé, qui utilise un ensemble d'attributs pour diviser un jeu de données en plusieurs groupes distincts.

Des échantillons sont ensuite extraits à partir de cette stratification, en vue d'être interprétés et validés visuellement au sein de la plateforme Collect Earth Online

III.2 Collecte de données et résultats

Le système de réponse régit le protocole d'encodage et d'interprétation des données de référence. Il permet l'évaluation de la précision des modèles de changements, le calcul des estimations de superficie ainsi que les niveaux d'erreurs associés.

L'interprétation visuelle des échantillons de référence est réalisée dans le logiciel Collect Earth Online⁴ qui permet d'accéder à des images à haute (≤ 10 m) et très haute (≤ 1 m) résolution spatiale des bases de données Google Earth, Bing, Google Earth Engine, Planet.

Au total, 3000 échantillons ont été extraits, mais 2817 ont finalement pu être interprétés visuellement par dix interprètes.

⁴ Collect Earth Online a été développé par SERVIR dans la continuité de l'application Collect Earth Desktop initiée par la FAO. SERVIR est une entreprise commune de l'Agence nationale de l'aéronautique et de l'espace (NASA) et de l'Agence américaine pour le développement international (USAID) - CEO est aujourd'hui soutenu par une large base de partenaires.

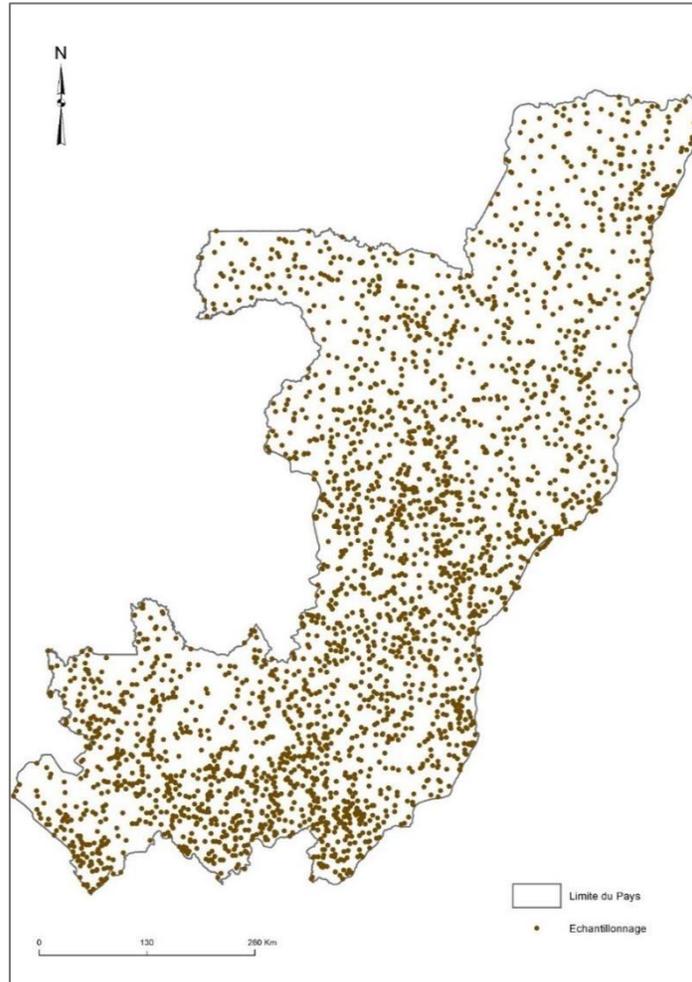


Figure 2 : Carte de la Répartition géographique des 2817 échantillons interprétés

La stratification des classes nationales pour collecter les données d'activités, est disponible dans le tableau 2. Elle est le fruit d'une harmonisation au niveau national de la classification régionale de l'étude de CAFI précédemment citée.

Tableau 2 : Stratification des classes nationales

Forêt	Forêt Dense	Forêt dense humide primaire sur terre ferme, >60% arborée
	Forêt Secondaire	Forêt ouvert 30-60% couverture arborée, dégradée ou secondaire
	Forêt claire	Forêt claire 30-60% couverture arborée
	Forêt de Mangrove	Forêt >30% de couverture arborée, sol hydromorphe
	Forêt Marécageuse	Forêt marécageuse mixte >30% couverture arborée, sol inondée >9 mois
	Forêt Galerie	Forêt ripicole en fond de vallée ou en bordure de rivière
	Plantation Forestière Mature	Couverture arborée >15% végétation cultivée/gérée
Non Forêt	Savane Arborée / Arbustive	Savane boisée 15-30% arbore et arbustive > définition nationale
		Savane >15% arbustive < définition nationale
	Savane Herbacée	Savane herbacée <15% arbustive ou arborée
	Prairie Aquatique	Couverture herbacée aquatique ou régulièrement inondée
	Sols Nus - Végétation épars	<15% végétation
	Terres Cultivées annuelles	Couverture arbustive cultivée >15% arbustif/herbacée/arborée
	Terres cultivées permanentes	Couverture arborée cultivée > 40% arborée
	Zones Bâties	Présence humaine
	Eau	Eau > 50%

La collecte de données a été effectuée à partir d'une enquête sur l'occupation du sol entre l'année 2016 et l'année 2022 au sein de l'interface CEO. Les changements en déforestation ont été validés à partir d'une observation de la classe forêt vers la classe non – forêt au sein d'une fenêtre d'interprétation de 0.5 ha. Les changements dû à la dégradation ont été confirmés après l'observation d'une perte arborée au sein d'un échantillon restant forêt entre l'année 2016 et l'année 2022.

Les interprètes ont également saisi des informations sur les moteurs de changements et sur la biomasse brûlée en vue d'estimer les gaz non-CO2.

Les interprétations se sont appuyées sur différentes sources satellitaires : des mosaïques Landsat 8, Sentinel 2 et Planet pour les années entre 2016 et 2022, ainsi que des mosaïques Planet semestrielles entre 2015 et 2020, puis des mosaïques mensuelles de 2020 à 2023. Enfin les options d'imagerie additionnelles ont permis

d'accéder à des images Maxar visible depuis l'interface de CEO (figure 3) et de Google Earth, ainsi qu'à des images radar avec les images Sentinel 1.

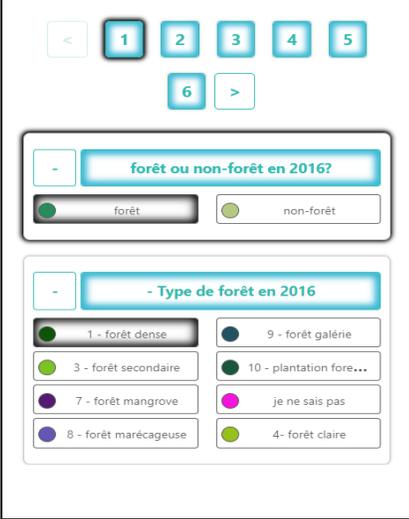
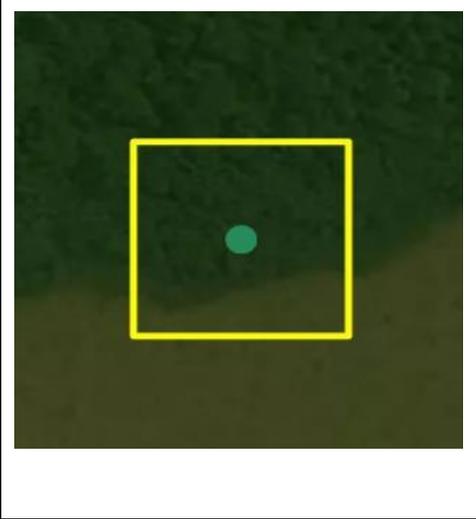
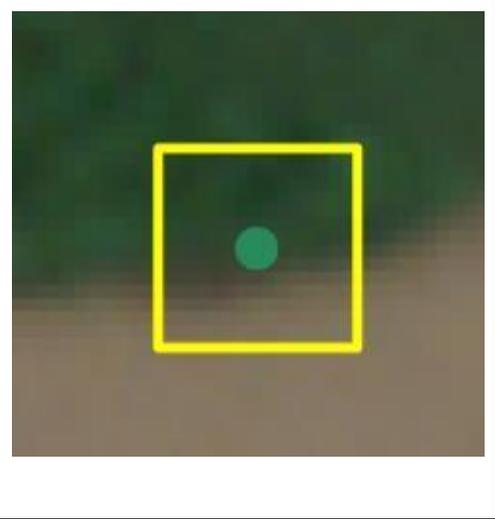
		
Formulaire de collecte (CEO)	Image Mapbox - Plot id 545244	Image Planet – 04/2023 Plot id 545244

Figure 3 : Formulaire et différentes images intégrées dans le système de réponse de Collect Earth on Line (CEO)

Un contrôle qualité par deux interprètes indépendants, a été effectué sur 288 points, soit 10% de l'échantillonnage. A l'issue de ce contrôle, 5% des échantillons ont subi une modification majeure de classe (ex. passage d'une strate stable à une strate de changements) et 14% ont subi une modification de strates au sein d'une même classe (forêt ou non-forêt), soit au total 19% des échantillons.

Les échantillons n'ayant pas satisfait le contrôle qualité, ont été revus et réanalysés par l'ensemble de l'équipe d'interprétation en vue d'harmoniser le niveau global d'interprétation des opérateurs.

Les informations extraites des séries chronologiques et les données d'entraînement issues de l'interprétation visuelle via Collect Earth Online sont ensuite combinées pour générer un nouveau modèle de probabilités de changements sur la base d'une classification supervisée produite avec l'algorithme « Balanced Random Forest ». Un seuil de confiance est ensuite appliqué sur le modèle de probabilités de changements pour transformer ces estimations en une classification binaire (changements et non changements).

L'estimation des superficies par strate est calculée en multipliant la proportion de chaque catégorie de changements au sein de chaque strate par la superficie totale de la strate : c'est l'estimation de la superficie de la catégorie de changements au sein d'une strate (ex. changements de forêt vers non-forêt). L'estimation finale de la strate

(ex. forêt) est faite par la somme des superficies de toutes les catégories de changements au sein de la strate concernée⁵.

La mesure de l'incertitude sur l'estimation des superficies de changement considère une marge d'erreur fixée à 10% et un niveau de confiance de 90%.

III.3 - Facteurs d'émission et autres paramètres

Les facteurs d'émissions utilisés ont deux origines : (i) l'inventaire forestier national réalisé entre 2009-2014 et (ii) les facteurs d'émission par défaut du GIEC (2006, 2019).

III.3.1. Facteurs d'émission de la Déforestation CO2

III.3.1.1 Facteurs d'émission de la Déforestation de la Biomasse

Les facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans la biomasse vivante aérienne et souterraine due à la déforestation sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans la biomasse vivante aérienne et souterraine due à la déforestation.

Paramètre	Unité	Sous-catégorie	Valeur	Source / Description
B_{BEFORE}	t ms/ha	Terres forestières	284	Donnée nationale (IFN 2009-2014)
B_{AFTER}	t ms/ha	Terres cultivées – agriculture pérenne	0	Supposé = 0, Tier 1 (GIEC, 2006)
B_{AFTER}	t ms/ha	Terres cultivées – agriculture annuelle	0	Supposé = 0, Tier 1 (GIEC, 2006)
B_{AFTER}	t ms/ha	Terres graminéennes	16,1	Tableau 6.4 (GIEC, 2006)
B_{AFTER}	t ms/ha	Autres terres (sol nu végétation éparsée)	0	Supposé = 0 pour autres catégories que terres cultivées et graminéennes
CF	t C / t ms	-	0,49	Tableau 4.3 (GIEC, 2006)

⁵ Section 3A.3.5 Estimation de la superficie au moyen des proportions (IPCC, 2006)

Paramètre	Unité	Sous-catégorie	Valeur	Source / Description
ΔC_G	t C/yr	Terres cultivées – agriculture pérenne	2,6	Tableau 5.9 (GIEC, 2006)
ΔC_G	t C/yr	Terres cultivées – agriculture annuelle	4,7	Tableau 5.9 updated (GIEC, 2019)
ΔC_G	t C/yr	Terres graminéennes	0	Supposé = 0 due au manque d'informations
ΔC_G	t C/yr	Autres	0	Supposé = 0 pour autres catégories que terres cultivées et graminéennes
ΔC_L	t C/yr	Terres cultivées – agriculture pérenne	0	Supposé = 0 due au manque d'informations
ΔC_L	t C/yr	Terres cultivées – agriculture annuelle	4,7	Supposé = ΔC_G due aux récoltes annuelles
ΔC_L	t C/yr	Terres graminéennes	0	Supposé = 0 due au manque d'informations
ΔC_L	t C/yr	Autres terres (sol nu végétation épars)	0	Supposé = 0, Tier 1 (GIEC, 2006)
p	yr	Terres forestières converties en terres non-forestières	3	Nombre hypothétique moyen d'années d'accumulation/croissance de biomasse associée à l'utilisation ultérieure des terres (moitié de la période de référence). L'hypothèse a été formulée étant donné que les données d'activités ne sont pas disponibles dans la granularité annuelle.

NB : **B**_{BEFORE} pour les Terres Forestières :

Les données collectées lors de l'inventaire forestier mené entre 2009 et 2014 ont permis l'estimation de la biomasse des terres forestières par strate (Tome 3 de L'IFN).

La valeur de **B_{BEFORE}**, traduite dans la somme de la biomasse aérienne (207 t ms/ha) et la biomasse souterraine (77 t ms/ha) à l'échelle du pays est de **284 t ms/ha** (tableau 4).

Tableau 4 : Biomasse aérienne et biomasse souterraine des terres forestières par strate selon l'inventaire forestier de 2009-2014

Strate	Estimation	Aérienne	Souterraine
1. Terres inondées ou inondables et eaux continentales	Biomasse totale (en 1 000 tonnes)	763 491	282 492
	Densité de biomasse par ha (en tonnes/ha)	181	67
	Erreur type relative de la densité (en %)	19%	19%
2. Plateaux et collines sur roches sédimentaires et sables	Biomasse totale (en 1 000 tonnes)	171 787	63 561
	Densité de biomasse par ha (en tonnes/ha)	136	50
	Erreur type relative de la densité (en %)	16%	16%
3. Montagnes et collines sur roches métamorphiques	Biomasse totale (en 1 000 tonnes)	830 380	307 241
	Densité de biomasse par ha (en tonnes/ha)	219	81
	Erreur type relative de la densité (en %)	9%	9%
4. Plaines sur roches sédimentaires et sables	Biomasse totale (en 1 000 tonnes)	1 813 724	671 078
	Densité de biomasse par ha (en tonnes/ha)	215	80
	Erreur type relative de la densité (en %)	6%	6%
5. Plaines sur roches métamorphiques	Biomasse totale (en 1 000 tonnes)	1 000 435	370 161
	Densité de biomasse par ha (en tonnes/ha)	225	83
	Erreur type relative de la densité (en %)	6%	6%
Congo	Biomasse totale (en 1 000 tonnes)	4 579 817	1 694 532
	Densité de biomasse par ha (en tonnes/ha)	207	77
	Erreur type relative de la densité (en %)	4,4%	4,4%

III.3.1.2 Facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans la matière organique morte (DOM) due à la déforestation

Les facteurs d'émissions et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans la matière organique morte (DOM) due à la déforestation sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans la matière organique morte (DOM) due à la déforestation.

Paramètre	Unité	Sous-catégorie	Valeur	Source et raisonnement
C_o	tC/ha	Bois mort (DW)	0,3	Donnée nationale (IFN 2009-2014)
C_n	tC/ha	Bois mort (DW)	0	Supposé = 0, Tier 1 (GIEC, 2006)
C_o	tC/ha	Litière	2,10	Table 2.2, GIEC (2006)
C_n	tC/ha	Litière	0	Supposé = 0, Tier 1 (GIEC, 2006)
T	an	toutes	1	Valeur default Tier 1 (GIEC, 2006)

NB : C_o pour le bois mort (DW) pour les Terres Forestières :

Les données collectées lors de l'inventaire forestier mené entre 2009 et 2014 ont permis de déterminer le stock de carbone moyen dans le réservoir du bois mort des terres forestières (Tome 3 de L'IFN).

Tableau 6 : Stock de carbone moyen dans le réservoir du bois mort (Co) des terres forestières.

Strate	Estimation	Bois mort
1. Terres inondées ou inondables et eaux continentales	Carbone total (en 1 000 tonnes)	97
	Densité de carbone par ha (en tonnes/ha)	0,0
	Erreur type relative de la densité (en %)	79%
2. Plateaux et collines sur roches sédimentaires et sables	Carbone total (en 1 000 tonnes)	378
	Densité de carbone par ha (en tonnes/ha)	0,3
	Erreur type relative de la densité (en %)	60%
3. Montagnes et collines sur roches métamorphiques	Carbone total (en 1 000 tonnes)	499
	Densité de carbone par ha (en tonnes/ha)	0,1
	Erreur type relative de la densité (en %)	45%
4. Plaines sur roches sédimentaires et sables	Carbone total (en 1 000 tonnes)	4 119
	Densité de carbone par ha (en tonnes/ha)	0,5
	Erreur type relative de la densité (en %)	32%
5. Plaines sur roches métamorphiques	Carbone total (en 1 000 tonnes)	1 065
	Densité de carbone par ha (en tonnes/ha)	0,2
	Erreur type relative de la densité (en %)	27%
Congo	Carbone total (en 1 000 tonnes)	6 158
	Densité de carbone par ha (en tonnes/ha)	0,3
	Erreur type relative de la densité (en %)	23,1%

III.3.1.3 Facteurs d'émission de la Déforestation des Sols minéraux

Les facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans les sols minéraux due à la déforestation sont présentés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans les sols minéraux due à la déforestation.

Paramètre	Unité	Sous-catégorie	Valeur	Source et description
SOC_{REF}	tC/ha	Terres forestières	47,0	Table 2.3 (GIEC, 2006) en considérant que la déforestation a eu lieu uniquement sur les sols du type LAC
F_{LU}	-	Terres forestières	1	Supposé = 1, Tier 1 (GIEC, 2006)
F_{MG}	-	Terres forestières	1	Supposé = 1, Tier 1 (GIEC, 2006)
F_I	-	Terres forestières	1	Supposé = 1, Tier 1 (GIEC, 2006)
F_{LU}	-	Terres cultivées – agriculture pérenne	1,01	Table 5.5 updated (GIEC, 2019 – perennial crop – tropical – dry/moist/wet)
F_{MG}	-	Terres cultivées – agriculture pérenne	1,04	Table 5.5 updated (GIEC, 2019 – reduced tillage – tropical – moist/wet)
F_I	-	Terres cultivées – agriculture pérenne	0,92	Table 5.5 updated (GIEC, 2019 – low input – tropical – moist/wet)
F_{LU}	-	Terres cultivées – agriculture annuelle	0,83	Table 5.5 updated (GIEC, 2019 – long term cultivated – tropical – moist/wet)
F_{MG}	-	Terres cultivées – agriculture annuelle	1,04	Table 5.5 updated (GIEC, 2019 – reduced tillage – tropical – moist/wet)
F_I	-	Terres cultivées – agriculture annuelle	0,92	Table 5.5 updated (GIEC, 2019 – low input – tropical – moist/wet)
F_{LU}	-	Terres graminéennes	1	Table 6.2 updated (GIEC, 2019)
F_{MG}	-	Terres graminéennes	1	Table 6.2 updated (GIEC, 2019 – non degraded)
F_I	-	Terres graminéennes	1	Table 6.2 updated (GIEC, 2019 – medium)
F_{LU}	-	Autres terres	0	SOC Supposé = 0, Tier 1 (GIEC, 2006)

Paramètre	Unité	Sous-catégorie	Valeur	Source et description
F_{MG}	-	Autres terres	0	SOC Supposé = 0, Tier 1 (GIEC, 2006)
F_I	-	Autres terres	0	SOC Supposé = 0, Tier 1 (GIEC, 2006)
p	yr	Terres forestières converties en terres non-forestières	3	Nombre hypothétique moyen d'années après conversion (moitié de la période de référence). L'hypothèse a été formulée étant donné que les données d'activités ne sont pas disponibles dans la granularité annuelle.

III.3.1.4 Facteurs d'émission de la déforestation - Non-CO₂

Les facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation des émissions des gaz non-CO₂ due aux feux de forêts associés à la déforestation sont présentés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation des émissions des gaz non-CO₂ due aux feux de forêts associés à la déforestation.

Paramètre	Unité	Sous-catégorie	Valeur	Source et description
M_B	t/ha	Feux associés aux terres forestières converties en terres graminéennes	106,64	Donnée nationale pour biomasse aérienne et bois mort + valeur par défaut GIEC (2006) pour litière. La proportion de la biomasse brûlée sur place a été considérée à 50%.
C_f	tC / t ms		0,32	Table 2.6 (GIEC, 2006)
G_{ef}	g GHG/kg ms brûlée		6,8	Table 2.5 (GIEC, 2006)
G_{ef}	g GHG/kg ms brûlée		0,2	Table 2.5 (GIEC, 2006)
GWP CH ₄			28	GIEC/AR5 (2013)
GWP N ₂ O			265	GIEC/AR5 (2013)

M_B pour Terres Forestières :

La masse de combustible disponible pour la combustion a été calculée à partir de la somme des stocks de biomasse aérienne (207 tms/ha) et du bois mort (0,6 tms/ha) obtenues dans l'inventaire forestier national, et de la valeur par défaut présentée par le GIEC (2006) pour la litière ($2,1 \text{ tC/ha} / 0,37 \text{ CF}_{\text{litière}} = 5,68 \text{ tms/ha}$), réduite à 50% pour prendre en compte l'exportation de biomasse avant l'incidence du feu. De cette manière, la valeur de MB utilisée dans les estimations d'émissions des gaz non-CO₂ associés aux feux de déforestation a été de 106,64 t/ha ($0,5 * 213,28$).

III.3.2. Facteurs d'émission de la Dégradation CO₂

III.3.2.1 Facteurs d'émission de la Dégradation de la biomasse

Les facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans la biomasse vivante aérienne et souterraine due à la dégradation forestière sont présentés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans la biomasse vivante aérienne et souterraine due à la dégradation forestière.

Paramètre	Unité	Sous-catégorie	Valeur	Source et description
B_w	t ms/ha	Terres forestières non-dégradées	207	Données nationales (IFN)
B_w	t ms/ha	Terres forestières dégradées/secondaires	162	Données nationales, Tableau 25 IFN, Tome 2
R	t ms bg/t ms ag	Terres forestières non-dégradées	0,532	Tableau 4.4 updated (GIEC, 2019) - Ratio biomasse souterraine/biomasse aérienne des forêts naturelles >125 t/ha
R	t ms bg/t ms ag	Terres forestières dégradées/secondaires	0,825	Tableau 4.4 updated (GIEC, 2019) - Ratio biomasse souterraine/biomasse aérienne des forêts naturelles <125 t/ha
CF	tC /t ms	-	0,49	Table 4.3 (GIEC, 2006)
fd	-	Terres forestières dégradées	0,22	Ratio Biomasse aérienne moyenne des forêts secondaires / biomasse aérienne moyenne des forêts primaires = $1 - (207/162) = 0,22$ [Sources :

Paramètre	Unité	Sous-catégorie	Valeur	Source et description
				données nationales de l'IFN

III.3.2.2 Facteurs d'émission de la Dégradation de la matière organique morte (DOM)

Les facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans la matière organique morte due à la dégradation forestière sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation du changement du stock de carbone dans la matière organique morte due à la dégradation forestière

Paramètre	Unité	Sous-catégorie	Valeur	Source et description
DOM t1	t ms/ha	Bois mort des forêts primaires	0,60	Données nationales (IFN)
DOM t2	t ms/ha	Bois mort des forêts primaires dégradées	0,20	Données nationales (IFN)
DOM t1	t ms/ha	Litière des forêts primaires	5,68	Stock de litière dans forêts non dégradées. $DOM\ t1 = 2,1/0,37 ; 0,37=CF\ litière$
DOM t2	t ms/ha	Litière des forêts primaires dégradées	1,45	Stock de litière dans les forêts dégradées. $DOM\ t2 = DOM\ t1 * fd$
CF	tC /t ms	Bois mort	0,49	Table 4.3 (GIEC, 2006)
CF litière	tC /t ms	Litière	0,37	GIEC (2006)
fd	-	Terres forestières dégradées	0,67	Ratio Bois mort des forêts non dégradées / Bois mort de forêts dégradées = $1 - (0.6/0.2) = 0,67$ [Sources : données nationales de l'IFN]

Paramètre	Unité	Sous-catégorie	Valeur	Source et description
T	yr	Bois mort/litière	3	En moyenne, la transition des terres forestières non-dégradées en terres forestières dégradées se fait en 3 ans (moitié de la période historique), car détectable par image satellite et parce que la granularité de l'information n'est pas annuelle.

Due au manque d'informations sur les stocks de bois mort et litière dans les forêts dégradées/secondaires, les terres forestières en processus continu de dégradation n'ont pas été prises en compte dans l'estimation des émissions de CO₂.

III.3.2.3 Facteurs d'émission de la Dégradation Non-CO₂

Les facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation des émissions des gaz non-CO₂ due aux feux associés à la dégradation forestière sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11 : facteurs d'émission et autres paramètres utilisés dans l'estimation des émissions des gaz non-CO₂ due aux feux associés à la dégradation forestière.

Paramètre	Unité	Sous-catégorie	Valeur	Source et description
MB deg	t/ha	Forêt primaire → forêt secondaire/dégradée	106,64	Donnée nationale pour biomasse aérienne et bois mort + valeur default GIEC (2006) pour litière. La proportion de la biomasse brûlée sur place a été considérée à 50%.

Paramètre	Unité	Sous-catégorie	Valeur	Source et description
MB deg	t/ha	Forêt secondaire/dégradée → forêt secondaire/dégradée	26,40	Donnée nationale pour biomasse aérienne (bois mort et litière n'ont pas été considérés, car valeurs ne sont pas disponibles). La proportion de la biomasse brûlée sur place a été considérée à 50%.
C_f	tC /t ms	Feux associés à la dégradation forestière	0,32	Table 2.6 (GIEC, 2006)
G_{ef}	g GHG/kg ms brûlée		6,8	Table 2.5 (GIEC, 2006)
G_{ef}	g GHG/kg ms brûlée		0,2	Table 2.5 (GIEC, 2006)
GWP CH ₄			28	GIEC/AR5 (2013)
GWP N ₂ O			265	GIEC/AR5 (2013)

III.4 Incertitudes des facteurs d'émission de l'IFN

Afin de réduire autant que possible les incertitudes sur les facteurs d'émissions, une grande attention a été portée sur les traitements des données de l'inventaire forestier national, et en particulier sur la recherche des erreurs suivantes :

1. La collecte des données (erreurs de mesure, mauvaise interprétation des variables et des options, disparités entre les équipes de terrain) ;
2. La codification des données (transcription des mesures et des observations sur les fiches de terrain, erreurs d'orthographe, noms d'espèces) ;
3. La lecture des fiches de terrain pendant la saisie ;
4. La saisie des données (touche non appropriée du clavier).

Pour mener à bien ces analyses, différentes étapes de vérification ont été mises en place. Elles portaient sur : la recherche exhaustive des doublons dans la base de données, une revue systématique de l'ensemble des unités d'échantillonnages saisies (UE), le nettoyage minutieux des variables prioritaires qui permettent de calculer les superficies inventoriées, les effectifs sur pied, la biomasse et le carbone à l'hectare... En outre de ce travail préparatoire de nettoyage des données, un listing des erreurs potentielles a été réalisé grâce à des requêtes de sélection sous Ms-Acess. Les erreurs potentielles ont été regroupées en 3 classes :

- les erreurs sur les SUT (superficies et classes d'utilisation des terres)
- les erreurs sur les arbres
- les erreurs sur les variables environnementales et socio-économiques

L'analyse de ces erreurs a donné lieu à plusieurs exercices de vérification tels que le contrôle des superficies des UE, placettes et sous-placettes, la cohérence des variables dendrométriques et la distribution spatiale des arbres inventoriés. Afin de retracer ce processus, de nombreuses copies de la base de données, jusqu'à la base finale, ont été réalisées et conservées.

En outre, certaines UE du plan d'échantillonnage n'ayant pas pu être inventoriées à cause des difficultés d'accès, se sont vu être analysées visuellement par l'outil Collect Earth Online.

Enfin l'analyse statistique des données s'est faite à partir de requêtes de calcul sur Microsoft Access ; les produits de ces requêtes ont été exportés sur une feuille de calcul statistique Excel préprogrammée par la FAO, et qui calcule automatiquement les moyennes par ha ou pourcentage, le total, l'erreur type relative et la variance de la moyenne.

Pour plus de transparence, les erreurs type relatives des estimations sont présentées sur les mêmes tableaux que ces grandeurs. L'utilisateur peut ainsi savoir le niveau de précision de l'estimation qui lui est livrée⁶

III.5 Incertitudes des données d'Activités

La représentation des terres en vue de produire les des données d'activités du Congo relève de l'approche n°3 des lignes directrices du GIEC (2006,2019) c'est-à-dire que les superficies estimées des catégories de changements et de non-changements sont issus d'un échantillonnage de points géographiques spatialement explicites qui s'appuie sur des données issues de la télédétection. Cette approche permet de suivre dans le temps les dynamiques d'occupation du sol et d'observer l'évolution des changements de catégories et favorise la correspondance avec la stratification utilisée pour l'inventaire des stocks de carbone et la production des facteurs d'émission.

Cette approche suppose que les données s'exposent notamment au type d'incertitudes suivantes : (1) les erreurs d'échantillonnage, (2) les différences de définitions, (3) les erreurs d'interprétation des données issues de la télédétection, (4) les erreurs liées à la comptabilisation des émissions brutes et nettes.

Afin de réduire autant que possible ces incertitudes et de produire des données fiables et robuste, la méthodologie du Congo s'est appuyée sur les mesures suivantes :

¹¹ République du Congo, 2020. *Inventaire forestier national multiressource de la République du Congo 2009-2014*. Tome 3: Estimation des facteurs d'émission pour le niveau d'émissions de référence pour les forêts

- (1) Une grille d'échantillonnage systématique extrêmement dense en vue de réduire les erreurs liées à la surreprésentation de certaines strates et de capturer les changements autant que possible
- (2) Depuis les premières étapes de mise en œuvre de la REDD en 2009, le Congo a beaucoup travaillé à la diffusion et à l'intégration dans ses méthodes de travail, des définitions officielles de la forêt et de la déforestation. Un travail sur la définition de la dégradation à l'échelle nationale est également en cours, mais une définition opérationnelle validée à l'échelle de la sous-région Afrique Centrale est présentement utilisée. Cette définition est une adaptation de la définition officielle théorique de la FAO (2010).
- (3) Les erreurs liées à l'interprétation ont été réduites autant que possible, avec la revue par deux évaluateurs indépendants de 10% du jeux de données et par l'intégration d'une marge d'erreur de 10% sur les résultats estimés et d'une confiance à 90%.
- (4) Avec la prise en compte de l'accroissement des stocks de carbone, les émissions dues à la déforestation sont désormais considérées comme nettes tandis que les émissions des activités de dégradation, sont brutes.

III.6. Equations

La construction du NERF s'est basée sur les lignes directrices du GIEC (GIEC, 2006 ; GIEC, 2019). Les équations utilisées et la majorité des facteurs d'émissions proviennent des lignes directrices de 2006 (GIEC, 2006). Certains facteurs d'émissions proviennent des relevés nationaux, notamment les stocks de biomasse aérienne et stocks de bois mort de l'inventaire forestier national, et une minorité de facteurs, de la mise à jour des lignes directrices du GIEC (GIEC, 2019).

En accord avec les Equations 2.1, 2.2 et 2.3 du GIEC (2006), les changements du stock de carbone, pour une strate d'une catégorie d'utilisation des terres, représentent la somme des changements dans chacun des réservoirs de carbone :

Équation 1 : Changement du stock de carbone par en tant que la somme des changements par réservoir.

$$\Delta C = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{LI} + \Delta C_{SO} + \Delta C_{HWP}$$

Où :

ΔC = *changement du stock de carbone associé à une activité incluse dans la portée du NERF*

AB = *changement dans les stocks de carbone de la biomasse vivante aérienne*

BB = *changement dans les stocks de carbone de la biomasse vivante souterraine*

DW = *changement dans les stocks de carbone du bois mort*

LI = *changement dans les stocks de carbone de la litière*

SO = changement dans les stocks de carbone des sols
HWP = changement dans les stocks de carbone des produits en bois récolté

Les équations utilisées pour estimer le changement du stock de carbone, par activité incluse dans la portée du NERF, sont présentées ci-après.

III.6.1 Equations de la variation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine due à la déforestation

D'après les équations 2.15 et 2.16 du GIEC (2006) :

Équation 2 : Variation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine due à la déforestation

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{CONVERSION} - \Delta C_L$$

Où :

ΔC_B = variation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine des terres forestières converties en d'autres catégories d'utilisation des terres, en tonnes C/an

ΔC_G = augmentation annuelle des stocks de carbone due à la croissance en biomasse sur des terres converties à une autre catégorie d'utilisation des terres, en tonnes C/an

$\Delta C_{CONVERSION}$ = variation initiale des stocks de carbone dans la biomasse sur les terres converties à une autre catégorie d'utilisation des terres, en tonnes C/an

ΔC_L = diminution annuelle des stocks de carbone de la biomasse due aux pertes dues à la récolte, à la collecte de bois de chauffage et aux perturbations sur les terres converties à une autre catégorie d'utilisation des terres, en tonnes C/an

Équation 3 : Variation initiale des stocks de carbone de la biomasse due à la déforestation

$$\Delta C_{CONVERSION} = \sum_i \{(B_{AFTERi} - B_{BEFOREi}) * \Delta A_{TO_OTHERS}\} * CF$$

Où :

$\Delta C_{CONVERSION}$ = variation initiale des stocks de carbone de la biomasse sur les terres converties en une autre catégorie de terres, en tonnes C an-1

B_{AFTERi} = stocks de biomasse sur le type de terre i immédiatement après la conversion, tonnes d.m. ha-1

$B_{BEFOREi}$ = stocks de biomasse sur le type de terre i avant la conversion, tonnes d.m. ha-1

$\Delta A_{TO_OTHERSi}$ = superficie de l'utilisation des terres i convertie à une autre catégorie d'utilisation des terres au cours d'une année donnée, en ha an-1

CF = fraction de carbone de la matière sèche, tonne C (tonnes m.c.)-1

i = type d'utilisation des terres convertie en une autre catégorie d'utilisation des terres

Ajustement technique :

Équation 4 : Variation initiale des stocks de carbone de la biomasse due à la déforestation (équation ajustée)

$$\Delta C_B = \Delta C_G * \Delta A_{TOOTHERS} * p + \Delta C_{CONVERSION} - \Delta C_L * \Delta A_{TOOTHERS} * p$$

Où :

ΔC_B = variation des stocks de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine des terres converties en d'autres catégories d'utilisation des terres, en tonnes C par période p

ΔC_G = augmentation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse due à la croissance sur des terres converties à une autre catégorie d'utilisation des terres, en tonnes C par période p

$\Delta C_{CONVERSION}$ = variation initiale des stocks de carbone dans la biomasse sur les terres converties à une autre catégorie d'utilisation des terres, en tonnes C par période p

ΔC_L = diminution annuelle des stocks de carbone de la biomasse due aux pertes dues à la récolte, à la collecte de bois de chauffage et aux perturbations sur les terres converties à une autre catégorie d'utilisation des terres, en tonnes C par période p

P = période/nombre d'années hypothétique d'accumulation/croissance de biomasse associée à l'utilisation ultérieure des terres (moitié de la période de référence). Etant donnée que les données d'activités ne sont pas disponibles dans la granularité annuelle, cette hypothèse a été formulée.

III.6.2 Equation de la variation annuelle des stocks de carbone dans le bois mort ou la litière due à la déforestation

D'après l'équation 2.23 du GIEC (2006) :

Équation 5 : Variation annuelle des stocks de carbone dans le bois mort ou la litière due à la déforestation

$$\Delta C_{DOM} = \frac{(C_n - C_o) * A_{on}}{T_{on}}$$

Où :

CDOM = variation annuelle des stocks de carbone dans le bois mort ou la litière, en tonnes C an-1

Co = stock de bois mort/de litière, selon l'ancienne catégorie d'utilisation des terres, en tonnes C ha-1

Cn = stock de bois mort et de litière, dans la nouvelle catégorie d'utilisation des terres, en tonnes C ha-1

Aon = superficie faisant l'objet d'une conversion de l'ancienne à la nouvelle catégorie d'utilisation des terres, en ha

Ton = période de transition de l'ancienne à la nouvelle catégorie d'utilisation des terres, en années. La valeur par défaut du niveau 1 est de 20 ans pour les augmentations des stocks de carbone et 1 an pour les pertes de carbone.

III.6.3 Equation de la variation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine due à la déforestation

D'après l'équation 2.25 du GIEC (2006) :

Équation 6 : Variation annuelle des stocks de carbone dans les sols minéraux due à la déforestation

$$\Delta C_{SO-Minéraux} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} (SOC_{REF} * F_{LU\ c,s,i} * F_{MG\ c,s,i} * F_{I\ c,s,i} * A_{c,s,i})$$

Où :

$\Delta C_{SO-Minéraux}$ = variation annuelle des stocks de carbone dans les sols minéraux, en tonnes C an-1 ;

SOC_0 = stock de carbone organique du sol au cours de la dernière année d'une période d'inventaire, en tonnes C/ha ;

$SOC_{(0-T)}$ = stock de carbone organique du sol au début de la période d'inventaire, en tonnes C/ha ;

T = nombre d'années sur une période d'inventaire unique, an ;

D = dépendance temporelle des facteurs de variation des stocks, qui est la période par défaut pour la transition entre les valeurs SOC d'équilibre, en années. Généralement, $D=20$ ans, mais cela dépend des hypothèses formulées lors du calcul des facteurs FLU, FMG et SOC. Si T est supérieur à D , utiliser la valeur de T pour obtenir un taux de variation annuel sur la période de l'inventaire ($0-T$ années) ;

c = représente les zones climatiques, s les types de sol et i l'ensemble des systèmes de gestion présents dans un pays ;

SOC_{REF} = le stock de carbone de référence, en tonnes C ha⁻¹ ;

FLU = facteur de variation des stocks pour les systèmes d'utilisation des terres ou les sous-systèmes pour une utilisation particulière des terres, sans dimension. Note : FND est substitué à FLU dans le calcul du carbone du sol forestier afin d'estimer l'influence des régimes de perturbations naturelles ;

FMG = facteur de variation des stocks pour le régime de gestion, sans dimension ;

FI = facteur de variation du stock pour l'apport de matière organique, sans dimension ;

A = superficie de la strate faisant l'objet de l'estimation, en hectares. Toutes les terres de la strate doivent présenter des conditions biophysiques (c'est-à-dire le climat et le type de sol) et un historique de gestion communs au cours de la période d'inventaire, afin d'être traitées ensemble à des fins d'analyse ;

Ajustement technique : les résultats de l'équation 5 ont été multipliés par **p = 2,5** pour prendre en compte du fait que T = 5 ans, et de l'hypothèse que, en moyenne, le changement a lieu à la moitié de la période T.

III.6.4 Equation de quantification d'émissions de Gaz non-CO₂ dues au feu associé à la déforestation ou à la dégradation forestière

D'après l'équation 2.27 du GIEC (2006), pour les estimations d'émissions de gaz non-CO₂ associés aux feux :

Équation 7 : quantité d'émissions de gaz à effet de serre dues au feu associé à la déforestation ou à la dégradation forestière

$$L_{fire} = A * M_B * C_f * G_{ef} * 10^{-3}$$

Où :

L_{fire} = quantité d'émissions de gaz à effet de serre dues au feu, en tonnes de chaque GES, par exemple CH₄, N₂O, etc.

A = surface brûlée, ha

M_B = masse de combustible disponible pour la combustion, tonnes ha⁻¹.

Cela comprend la biomasse, la litière et le bois mort.

C_f = facteur de combustion, sans dimension

G_{ef} = facteur d'émission, g kg⁻¹ de matière sèche brûlée

III.6.5 Equation variation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine due à la dégradation forestière

D'après l'équation 2.14 du GIEC (2006) :

Équation 8 : variation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine due à la dégradation forestière

$$\Delta C_B = L_{disturbance} = \{A_{disturbance} * B_W * (1 + R) * CF * fd\}$$

Où :

ΔC_B = variation annuelle des stocks de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine des terres forestières due à la dégradation, en tonnes C par période

$A_{disturbance}$ = surface affectée par les perturbations, ha par période

B_W = biomasse aérienne moyenne des zones terrestres affectées par des perturbations, tonnes de m.s./ ha.

R = rapport entre la biomasse souterraine et la biomasse aérienne, en tonnes m.c. biomasse souterraine (tonne m.c. de biomasse aérienne) -1. R doit être fixé à zéro si aucun changement de la biomasse souterraine n'est supposé (Tier 1).

CF = fraction de carbone de la matière sèche, tonne C (tonnes m.c.)-1

fd = fraction de la biomasse perdue dans les perturbations

III.6.6 Equation de la variation annuelle des stocks de carbone dans la matière organique morte ou de la litière due à la dégradation

D'après les équations 2.17 et 2.19, GIEC (2006) :

Équation 9 : variation annuelle des stocks de carbone dans la matière organique morte due à la dégradation

$$\Delta C_{DOM} = \Delta C_{DW} + \Delta C_{LT}$$

Où:

ΔC_{DOM} = variation annuelle des stocks de carbone dans la matière organique morte (y compris le bois mort et la litière), tonnes C an-1

ΔC_{DW} = variation des stocks de carbone dans le bois mort, en tonnes C an-1

ΔC_{LT} = variation des stocks de carbone dans la litière, tonnes C an-1

Équation 10 : variation des stocks de carbone dans le bois mort ou la litière, en tonnes C par période, due à la dégradation forestière

$$\Delta C_{DOM} = \left[A * \frac{(DOM_{t2} - DOM_{t1})}{T} \right] * CF$$

ΔC_{DOM} = variation annuelle des stocks de carbone dans le bois mort ou la litière, en tonnes C an-1

A = superficie des terres gérées, ha

DOM_{t1} = stock de bois mort/de litière au moment t1 pour les terres gérées, tonnes d.m. ha-1

DOM_{t2} = stock de bois mort/de litière au moment t2 pour les terres gérées, tonnes d.m. ha-1

T = (t2 - t1) = période entre la seconde estimation des stocks et la première estimation des stocks, en années

CF = fraction de carbone de la matière sèche (par défaut = 0,37 pour la litière), tonne C (tonne m.c.)-1

III.7. Méthodologie de calcul de l'Ajustement des émissions liées à la déforestation et la dégradation forestière

L'ajustement du NERF a porté sur une augmentation des émissions calibrées sur la base de 0,1% par an des émissions évitées par l'utilisation des valeurs moyennes du stock de carbone des forêts du domaine forestier national. (Stocks de carbone*44/12*0,1%).

Cette approche est conforme à celle utilisée dans le calcul du NERF révisé du Programme Juridictionnel de Réduction des Emissions de Sangha Likouala en République du Congo (FCPF).

Le facteur d'ajustement du NERF est de 0,1% du stock de carbone total et le facteur de conversion du Carbone en équivalent CO₂ est de 44/12.

IV. Présentation des résultats

Cette partie porte sur la présentation des résultats de l'analyse des échantillons et des estimations des émissions des activités du NERF.

IV.1 Présentation des résultats des Données d'Activités

IV.1.1 Données d'Activités de la Déforestation

Parmi les 2817 points évalués, seuls 55 points ont été identifiés comme événements de déforestation, dont 27 (49 %) indiquent la conversion des terres forestières en autres terres (sol nu avec végétation éparsée) et 23 points soit 42% montrent que la conversion des terres forestières en terres cultivées (agriculture annuelle) est un moteur important de la déforestation. Le feu a été détecté sur 4% des points de déforestation, lié aux conversions des terres forestières en terres cultivées soit 4% et en terres graminéennes soit 33% (Tableau 12).

Tableau 12 : Nombre de points de conversion des terres forestières en terres non-forestières détectés à travers l'analyse visuelle des images satellitaires

			2022				Terres graminéennes	Grand Total	
			Autres terres	Etablissement humain	Terres cultivées				Terres graminéennes
			Sol nu végétation éparsée	Zone bâties	Terres cultivées annuelles	Terres cultivées permanentes	Savane arbustive /arborée	Savane herbacée	
2016	Terres forestières	nombre de points	27	1	23	1	1	2	55
		superficie [ha]	76 247,8	2 824,0	64 951,8	2 824,0	2 824,0	5648,0	155 319,5
		superficie [%]	49%	2%	42%	2%	2%	4%	100%

La superficie de déforestation totale estimée entre 2016-2022 est de **155 319 ha ± 34 527ha** (soit ± 22,2 %, en considérant un intervalle de confiance à 90%), qui se traduit par un taux de déforestation de **25 886 ha/an⁷ ± 6905 ha/an**.

IV.1.2 Données d'Activités de la Dégradation

Parmi les 2817 points évalués, seuls 81 points ont été identifiés comme évènements de dégradation, dont 41 (51%) indiquent un processus continu de dégradation des forêts secondaires depuis 2016 et 40 points (49%) ont été associés à des forêts primaires soumises à des facteurs de dégradation entre 2016 et 2022 (Tableau 13)

Tableau 13 : Nombre de points de dégradation des terres forestières détectés à travers l'analyse visuelle des images satellitaires et nombre de points pour lesquels le feu a été identifié comme partie du processus de dégradation.

		2022		Feu associé
		Forêt secondaire/dégradée		
		Nombre de points	Hectares	
2016	Terres forestières - forêt primaire non-dégradée	40 (49%)	145 182,3	2 (5%)
	Terres forestières - forêt secondaire/dégradée	41 (50%)	148 811,8	9 (22%)
<i>Total</i>		<i>81 (100%)</i>	<i>293 994,1</i>	<i>11 (14%)</i>

La superficie de dégradation totale estimée entre 2016-2022 est de **293 994 ha ± 89 335 ha** (soit ± 30 %, en considérant un intervalle de confiance à 90%). Cela se traduit par une superficie annuelle dégradée de **48 999 ± 14 889 ha/an**.

⁷ Il convient de mentionner que le Congo, avec ces résultats, respecte les critères ART-TREES de définition des pays HFLD.

IV.2 Présentation des Résultats des émissions de 2016-2021

Le NERF, basé sur les données historiques de 2016 à 2021, a été estimé à 19 716 935 **t CO₂ eq/an**, dont 70 % résultants de la déforestation (**13 787 792 tCO₂ eq/an**) et 30% résultants de la dégradation forestière (**5 929 143 tCO₂ eq/an**). Ces résultats ont permis l'estimation des émissions annuelles moyennes à partir de la simple division des totaux par les six années considérées dans la collecte des données d'activités.

Ensuite, le NERF a été calculé à partir de la moyenne de la période réduite à cinq ans (2016-2021, en respectant la convention des dates mentionnée ci-dessus).

Le tableau 14 ci-dessous, présente la synthèse des résultats des émissions liées à la déforestation et à la dégradation forestière

Tableau 14 : Synthèse des résultats des émissions historiques 2016 - 2021

Activités	Valeur	Unité	% par activité du total NERF
Émissions (moyenne 2016-2021)			
Déforestation	13 787 792	tCO ₂ eq. /an	70 %
Dégradation forestière	5 929 143	tCO ₂ eq. /an	30 %
Total des Emissions	19 716 935	tCO ₂ eq./an	100%

Le tableau 15 ci-dessous, présente la synthèse des résultats des émissions historiques ajustées sur la base des circonstances nationales

Tableau 15 : Synthèse des résultats des émissions historiques et ajustées

Activités		Valeur	Unité	TOTAL	% par activité du total NERF
Émissions Historiques	Déforestation	13.787.792	t CO ₂ eq/an	19 716 935	61%
	Dégradation forestière	5 929 143	tCO ₂ eq/an		
Ajustement		12 812 101	tCO ₂ .eq/an	12 812 101	39%
NERF historique et ajusté		32 529 037 tCO ₂ .eq/an			100%

IV.2.1 Émissions de gaz CO₂ et non-CO₂ dues à la déforestation, par réservoir

Le tableau 16 présente la valeur moyenne annuelle des émissions de gaz CO₂ et non-CO₂ due à la déforestation dans la période allant de 2016 à 2021 par réservoir. Il en ressort que la contribution de la biomasse aérienne et souterraine aux émissions annuelles est évaluée en 13 154 411 tCO₂ (95,4%). Les autres réservoirs présentent respectivement :

- 227 232 tCO₂ pour la Matière Organique morte ;
- 398 682 tCO₂ pour les sols minéraux ;
- 5841 tCO₂ eq pour la combustion de la biomasse du CH₄ ;
- 1 626 tCO₂ eq pour la combustion de la biomasse N₂O.

La valeur totale des émissions liées à la déforestation 2016 - 2021 est de **82 726 753eq** soit **13 787 792 tCO₂ eq/an**.

Tableau 16 : Émissions de gaz CO₂ et non-CO₂ due à la déforestation, par réservoir.

Déforestation						
Année	Biomasse (tCO ₂)	DOM (tCO ₂)	Sols minéraux (tCO ₂)	Combustion de la biomasse - CH ₄ (tCO ₂ eq)	Combustion de la biomasse - N ₂ O (tCO ₂ eq.)	Émissions déforestation (tCO ₂ eq.)
2017	13 154 411	227 232	398 682	5 841	1 626	13 787 792
2018	13 154 411	227 232	398 682	5 841	1 626	13 787 792
2019	13 154 411	227 232	398 682	5 841	1 626	13 787 792
2020	13 154 411	227 232	398 682	5 841	1 626	13 787 792
2021	13 154 411	227 232	398 682	5 841	1 626	13 787 792
2022	13 154 411	227 232	398 682	5 841	1 626	13 787 792
total	78 926 465	1 363 395	2 392 093	35 045	9 755	82 726 753
	95,4%	1,6%	2,9%	0,04%	0,01%	100%

IV.2.2 Émissions de gaz CO₂ et non-CO₂ dues à la dégradation forestière, par réservoir

Le tableau 17 présente la valeur moyenne annuelle des émissions de gaz CO₂ et non-CO₂ due à la dégradation dans la période allant de 2016 à 2021 par réservoir. Il en ressort que la biomasse en tCO₂ est évaluée 5 861 104 par an. Les autres réservoirs présentent respectivement par année :

- 23 600 tCO₂ eq pour la Matière Organique ;
- 34 763 tCO₂ eq pour la combustion de la biomasse du CH₄ ;
- 9 677 tCO₂ eq pour la combustion de la biomasse N₂O.

La valeur totale des émissions liées à la dégradation pour la période 2016 - 2021 est de 35 574 860 tCO₂ eq soit 5 929 143 tCO₂ eq/an.

Tableau n°17 : Émissions de gaz CO₂ et non-CO₂ dues à la dégradation forestière, par réservoir.

Dégradation forestière						
Année	Biomasse (tCO ₂)	DOM (tCO ₂)	Sols minéraux (tCO ₂)	Combustion de la biomasse - CH ₄ (tCO ₂ eq)	Combustion de la biomasse - N ₂ O (tCO ₂ eq.)	Émissions Dégradation (tCO ₂ eq.)
2017	5 861 104	23 600	0	34 763	9 677	5 929 143
2018	5 861 104	23 600	0	34 763	9 677	5 929 143
2019	5 861 104	23 600	0	34 763	9 677	5 929 143
2020	5 861 104	23 600	0	34 763	9 677	5 929 143
2021	5 861 104	23 600	0	34 763	9 677	5 929 143
2022	5 861 104	23 600	0	34 763	9 677	5 929 143
total	35 166 624	141 601	0	208 575	58 059	35 574 860
	98,9%	0,4%	0%	0,6%	0,2%	100%

IV.2.3 Émissions de gaz CO₂ et non-CO₂ dues à la déforestation et à la dégradation forestière, par réservoir

En termes de réservoirs, la perte du stock de carbone de la biomasse (aérienne et souterraine) représente 96,4 % des émissions considérées dans le NERF (tableau 18). Les gaz non-CO₂ issus de la combustion de la biomasse aérienne, bois mort et litière, lors de l'utilisation du feu dans le processus de déforestation et dégradation, ont contribué à 0,26% du NERF (51 905tCO₂ eq/an).

Sur la période 2016 à 2022, le total des émissions déforestation/dégradation est estimé à 118 301 613(tCO₂ eq.).

Tableau 18 : Émissions de gaz CO₂ et non-CO₂ due à la déforestation et à la dégradation forestière, par réservoir

NERF : Déforestation + Dégradation						
Année	Biomasse (tCO ₂)	DOM (tCO ₂)	Sols minéraux (tCO ₂)	Combustion de la biomasse - CH ₄ (tCO ₂ eq)	Combustion de la biomasse - N ₂ O (tCO ₂ eq.)	Total (tCO ₂ eq.)
2017	19 015 515	250 833	398 682	40 603	11 302,41	19 716 935
2018	19 015 515	250 833	398 682	40 603	11 302,41	19 716 935
2019	19 015 515	250 833	398 682	40 603	11 302,41	19 716 935
2020	19 015 515	250 833	398 682	40 603	11 302,41	19 716 935
2021	19 015 515	250 833	398 682	40 603	11 302,41	19 716 935
2022	19 015 515	250 833	398 682	40 603	11 302	19 716 935
total	114 093 089	1 504 996	2 392 093	243 620	67 814	118 301 613
	96,4%	1,3%	2,0%	0,21%	0,06%	100%

IV.3 Résultat de l'ajustement des émissions liées à la déforestation et la dégradation forestière pour la période 2022-2026

Le tableau 19 présente le stock de carbone disponible dans les forêts du domaine forestier national en 2022.

Tableau n°19 : Stocks de carbone forestier disponible en 2022.

Strates forestières	Superficie par type de forêt en 2022	Densité de carbone dans la biomasse aérienne + biomasse souterraine + bois mort	Densité de carbone dans la litière	Densité de carbone BA+BS+BM+L	Stock de carbone total
	[ha]	tC/há	tC/há	tC/há	tC/type
Forêt claire	623 240,3	86	2,1	88,1	54 907 470
Forêt dense	16 277 006,5	161	2,1	163,1	2 654 779 763
Forêt galerie	782 011,2	36	2,1	38,1	29 794 629
Forêt marécageuse	2 089 408,4	126	2,1	128,1	267 653 215
Forêt secondaire	3 400 125,2	129,5	2,1	131,6	447 456 478
Plantation forestière	27 238,6	111	2,1	113,1	3 080 690
Reboisement	34 873,6	109	2,1	111,1	3 874 458
Forêts dégradées	293 994,1	109	2,1	111,1	32 662 743
Total	23 527 898,0				3 494 209 446
Cap relatif à l'ajustement : 0,10%			Ajustement [tCO2/an]:		12 812 101

Sur la base de ces circonstances nationales d'émissions potentielles, l'ajustement calculé est estimé à **12 812 101 tCO2.eq/an**.

L'ajustement du NERF historique a été fait sur la base des circonstances nationales, conformément à la Décision 4/CP.15 sur les principes méthodologiques concernant les activités liées à la réduction des émissions résultant du déboisement et de la dégradation des forêts et le rôle de la conservation, de la gestion durable des forêts et de l'accroissement des stocks de carbone forestiers dans les pays en développement. Cette Décision stipule ce qui suit en son paragraphe 7 « La Conférence des Parties, Reconnaît que, lorsqu'ils établissent pour les forêts des niveaux de référence des émissions (NERF) et autres niveaux de référence (NRF), les pays en développement parties devraient le faire en toute transparence, **en tenant compte des données chronologiques, et effectuer des ajustements en fonction des situations nationales**, conformément aux décisions pertinentes de la Conférence des Parties ».

IV.4 Améliorations à partir du premier NERF

Lors de la précédente soumission du Niveau de Référence, certains axes d'améliorations avaient été identifiés lors de l'évaluation technique⁸.

La présente version révisée du NERF a réussi à incorporer les suggestions faites par l'évaluation technique citée ci-haut. Les principales améliorations apportées dans le NERF révisé sont les suivantes :

- La prise en compte des stocks de carbone à la suite du déboisement : la collecte des données d'activités via la plateforme CEO ; ce qui a permis de mieux documenter l'occupation du sol avant et après les changements ;
- L'amélioration de l'équation du ratio entre la biomasse souterraine et aérienne en utilisant dans cette version révisée la valeur par défaut disponible dans l'étude de Mokany et al. (IPCC, 2019) ;
- L'amélioration de la prise en compte de la dégradation forestière en ayant notamment évolué de l'approche initiale de suivi par proxys vers une approche spatialement explicite issue des données de télédétection ;
- L'inclusion de nouvelles émissions avec la quantification de la biomasse brûlée et donc la considération des gaz suivants : méthane et protoxyde d'azote ;
- L'inclusion de réservoirs supplémentaires que sont la litière et le bois mort, pour les émissions dues à la déforestation et à la dégradation forestière ;
- La prise en compte des définitions nationales de la déforestation et de la dégradation forestière.

IV.5 Domaines pour améliorations futures

Certaines améliorations sont attendues dans la prochaine soumission révisée, il s'agira entre autres de :

- L'augmentation du nombre d'échantillons à interpréter visuellement en vue d'améliorer, notamment, les intervalles de confiance par type de trajectoires de changements ;
- L'amélioration des facteurs d'émissions pour la déforestation et la dégradation forestière à partir de relevés de données in situ ;
- L'optimisation de la calibration du modèle de probabilités pour améliorer le ratio de changements détectés puis confirmés ;
- La consolidation de l'analyse des incertitudes ;
- La consolidation des mesures de carbone du sol dans la forêt marécageuse ;

⁸ <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2016/tar/cog.pdf>

- Les tourbes représentent un important réservoir de carbone, même si ce réservoir n'est pas encore affecté par les activités anthropiques dans le passé, il pourrait être affecté dans le futur.

Conclusion

La soumission révisée du NERF reflète clairement les progrès réalisés de la République du Congo depuis l'évaluation technique en 2017 de son précédent NERF.

Plusieurs aspects cruciaux ont été améliorés, notamment :

- l'utilisation optimisée des données de l'Inventaire Forestier National ;
- les avancées notables réalisées dans la prise en compte des activités, avec une intégration réussie de la détection directe de la dégradation forestière par télédétection ;
- les estimations des émissions plus élaborées sur la base des données d'activités plus précises et les outils modernes d'analyse des échantillons ;
- la comptabilisation des nouveaux gaz (CH₄ et N₂O) et réservoirs (Carbone organique du sol et litière) non pris en compte dans la première soumission du NERF.

Le NERF révisé, construit sur la base des données historiques et ajustées suivant les circonstances nationales du pays, est estimé à **32 529 037t CO₂ eq/an** réparti comme suit :

- Emissions Historiques : **19 716 935t CO₂ eq/an soit 61 %**
- Ajustement : **12 812 101t CO₂ eq/an soit 39%**

Le NERF initial de la République du Congo, approuvé par la CCNUCC en 2017 était estimé à **35 475 652 t CO₂ eq/an** réparti comme suit :

- Emissions Historiques : **19 208 572 t CO₂ eq/an soit 54,15%**
- Ajustement : **16 267 080 t CO₂ eq/an soit 45,85%**

La République du Congo signataire de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, du Protocole de Kyoto et de l'Accord de Paris sur le Climat poursuit sans relâche son engagement aux efforts de gestion durable des forêts, de conservation de la biodiversité et d'accroissement de stocks de Carbone via l'Afforestation, le Reboisement et l'Agroforesterie. C'est en cela, qu'elle met à contribution les multi-acteurs nationaux et internationaux pour affiner son document portant sur le NERF basé sur les émissions historiques et les absorptions.

Conformément à la décision 12/CP 17, paragraphe 10, le NERF révisé et ajusté aux perspectives de développement du pays, permet à la République du Congo de poursuivre une démarche progressive et consensuelle, confirmant son statut de pays à fort couvert forestier et à faible taux de déforestation/dégradation.

Références Bibliographiques

- Baccini, A, et al, 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps, *Nature Climate Change*, Vol 2, 10.1038/NCLIMATE1354, 2012.
- Bastin, J.-F., Barbier, N., Couteron, P., Adams, B., Shapiro, A., Bogaert, J. and De Cannière, C. (2014), Aboveground biomass mapping of African forest mosaics using canopy texture analysis: toward a regional approach. *Ecological Applications*, 24: 1984–2001.
- Billand A., Gourlet-Fleury, S., Sarrailh J-M. 2008. Variation des paramètres carbone selon différents contextes d'exploitation. Atelier COMIFAC, Paris.
- Blanc, L., Echard, M., Herault, B., Bonal, D., Marcon, E., Chave, J., Baraloto, C., 2009. Dynamics of aboveground carbon stocks in a selectively logged tropical forest. *Ecol. Appl.* 19, 1397–1404.
- BRLI/ CN-REDD, 2014. Etude de la spatialisation et de la pondération des causes de la déforestation et de la dégradation forestières et analyse des options stratégiques, proposées par le R-PP de la République du Congo. Brazzaville, 265 p.
- CAFI/FAO 2022 Etude sur la déforestation et la dégradation des forêts et les facteurs directs à l'aide de SEPAL
- Chave J, Rejou-Mechain M, Burquez A, Chidumayo E, Colgan MS, Delitti WBC, Duque A, Eid T, Fearnside PM, Goodman RC, Henry M, Martinez-Yrizar A, Mugasha WA, Muller-Landau HC, Mencuccini M, Nelson BW, Ngomanda A, Nogueira EM, Ortiz-Malavassi E, Pelissier R, Ploton P, Ryan CM, Saldarriaga JG, Vieilledent G. Improved allometric models to estimate the above ground biomass of tropical trees. 2014. *Global Change Biology*. DOI: 10.1111/gcb.12629
- CNIAF-FAO, 2010 Inventaire forestier national du Congo. Manuel de terrain version 8, Brazzaville 2010
- CNIAF/MEFDD, 2005. Directives nationales d'aménagement durable des forêts naturelles su Congo
- CNIAF/MEFDD, 2015. Résultats des calculs pour déterminer la biomasse, le carbone et les facteurs d'émission de l'Inventaire Forestier National (IFN) en République du Congo. Brazzaville. 40p.
- CN-REDD/ Congo, 2011. Proposition pour la préparation à la REDD+ (RPP) République du Congo. Version finale. Brazzaville, 214 p.
- CN-REDD/ Congo, 2014b. Rapport général de l'atelier national sur la définition « forêt » dans le contexte de la REDD+ en République du Congo dans le cadre du processus REDD+. Brazzaville, 27 p.

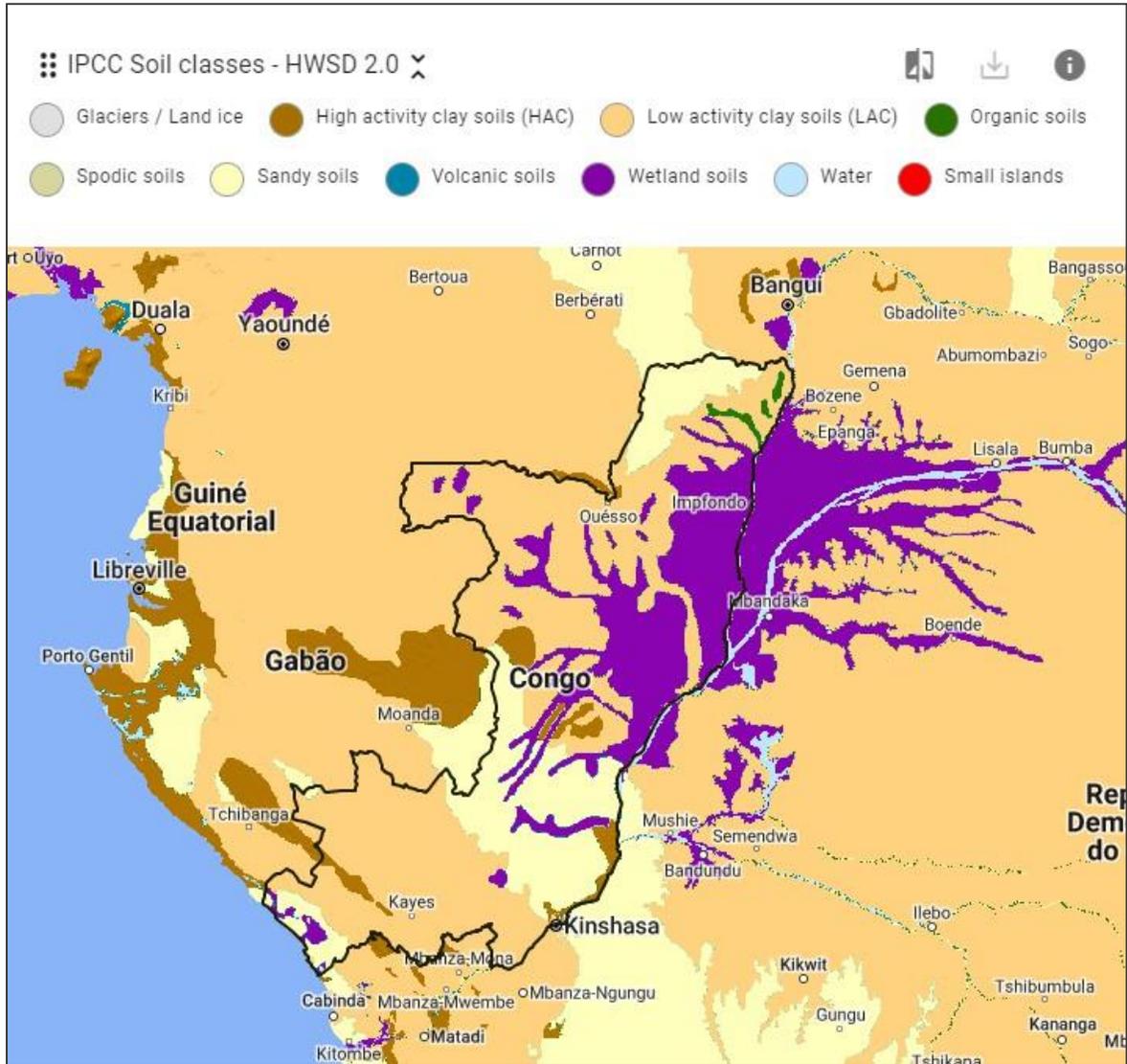
- Crezee, B., Dargie, G. C., Ewango, C. E. N. et al. Mapping peat thickness and carbon stocks of the central Congo Basin using field data. *Geosci.* 15, 639-644 (2022)
- DSRP, 2007. Document de stratégie de réduction de la pauvreté de la République de Congo, ministère du Plan, 126p.
- E. S. (1954) Continuous inspection schemes. *Biometrika*, 42, 100–115.
- FAO, 2003. Code régional d'exploitation forestière à faible impact dans les forêts denses tropicales humides d'Afrique centrale et de l'Ouest. Food and Agriculture Organization of the United Nations 2003
- Feldpausch, T. R., Rondon, M. A., Fernandes, E. C. M., Riha, S. J., and Wandelli, E.. 2004. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia, *Ecol. Appl.*, 14, S164–S176, doi:10.1890/01-6015.
- Fittkau, E. J. and Klinge, H.. 1973. On biomass and trophic structure of the central Amazonian rain forest ecosystem, *Biotropica*, 5, 2– 14.
- FAO. 2005. Global Forest Resources Assessment 2005- Country Report - Congo, Rome.
- FAO. 2010. Global Forest Resources Assessment 2010- Country Report - Congo, Rome. 72pp/
- GAF. 2013. SGDE Suivi Forestier Extension des Services REDD. S – Rapport des opérations de service pour la République du Congo – phase 3.
- GFOI. 2013. 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 Observations Initiative: Pub: Group on Earth Observations, Geneva, Switzerland, 2014
- GIEC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.
- GIEC. 2006. Lignes directrices 2006 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Volume 4: Agriculture, foresterie et autres affectations des terres. Chapitre 3 : représentation cohérente des terres. GIEC, 47p. www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/pdf/4_Volume4/V4_03_Ch3_Representation.pdf
- Gourlet-Fleury, S., F. Mortier, A. Fayolle, F. Baya, D. Ouédraogo, F. Bénédet et N. Picard. 2013. Tropical forest recovery from logging: a 24 year silvicultural experiment from Central Africa. *Phil. Trans. R. Soc. B* 2013 368, 20120302

- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. 2013. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." *Science* 342 (15 November): 850–53. Data available on-line from: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>.
- Henry M., Besnard A. , Asante W. A. et al.. 2010. "Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa," *Forest Ecology and Management*, vol. 260, no. 8, pp. 1375–1388, 2010
- L. urso et al "Use of random forest algorithm for predictive modelling of transfer factor soil-plant for radiocaesium: a feasibility study " - *journal of environmental radioactivity* 270 (2023) 107309.
- MEPAI, 2012. Ministère de l'Economie, du Plan, de l'Aménagement du territoire et de l'Intégration. Plan National De Développement - Document de Stratégie pour la croissance, l'emploi et la réduction de la pauvreté (DSCERP) 2012-2016. Brazzaville, 2012, 398pp.
- Ministère du Plan, de la Statistique et de l'Intégration Régionale. 2023. Résultat préliminaire du 5^e Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH) de 2007.
- Ngomanda A, Engone Obiang NL, Lebamba J, Moundounga Mavouroulou Q, Gomat H, Mankou GS, Loumeto J, Midoko Iponga D, Kossi Ditsouga F, Zinga Koumba R, Botsika Bobé KH, Mikala Okouyi C, Nyangadouma R, Lépengué N, Mbatchi B, Picard N. 2014 Site-specific versus pantropical allometric equations: which option to estimate the biomass of a moist central African forest? *For Ecol Manage* 312:1–9. doi:10.1016/j.foreco. 2013.10.029
- Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C.E., Wulder, M. A. 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148:42–57.
- Olson, D., Dinerstein,, E., Wikramanayake,, Eric D., Burgess, N., Powell. G, Underwood, E., D'amico, J., Itoua, I., Strand, H., Morrison, J., Loucks, G., Allnutt, T., Ricketts, T., Kura, Y., Lamoreux, J., Wettengel, W, Hedao, P. and Kassem, K., 2001. Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth. A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience*, 2001, Volume 51, Issue 11. Pp. 933-938
- République du Congo 2017, Niveau d'Emissions de Référence pour les Forêts (NERF), 92p.
- République du Congo, 2020. Inventaire forestier national multiressource de la République du Congo 2009-2014. Tome1: Estimation des facteurs d'émission pour le niveau d'émissions de référence pour les forêts

- République du Congo, 2020. Inventaire forestier national multiressource de la République du Congo 2009-2014. Tome 2: Étendue et potentialités des ressources forestières ligneuses..
- République du Congo, 2020. Inventaire forestier national multiressource de la République du Congo 2009-2014. Tome 3 : Méthodologie et mise en oeuvre, Brazzaville.
- République du Congo 2020, Loi n°33 – 2020 du 08 Juillet 2020, Portant code Forestier 92p
- Rutishauser, E., Wagner, F., Herault, B., Nicolini, E.A., Blanc, L. 2010. Contrasting above-ground biomass balance in a Neotropical rain forest. *Jour. Vege. Science* 21, 672–682.
- Sassan Saatchi et al. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents.” *PNAS* June 3, 2011.
- Sayre, R., J. Dangermond, C. Frye, R. Vaughan, P. Aniello, S. Breyer, D. Cribbs, D. Hopkins, R. Nauman, W. Derrenbacher, D. Wright, C. Brown, C. Convis, J. Smith, L. Benson, D. Paco VanSistine, H. Warner, J. Cress, J. Danielson, S. Hamann, T. Cecere, A. Reddy, D. Burton, A. Grosse, D. True, M. Metzger, J. Hartmann, N. Moosdorf, H. Dürr, M. Paganini, P. DeFourny, O. Arino, S. Maynard, M. Anderson, and P. Comer. 2014. A New Map of Global Ecological Land Units — An Ecophysiographic Stratification Approach. Washington, DC: Association of American Geographers. 46 pages.
- Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G., & Culvenor, D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114, 106-115.
- Zanne AE, Lopez-Gonzalez G, Coomes DA, Ilic J, Jansen S, Lewis SL, Miller RB, Swenson NG, Wiemann MC, Chave J. 2009. Global Wood Density Database. <http://datadryad.org/resource/doi:10.5061/dryad.234>
- Zapfack, L., Noumi, N., & Zemagho, L. 2013. Deforestation and carbon stocks in the surroundings of Lobéké National Park (Cameroon) in the Congo Basin. *Environ Nat Resour Res.*, 3(2), p78.
- <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2016/tar/cog.pdf>
- <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/docs/2016/tar/cog.pdf>
- <https://www.fao.org/3/x0596e/x0596e00.htm>
- <https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/latest/tool-reference/image-analyst/analyze-changes-using-ccdc.htm>
- https://www.openmrv.org/fr/w/modules/mrv/modules_2/landtrendr
- www.sepal.iohttps://github.com/cniac/syna_mnv

Annexes

Annexe 1 : Classes d'Occupation des sols du GIEC



Annexe 2 : Déroulement des étapes de travail pour la production des données d'activités via l'approche eSBAE.

Les méthodes reconnues utilisées dans le cadre du suivi des changements forestiers ces dernières années (Olofsson 2013, 2014) basées sur l'estimation des superficies par échantillonnage (Sample-Based Area Estimation - SBAE), soit une combinaison de carte et d'interprétation visuelle d'échantillons, ont révélé plusieurs difficultés, notamment en termes de précision. En effet, l'approche par échantillonnage stratifié en vue de garantir la représentativité de toutes les strates, a pu conduire dans certains exercices, à l'introduction d'importants biais notamment en raison de la grande différence de superficies entre ces strates et de leurs sensibilités aux erreurs d'omissions d'échantillons de changements (Olofsson, 2020).

Pour répondre à ces défis, la FAO a complété l'approche initiale SBAE, par la méthode eSBAE (Ensemble Sample-Based Area Estimation) qui combine l'apprentissage automatique à l'interprétation visuelle des changements. eSBAE permet d'évaluer la dynamique des forêts et mobilise des solutions de cloud-computing et des outils open-source pour cartographier les perturbations et quantifier les facteurs directs de la déforestation et de la dégradation des forêts et répond aux besoins des pays en termes de standardisation et d'automatisation des chaînes de traitement en vue d'améliorer la vitesse de production et la fiabilité des données grâce à de puissants outils de calculs.

- **eSBAE “Ensemble Sample-Based Area Estimation” Ou “Approche ensembliste pour l'estimation par échantillonnage des superficies”**

Cette approche repose sur l'intégration au sein d'une même interface de l'ensemble des étapes qui concourent à la production des données pour la mesure, la notification et la vérification des activités REDD+ et d'autres normes de carbone. La méthode s'appuie, à partir d'une large grille d'échantillonnage qui capture les changements avec un niveau de confiance suffisant, sur une combinaison d'algorithmes de détection de changements, d'analyse dense de séries chronologiques et d'interprétation visuelle humaine en vue d'entraîner un modèle de probabilités de changements. In fine, le traitement de ces données subit plusieurs itérations qui vont permettre d'améliorer le modèle et de produire une classification finale.

eSBAE s'appuie sur un ensemble de carnets de notes de code produits via l'application Jupyter Notebook, l'ensemble étant directement intégré au sein de

la plateforme SEPAL⁹ (Système pour l'accès, le traitement et l'analyse des données pour la surveillance des terres). eSBAE est principalement basé sur la bibliothèque python « sampling-handler » qui fournit toutes les fonctionnalités sous-jacentes nécessaires aux différents traitements réalisés. Les carnets de note éliminent le lourd fardeau du codage de chaque élément et l'utilisateur n'a plus qu'à renseigner certaines variables d'entrée spécifiques qui définiront ses besoins personnalisés.

Les carnets de note sont similaires tout au long du processus, seuls les paramètres spécifiques au travail en cours, changent ; l'exécution successive des différents carnets assure le bon fonctionnement de l'ensemble du process. Deux éléments relient les résultats de chaque carnet : le nom du projet et un fichier de configuration sous-jacent.

Le flux de travail repose sur les étapes suivantes :

- (a) Production de la grille d'échantillonnage ;
- (b) Extraction des séries temporelles ;
- (c) Détection automatique des changements ;
- (d) Stratification de la grille ;
- (e) Extraction et interprétation des échantillons ;
- (f) Contrôle qualité des échantillons ;
- (g) Stratification et résultat.

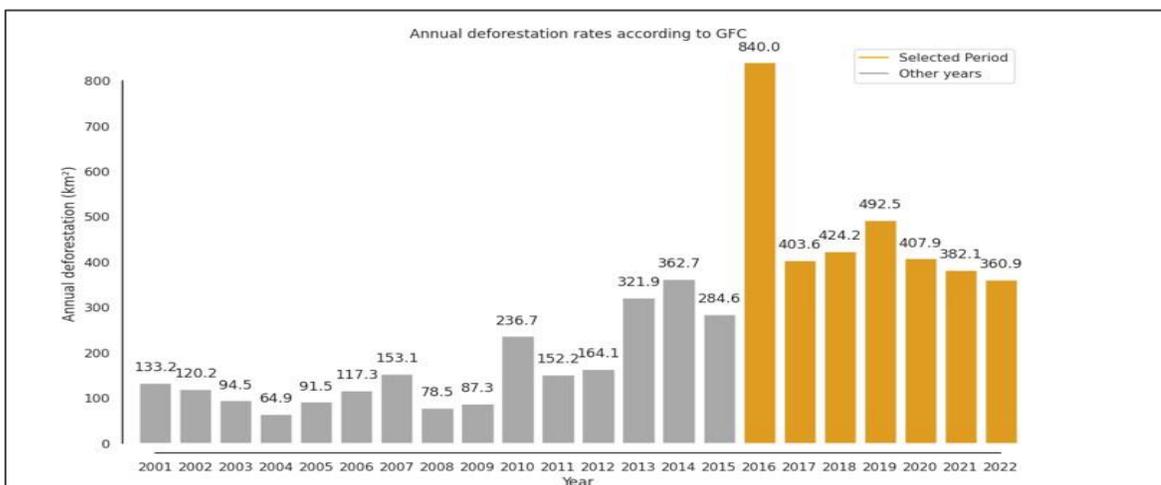
L'ensemble du matériel relatif à la méthode eSBAE pour le Congo est disponible sur le dépôt GitHub de l'institution CNIAF : https://github.com/cniaf/syna_mnv¹⁰.

- **Production de la grille d'échantillonnage**

L'intensité de l'échantillonnage a été calculée à partir de plusieurs simulations faites sur les pertes du couvert forestier du produit Global Forest Change (GFC). Au préalable, l'étendue temporelle, soit la période de suivi, 2016-2022, et les seuils de définition de la forêt, soit une couverture arborée minimale de 30% et l'unité minimale de cartographie de 0.5 ha, ont été définis afin de considérer un ensemble de pixel définis comme forêt, dans le contexte congolais.

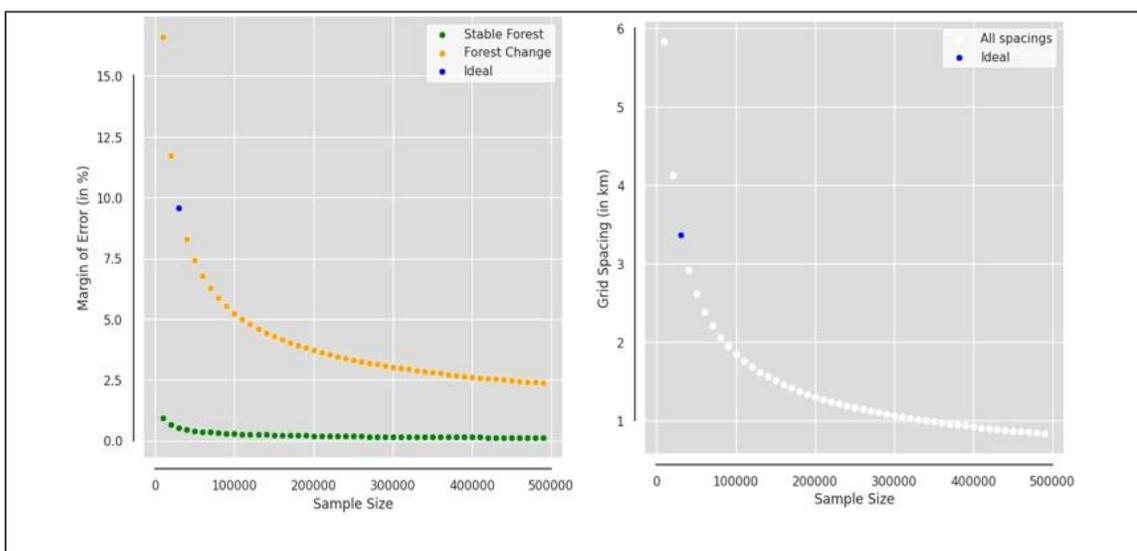
⁹ www.sepal.io

¹⁰ Le dépôt GitHub est en cours d'actualisation



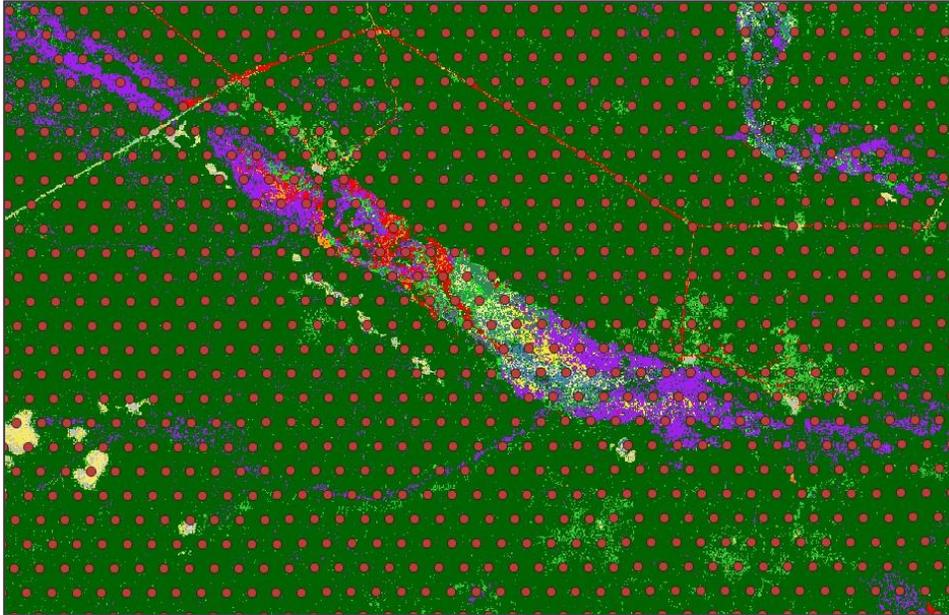
Estimation des pertes du couvert forestier - GFC 2016-2022

La taille minimale de l'échantillonnage est définie sur la base de la formule de Cochran (1963) à partir d'une marge d'erreur tolérée, 10%, d'un niveau de confiance souhaité, 90% et sur la base des statistiques forestières précédemment extraites en procédant à plusieurs itérations.



Marge d'erreur et espacement de grille pour le calcul de l'intensité de l'échantillonnage

Une grille a été créée à partir d'un échantillonnage systématique sur la base des paramètres définis afin de capter un maximum de changements. La grille a été quadrillée à 1 km, ce qui a donné pour le Congo, un total de 291 595 échantillons.



Grille d'échantillonnage dense - 1km

- **Extraction des séries temporelles**

En faisant appel aux ressources de Google Earth Engine, la deuxième étape consiste à observer une grande quantité de séries chronologiques d'images Landsat sur une période légèrement plus étendue que la période de suivi, soit 2015 – 2023 afin d'en extraire les informations suivantes :

- Réflectance des bandes spectrales appropriées, ici deux bandes du spectre visible (rouge/vert), le proche infra-rouge (NIR) et le moyen infra-rouge (SWIR 1 et 2)
- Indices de télédétection : le NDFI ou « Normalized Difference Forest Index » qui à partir d'un ratio entre bandes spectrales permet de distinguer les zones avec une densité de canopée forestière et une quantité de biomasse verte (photo-synthétiquement active) différentes. Cet indice est particulièrement utile pour le suivi des changements dans les régions où les forêts sont mélangées avec d'autres types d'occupation du sol
- La luminosité, l'humidité et la couverture végétale à partir de la fonction « Tasseled Cap » (Kauth-Thomas), une méthode d'analyse des données multispectrales qui permet de mettre en évidence des composantes contenues dans les données de télédétection.

Ces informations sont extraites et associées à chacun des points de la grille d'échantillonnage.

- **Détection automatique des changements**

Cette étape consiste à exécuter différents algorithmes de détection automatique des changements pour chacun des points de la grille d'échantillonnage. Ces informations viennent compléter les données des séries chronologiques extraites au cours de l'étape précédente. Les algorithmes utilisés sont les suivants :

Explication des algorithmes de changement intégré dans eSBAE

Algorithme	Informations
Cumulative Sum Control Chart (CuSum)	CuSum est utilisé pour détecter les changements au sein d'une série chronologique en surveillant l'accumulation des écarts par rapport à une moyenne de référence ⁴
Breaks For Additive Season and Trend (BFAST)	A partir d'un modèle historique défini comme stable, l'algorithme BFAST identifie les points de changements qui s'éloigne de la tendance, au sein d'une série chronologique ¹¹
Continuous Change Detection and Classification (CCDC)	CCDC détecte et suit en continu des changements de l'occupation du sol en identifiant les variations des valeurs des pixels au sein d'une série chronologique ¹²
Landscape Treatment Restoration Energy Detection and Reduction (LandTrend)	LandTrend identifie et caractérise les changements à long terme de la couverture terrestre ; son fonctionnement consiste « à distiller une trajectoire spectrale pluriannuelle en segments linéaires séquentiels qui saisissent de manière adéquate le caractère de ces changements progressifs, puis à exploiter cette restitution simplifiée des séries chronologiques pour en extraire des informations utiles ¹³ ».

Cette étape permet également l'extraction des métriques des séries chronologiques, ce sont des indicateurs statistiques utilisés pour caractériser les propriétés des séries temporelles tels que la moyenne, la variance, l'écart-type.

¹¹ Page, E.S. (1954) Continuous inspection schemes. *Biometrika*, 42, 100–115.

⁵ Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G., & Culvenor, D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114, 106-115.

⁶ <https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/latest/tool-reference/image-analyst/analyze-changes-using-ccdc.htm>

⁷ https://www.openmrv.org/fr/w/modules/mrv/modules_2/landtrendr

Enfin, sont aussi extraites les informations des classes de différents produits globaux tels que les produits de la couverture du sol de l'ESA, de l'ESRI, du GFC et du JRC (TMF).

- **Intersection des données eSBAE et stratification de la grille d'échantillonnage**

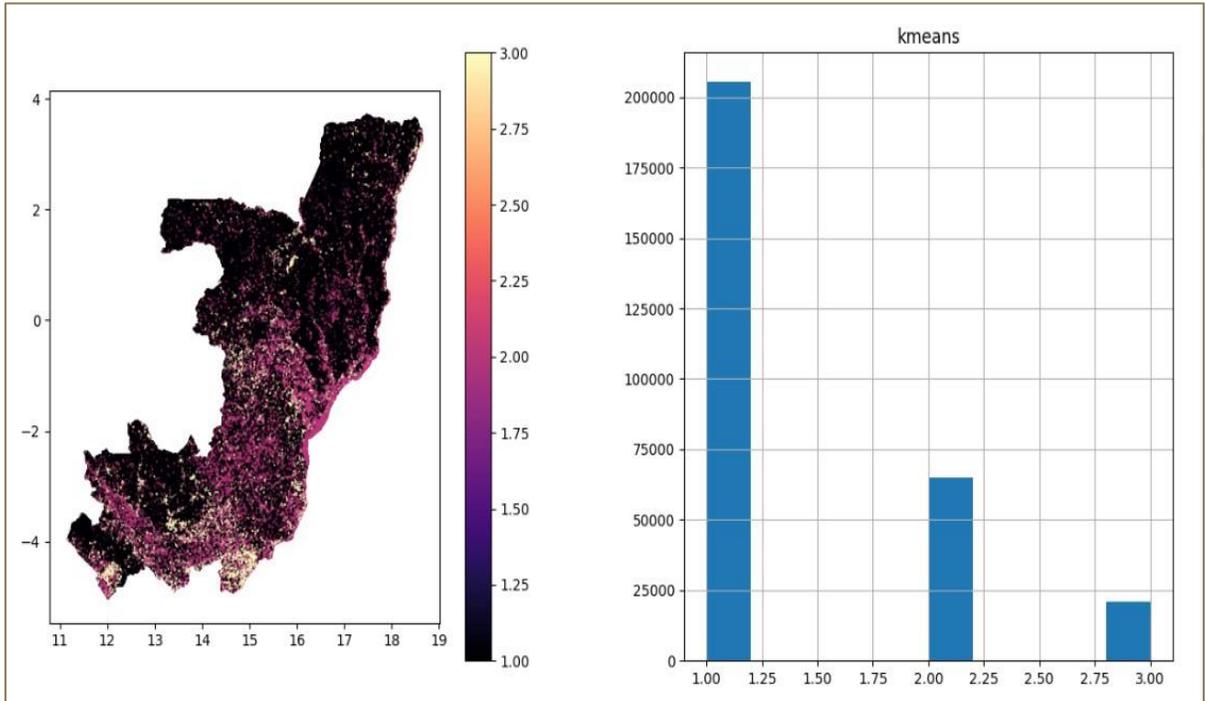
Afin de disposer d'une base de données solide et consolidée, la grille d'échantillonnage contenant l'ensemble des informations des séries chronologiques précédemment extraites, est combinée avec la base de données de l'étude régionale¹⁴. Cette base de données contient 13,115 échantillons collectés à l'échelle de la sous-région sur la période 2015-2020 ; les informations de classification sont issues d'une interprétation visuelle humaine ; et afin de minimiser autant que possible l'introduction de biais, chaque point de cette base de données a été revu 3 fois par des interprètes différents ; ces données sont une base fiable et robuste qui guideront la classification supervisée.

En effet, à partir des données d'entraînements issues de l'étude régionale CAFI et des informations statistiques des séries chronologiques tirées sur la grille d'échantillonnage, une classification supervisée appuyée par l'algorithme « Random Forest » (Breiman, 2001) en vue de produire un modèle de probabilité de changements réels a été effectuée. Random Forest (*Random Forest*, Breiman, 2001) est un algorithme solide et reconnu dans le domaine de la modélisation prédictive ¹⁵qui combine les résultats de plusieurs arbres de décision pour obtenir un résultat unique (Breiman 2001).

Le modèle de probabilité des changements est ensuite stratifié en 3 classes distinctes : « pas de changements », « changements potentiels », « haute probabilité de changements ». La stratification est réalisée à partir de l'algorithme K-Means, un puissant algorithme de clustering (regroupement) non supervisé, qui utilise un ensemble d'attributs pour diviser un jeu de données en plusieurs groupes distincts.

⁸ Étude CAFI/FAO sur la déforestation et la dégradation des forêts et les facteurs directs à l'aide de SEPAL

⁹ L. urso et al "Use of random forest algorithm for predictive modelling of transfer factor soil-plant for radiocaesium: a feasibility study " - journal of environmental radioactivity 270 (2023) 107309



Stratification des points par probabilité de changements

Des échantillons sont ensuite extraits à partir de cette stratification, en vue d'être interprétés et validés visuellement au sein de la plateforme Collect Earth Online.

- **Système d'échantillonnage et Interprétation des échantillons**

Au total, 3000 échantillons ont été extraits, mais 2817 ont finalement pu être interprétés visuellement par dix interprètes. Le détail de la collecte et du contrôle qualité est donné dans la section sur la production des données d'activités.

Les informations extraites des séries chronologiques et les données d'entraînement issues de l'interprétation visuelle via Collect Earth Online sont ensuite combinées pour générer un nouveau modèle de probabilités de changements sur la base d'une classification supervisée produite avec l'algorithme « Balanced Random Forest ». Un seuil de confiance est ensuite appliqué sur le modèle de probabilités de changements pour transformer ces estimations en une classification binaire (changements et non changements).

Annexe 3 : Harmonisation de la classification nationale avec les classes du GIEC

En 2021, le Congo a participé avec cinq autres pays d'Afrique Centrale, à une étude spécifique sur « l'estimation de la déforestation et de la dégradation des forêts et des facteurs directs actuels et historiques associés à ces processus à l'aide de SEPAL ». Pour ce faire, cette étude a capitalisé l'approche du travail de Verhegghen et al 2012 au cours duquel un système de classification régionale de 20 classes, traduit en langage LCML¹⁶, avait été développé pour la création d'une carte régionale à une résolution de 300 m.

L'UCL a poursuivi cette initiative en créant une classification régionale pour la cartographie des forêts pour la COMIFAC, composée de 29 classes, dont 16 sont des forêts. Le projet sur l'estimation de la déforestation et de la dégradation des forêts et des facteurs directs en Afrique centrale, s'est appuyé sur une agrégation de ces classes également traduite en LCML au sein du LCCS-v3.

La stratification des classes nationales pour collecter les données d'activités, est le fruit d'une harmonisation au niveau national de la classification de l'étude régionale CAFI précédemment citée. Après avoir définis la stratification nationale, cette dernière a été harmonisée en fonction des classes du GIEC

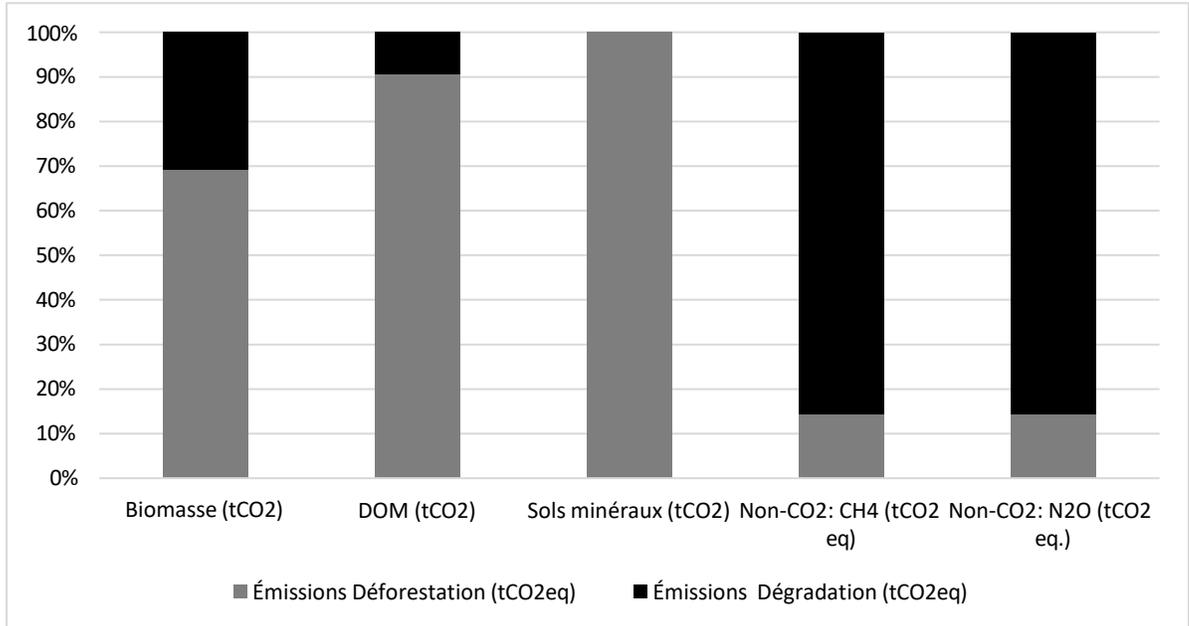
Harmonisation de la classification nationale avec les classes du GIEC

Proposition des classes en fonction des classes du GIEC			
GIEC	Niveau 1	Niveau 2	Classe propose
Terres forestières	Forêt naturelle	Forêt naturelle sur terre ferme	Forêt dense sur terre ferme
			Forêt galerie
			Forêt secondaire sur terre ferme
			Forêt claire
			Forêt claire secondaire
			Mangrove
	Forêt naturelle marécageuse	Forêt dense marécageuse	
		Forêt secondaire marécageuse	
Forêt plantée			
Terres cultivées			Terres cultivées permanentes
			Terres cultivées annuelles
Prairies/Savanes			Savane arborée/arbustive
			Savane herbeuse

¹⁰ Land Cover Classification System <https://www.fao.org/3/x0596e/x0596e00.htm>

Proposition des classes en fonction des classes du GIEC			
GIEC	Niveau1	Niveau 2	Classe propose
Terres humides			Prairie aquatique
Etablissements	Route		Zone bâtis
	espace batis		
Autres terres	Autres terres		Sol nu végétation épars
			Eau

Annexe 4 : Contribution de la déforestation et de la dégradation aux émissions nettes par réservoir. La déforestation est la source principale des émissions des gaz CO₂ e non-CO₂.



Annexe 5 : Contribution de chaque réservoir aux émissions dues à la déforestation et à la dégradation forestière dans la période de référence. La biomasse (aérienne + souterraine) est le réservoir responsable pour 96% des émissions nettes.

