



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



Au service
des peuples
et des nations



PROGRAMME
ONU-REDD

REDD+
CÔTE D'IVOIRE
Réduction des Emissions de gaz à effet
de Serre issues de la Déforestation,
et de la Dégradation des Forêts

DONNÉES FORESTIÈRES DE BASE POUR LA REDD+ EN CÔTE D'IVOIRE

INVENTAIRE DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE POUR L'ESTIMATION DES FACTEURS D'ÉMISSION

DONNÉES FORESTIÈRES DE BASE POUR LA REDD+ EN CÔTE D'IVOIRE

INVENTAIRE DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE POUR
L'ESTIMATION DES FACTEURS D'ÉMISSION

Publié par

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

et

Le Secrétariat Exécutif Permanent REDD+

Abidjan, 2017

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) ou le Secrétariat Exécutif Permanent de la Commission Nationale REDD+ (SEP-REDD+) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. La mention de sociétés déterminées ou de produits de fabricants, qu'ils soient ou non brevetés, n'entraîne, de la part de la FAO ou le SEP-REDD+, aucune approbation ou recommandation desdits produits de préférence à d'autres de nature analogue qui ne sont pas cités.

Les opinions exprimées dans ce produit d'information sont celles du/des auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement les vues ou les politiques de la FAO ou du SEP-REDD.

La FAO encourage l'utilisation, la reproduction et la diffusion des informations figurant dans ce produit d'information. Sauf indication contraire, le contenu peut être copié, téléchargé et imprimé aux fins d'étude privée, de recherches ou d'enseignement, ainsi que pour utilisation dans des produits ou services non commerciaux, sous réserve que la FAO soit correctement mentionnée comme source et comme titulaire du droit d'auteur et à condition qu'il ne soit sous-entendu en aucune manière que la FAO approuverait les opinions, produits ou services des utilisateurs.

Toute demande relative aux droits de traduction ou d'adaptation, à la revente ou à d'autres droits d'utilisation commerciale doit être présentée au moyen du formulaire en ligne disponible à www.fao.org/contact-us/licence-request ou adressée par courriel à copyright@fao.org

Les produits d'information de la FAO sont disponibles sur le site web de la FAO (www.fao.org/publications) et peuvent être achetés par courriel adressé à publications-sales@fao.org

ISBN 978-92-5-209994-9 (FAO)

© FAO, 2017

Photo de couverture: ©FAO



TABLE DES MATIÈRES

I	INTRODUCTION	1
II	CONTEXTE	3
	1. Brève description de la Côte d'Ivoire	3
	2. État des forêts de la Côte d'Ivoire	4
	3. État des inventaires forestiers de la Côte d'Ivoire	5
	4. Processus REDD+ et les besoins de données sur les facteurs d'émission	6
	5. Objectif de l'inventaire de biomasse	7
III	LES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE L'INVENTAIRE DE BIOMASSE	9
	1. Les partenariats établis	9
	i. Arrangements financiers et mobilisation des ressources	9
	ii. Contribution de la FAO et de la BM	9
	iii. Contribution du Gouvernement MINSEDD/SEP-REDD+ et MINEF/ SODEFOR	10
	2. Phase de préparation	11
	i. Élaboration d'une note conceptuelle	11
	ii. Conception de la méthodologie et des fiches de terrain de l'inventaire	11
	iii. Validation nationale de la méthodologie et formation des cadres nationaux	11
	iv. Identification des équipes d'inventaire	11
	v. Renforcement de capacités des structures techniques en charge de l'inventaire	11
	vi. Remise officielle du matériel de collecte de données aux organisations partenaires	12
	vii. Organisation de la phase pilote de collecte de données	12
	viii. Finalisation de la planification des activités et début de la sensibilisation sur la campagne de collecte de données	12
	3. Phase d'exécution	13
	i. Lancement officiel des activités de terrain	13
	ii. Déploiement des équipes de sensibilisation	13
	iii. Déploiement des équipes de mesure	13
	iv. Mission de contrôle /assurance qualité	13
	v. Réception, centralisation et encodage des données	13
	vi. Apurement et conception d'une base de données agrégée	14
	vii. Analyse de données	14
	viii. Consolidations des résultats de l'inventaire biomasse	14
IV	MÉTHODOLOGIE DE L'INVENTAIRE DE BIOMASSE	17
	1. Concepts clés pris en considération	17
	i. Définition de la forêt	17
	ii. Stratification utilisée	17
	2. Plan d'échantillonnage	18
	3. Classification de l'utilisation des terres pour la collecte de la biomasse forestière	20
	4. Description d'une unité d'échantillonnage	21
	5. Relevé des informations dans le plateau	24
	6. Variables mesurées sur des arbres et des souches	25
	7. Contrôle qualité	26
	8. Méthodologie d'analyse des données de l'Inventaire de la Biomasse Forestière	27
	i. Apurement et agrégation des données	27
	ii. Estimation de la biomasse aérienne vivante	28

iii. Choix de la densité du bois	28
iv. Estimation de la biomasse souterraine	29
v. Estimation de la biomasse aérienne du bois mort	29
vi. Estimation de la biomasse souterraine du bois mort	31
vii. Calculs des Facteurs d'émission	31
V MISE EN ŒUVRE DE L'INVENTAIRE DE BIOMASSE	33
1. Composition des équipes et équipements utilisés	33
2. Matériels	35
3. Sensibilisation préalable des communautés locales et partage d'information	38
VI RÉSULTATS	39
1. Données dendrologiques et dendrométriques	39
2. Estimations de la biomasse	41
3. Estimation des facteurs d'émission	43
VII CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	45
VIII RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	47
ANNEXES	49

Liste des tableaux

Tableau 1	Classification de l'utilisation des terres pour la collecte de la biomasse forestière	20
Tableau 2	Localisation et orientation des placeaux dans une UE	21
Tableau 3	Spécifications des différentes unités de relevés	23
Tableau 4	Liste des variables mesurées	25
Tableau 5	Taux de biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne (Tx)	29
Tableau 6	Attributions de chaque membre d'une équipe	33
Tableau 7	Proportion des 20 plus importantes essences, familles et genres recensés	39
Tableau 8	Répartition de la densité par zone phytogéographique	40
Tableau 9	Répartition de la biomasse vivante par strate	41
Tableau 10	Répartition de la biomasse du bois mort par strate	41
Tableau 11	Stocks de carbone forestier des trois réservoirs par secteur	43
Tableau 12	Facteurs d'émissions des trois réservoirs par secteur	43

Liste des figures

Figure 1	Répartition des unités d'échantillonnage pour la collecte de données de la biomasse forestière	19
Figure 2	Schéma d'une unité d'échantillonnage, de placeaux et de sous-placeaux	22
Figure 3	Description d'un placeau et de sous-placeaux	22
Figure 4	Résultat compilé de la biomasse par zone phytogéographique	42

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé dans le cadre des activités du système national de surveillance des forêts pour le mécanisme REDD+ de la Côte d'Ivoire. Il n'a été possible qu'avec la participation active de :

- l'équipe FAO du Programme ONU-REDD qui a apporté un appui technique et financier à la conception, à la collecte et au traitement des données. Un remerciement particulier est adressé à Luca BIRIGAZZI, John FONWEBAN, Bi Voko KOUAME, Rose KOUASSI, Dibi N'DA, Mino RANDRIANARISON et Carlos RIANO;
- la Banque mondiale qui a apporté un appui financier à la réalisation de l'inventaire. Un remerciement particulier à Andres ESPEJO, Salimata FOLLEA et Laurent VALIERGUE;
- la SODEFOR qui a procédé à la collecte des données sur le terrain et tous les membres des équipes de collecte de données. Un remerciement spécial est adressé à Mamadou SANGARE, Directeur Général de la SODEFOR et ses collaborateurs en l'occurrence Alphonse TAPE, Bilé Valentin BAH, Konan Jean Claude KOFFI;
- la cellule S&MNV du SEP REDD+, particulièrement à Jonas ASSAMOI, Abraham BIO, Eric KONAN, Elie KOUMAN, Désirée MEH et Soulemane TRAORE.

La Côte d'Ivoire remercie ses partenaires nationaux pour avoir alimenté les réflexions menées et pris part à la réalisation de la présente activité. Il s'agit:

- de la Société de développement des forêts (SODEFOR);
- de l'Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR);
- de l'Université Félix Houphouët Boigny (UFHB) en particulier le Centre National de Floristique (CNF);
- du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA)/Forêt et Environnement;
- de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (INPHB) /École Supérieure d'Agronomie (ESA);
- du Centre Suisse de Recherche Scientifique (CSRS);
- du Bureau National d'Études Techniques et de Développement (BNETD);
- de la société civile (OI-REN).

Un remerciement spécial est adressé à Marcel YAO et à Napari YEO, Coordonnateur par intérim du Secrétariat Exécutif Permanent de la REDD+.

Et une pensée spéciale aux agents de la SODEFOR qui nous ont quittés après les travaux, Alphonse AMON et Vassina BAMBA .

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AFD	Agence Française de Développement	OI-REN	Observatoire Ivoirien pour la gestion durable des Ressources Naturelles
AIC	Akaike Information Criterion (critère d'information d'Akaike)	ONU-REDD	Programme de collaboration des Nations Unies sur la réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts dans les pays en développement
A/R	Afforestation/Reforestation	PC	Placeau Carré
BM	Banque Mondiale	PFNL	Produits Forestiers Non Ligneux
BNETD	Bureau National d'Études Techniques et de Développement	PR	Placeau Rectangulaire
C2D	Contrat de Désendettement et de Développement	RAM	Random Access Memory
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques	REDD+	Réduction des Émissions liées à la Déforestation et à la Dégradation des forêts dans les pays en développement et rôle de la conservation, de la gestion durable des forêts et du renforcement des stocks de carbone forestier dans les pays en développement
CNF	Centre National de Floristique	SEP-REDD+	Secrétariat Exécutif Permanent pour la REDD+
CNRA	Centre National de Recherche Agronomique	SIG	Système d'Information géographique
CdP	Conférence des Parties	SNSF	Système National de Surveillance des Forêts
CQ/AQ	Contrôle Qualité /Assurance Qualité	SODEFOR	Société de Développement des Forêts
CSRS	Centre Suisse de Recherche Scientifique	SPR	Sous-placeau Rectangulaire
CTFT	Centre Technique Forestier Tropical	SSTS	Système de Surveillance des terres par satellite
DHP	Diamètre à hauteur de poitrine	SUT	Section d'Utilisation des Terres
DHS	Diamètre à hauteur de souche	TeqCO₂	Tonne équivalent CO ₂
ESA	École Supérieure d'Agronomie	UE	Unité d'Échantillonnage
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture	UFHB	Université Félix Houphouët Boigny
FE	Facteurs d'Émissions		
FRA	Global forest resources assessment (Évaluation des ressources forestières mondiales)		
GES	Gaz à Effet de Serre		
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat		
GPS	Global Positioning System (Système de positionnement global)		
IFN	Inventaire Forestier National		
IGES	Inventaire de Gaz à Effet de Serre		
INPHB	Institut National Polytechnique Felix Houphouët-Boigny		
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change		
MDP	Mécanisme pour le Développement Propre		
MINSEDD	Ministère de la Salubrité, de l'Environnement et du Développement Durable		
MINEF	Ministère des Eaux et Forêts		
MNV	Mesure Notification et Vérification		
NERF	Niveau d'Émission de Référence pour les Forêts		
NRF	Niveau de Référence pour les Forêts		
OIPR	Office Ivoirien des Parcs et Réserves		

RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Pourquoi un inventaire de la biomasse forestière ? Jusqu'en 2016, la Côte d'Ivoire, ne disposait que des données d'Inventaire Forestier National (IFN) réalisé avec l'appui de la FAO entre 1974 et 1976. Depuis cette période les inventaires réalisés sont restés très localisés. Or, l'engagement du pays dans le processus REDD+ lui impose de soumettre son niveau (d'émission) de référence des forêts (NERF/NRF) à la CCNUCC sur la base de données nationales et actualisées sur les stocks de carbone forestier. C'est dans ce contexte que le Secrétariat Exécutif Permanent pour la REDD+ (SEP-REDD+) a collecté des données nécessaires à l'estimation de la biomasse forestière pour chaque zone phytogéographique de la Côte d'Ivoire. Cette collecte de données avait pour objectif de mettre à la disposition du SEP-REDD+ et de ses partenaires des données qualitatives et quantitatives sur les formations végétales du pays pour la construction du niveau d'émissions de référence pour les forêts et pour le système national de surveillance des forêts et d'améliorer les informations nécessaires à la prochaine communication nationale à la Convention Cadre des Nations unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC).

Grandes étapes de l'inventaire de la biomasse forestière. L'inventaire de la biomasse réalisé par la Côte d'Ivoire a duré 12 mois et est subdivisé en trois grandes étapes : i) établissement de partenariats, ii) préparation de la collecte de données de biomasse forestière et iii) exécution de la collecte de données de biomasse forestière.

Résultats

Un total de 93 236 arbres et souches confondus ont été inventoriés au cours de la campagne de collecte de données. Les arbres vivants avec un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) ≥ 5 cm et DHP < 5 cm collectés sont respectivement de 77 354 et 1 506 individus. Ces derniers se répartissent en 400 espèces végétales, 247 genres et 64 familles dont la plus importante est celle des Fabaceae (17,13 %).

Il a été recensé 6 498 arbres morts sur pied, 4 232 morts couchés et 3 646 souches. L'essence la plus rencontrée est *Funtumia africana* (2,59 % de l'ensemble des espèces inventoriées) et *Strombosia pustulata* (2,16 %). La famille des Fabaceae (17,05 %) et celle des Malvaceae (11,05 %) sont les plus représentées. Au niveau des genres, Diospyros (4,79 %) et Cola (3,29 %) sont les plus représentés.

La densité d'arbres est plus élevée dans le secteur ombrophile avec 549 tiges par hectare, alors que la plus faible est localisée dans le secteur préforestier (mosaïques de forêts et de savanes) avec 255 tiges par hectare.

L'analyse des données de l'inventaire a permis de calculer la répartition de la biomasse forestière par zone phytogéographique en Côte d'Ivoire. Les valeurs les plus élevées de biomasse totale sont enregistrées dans le secteur ombrophile caractérisé par la forêt dense humide sempervirente avec une quantité moyenne de 197,3 t.ha⁻¹. Les valeurs de biomasse totale les plus faibles (77,3 t.ha⁻¹) sont obtenues au centre (V Baoulé) dans le secteur préforestier qui est une zone de transition constituée d'une mosaïque de savanes, de forêts claires et de forêts denses semi-décidues. Dans le secteur mésophile constitué de forêts denses semi-décidues, la valeur de biomasse totale obtenue est égale à 106,6 t.ha⁻¹ et dans les secteurs soudanais et sub-soudanais, elle est de 105,2 t.ha⁻¹.

Pour l'ensemble des réservoirs, le stock de carbone épigé représente 63,35 % du stock de carbone total et 18,44 % et 18,21 % respectivement pour le carbone du bois mort et le carbone souterrain.

Perspectives futures : Pour compléter les résultats de cette étude et en affiner la précision, il faudrait (i) accroître le nombre de points d'échantillonnage, ce qui peut être envisagé dans le cadre de l'inventaire

forestier national pour lequel une étude de faisabilité est menée ; (ii) collecter des données sur le sol et la litière ainsi que la densité du bois pour améliorer les données utilisées par le NERF et (iii) capitaliser les données collectées dans les projets REDD+ pilotes.





INTRODUCTION

Le choix d'un développement basé sur l'agriculture, opéré par la Côte d'Ivoire au lendemain de son indépendance a eu pour conséquence la perte de l'essentiel de ses ressources forestières en l'espace de trois décennies. En effet, les surfaces forestières de ce pays sont passées de 7,85 millions d'hectares en 1986 à 5,09 millions d'hectares en 2000, puis à 3,6 millions d'hectares en 2015 (SEP-REDD+ et FAO, 2017). Si de nombreux travaux considèrent l'expansion agricole comme première cause directe de la déforestation, la faiblesse de la gouvernance forestière est aussi citée comme cause indirecte majeure (Madron *et al.*, 2015; EtcTerra, 2016). Ainsi, la gestion durable des ressources forestières se présente comme un défi pour le pays.

En dépit de l'importance des enjeux autour de cette ressource, la Côte d'Ivoire, ne dispose pas de données actualisées d'inventaire forestier national (IFN). Seuls des inventaires très localisés et parcellaires ont été réalisés, principalement dans le cadre de recherches scientifiques. De plus, ces données sont anciennes et ne couvrent pas les besoins de la REDD+. Suite à l'engagement du pays dans le processus REDD+, il est préférable que la Côte d'Ivoire dispose de ses propres données notamment pour la construction de son niveau d'émission de référence pour les forêts (NERF) à soumettre à la CCNUCC et pour la mise en œuvre par la suite de sa mesure, notification et vérification (MNV). C'est dans ce contexte qu'une collecte de données permettant de quantifier la biomasse forestière en Côte d'Ivoire a été réalisée. Cette activité a permis de disposer de données préliminaires nécessaires à l'élaboration de son NERF/NRF, mais également à l'amélioration des informations nécessaires au suivi et à la prochaine communication nationale à la CCNUCC.

Le présent document détaille les différentes étapes de mise en œuvre de cet inventaire de biomasse forestière réalisée dans le cadre de la REDD+, des méthodologies adoptées et des résultats obtenus. Par ailleurs, les leçons tirées de cette expérience sont importantes pour permettre au pays de mieux se préparer à l'inventaire forestier national complet qu'il projette de réaliser.





1. BRÈVE DESCRIPTION DE LA CÔTE D'IVOIRE

La Côte d'Ivoire est située entre 4°30 et 10°30 de latitude nord et 2°30 et 8°30 de longitude ouest avec une superficie de 322 462 km². Elle est bordée à l'ouest par le Libéria et la Guinée, au nord par le Mali et le Burkina Faso, à l'est par le Ghana et au sud par l'Océan Atlantique sur une distance de 550 km. Le relief est peu accidenté et constitué essentiellement de plateaux sur les 4/5 du territoire. Il croît en altitude du sud vers le nord et de l'est vers l'ouest, où se rencontrent des montagnes et des hautes collines. La majeure partie du pays est couverte par les sols ferrallitiques fortement ou moyennement désaturés. Le climat est du type tropical humide dans le sud du pays et de type soudanien dans le nord. Le réseau hydrographique est important avec quatre principaux fleuves: Cavally (700 km), Sassandra (650 km), Bandama (1 050 km) et Comoé (1 160 km). Ces quatre bassins principaux drainent plus de 30 milliards de mètres cube d'eau par an. On distingue quatre grandes zones phytogéographiques:

- au nord, le secteur soudanais et subsoudanais, caractérisé par une alternance de forêts claires, de savanes boisées, arborées et herbeuses et de plateaux latéritiques;
- au centre (V Baoulé), le secteur préforestier qui est une zone de transition constituée d'une mosaïque de savanes, de forêts claires et de forêts denses semi-décidues;
- au centre, le secteur mésophile qui est constitué de forêts denses semi-décidues;
- au sud, le secteur ombrophile caractérisé par la forêt dense humide sempervirente.

A ces quatre grandes zones s'ajoutent d'autres types de forêts caractéristiques d'écosystèmes particuliers en Côte d'Ivoire: les forêts marécageuses, les forêts de montagne situées à l'ouest et les mangroves sur le littoral (Chatelain *et al.*, 2004).

2. ÉTAT DES FORÊTS DE LA CÔTE D'IVOIRE

La forêt ivoirienne, qui occupait toute la moitié sud du pays, a souffert d'une dégradation accélérée depuis les années 1970. La Côte d'Ivoire compte huit parcs nationaux couvrant une superficie totale de 1 732 100 hectares, cinq réserves naturelles qui couvrent 339 630 hectares et 16 réserves botaniques d'une superficie de 198 418 hectares dédiées à la conservation *in situ* (6,5% du territoire national abritant la biodiversité du pays), 231 forêts classées de 4 200 000 hectares dont certaines sont particulièrement riches et d'autres fortement dégradées (13% du territoire national), 6 702 forêts sacrées de 36 434 hectares et six sites Ramsar (République de Côte d'Ivoire, 2014).

Selon une cartographie récente des forêts en Côte d'Ivoire, la couverture forestière est passée de 7,85 millions d'hectares en 1986 à 5,09 millions d'hectares en 2000, puis à 3,4 millions d'hectares en 2015. Ceci correspond à des taux de perte annuels respectifs de 3,04% (238 812 hectares) et 2,66 % (135 392 hectares) (SEPREDD+ et FAO, 2017). Le rythme de la déforestation a ralenti entre 2000 et 2015 mais reste toujours largement supérieure aux capacités de régénération de la forêt naturelle. Les forêts restantes sont soumises à de fortes pressions. Les moteurs directs les plus importants de la déforestation et de la dégradation des forêts sont:

- l'expansion de l'agriculture notamment pour la mise en place des cultures de rente (cacao, hévéa, palmier à huile) et les cultures vivrières itinérantes (riz, igname);
- l'exploitation du bois-énergie;
- l'exploitation anarchique des sols au-delà de leurs capacités de régénération;
- et les feux de brousse incontrôlés.

Les moteurs indirects de la déforestation et de la dégradation des forêts sont:

- la faiblesse de la gouvernance;
- le manque de coordination entre la politique forestière et les autres politiques sectorielles utilisatrices de l'espace;
- le manque de sécurisation foncière et la pression démographique (migrations et accroissement);
- ainsi que les crises sociopolitiques et l'instabilité politique de 2002 et 2010.

(Madron *et al.*, 2015; EtcTerra, 2016).

3. ÉTAT DES INVENTAIRES FORESTIERS DE LA CÔTE D'IVOIRE

En dehors de l'IFN réalisé entre 1974 et 1976 et dont les résultats n'ont pas été officiellement publiés, le pays ne dispose pas à ce jour de données actualisées complètes. Toutefois, des inventaires localisés ont été réalisés:

- inventaires de dispositifs permanents de recherche par le Centre Technique Forestier Tropical (CTFT), la Société de Développement des Forêts (SODEFOR), par l'INPHB dans les forêts classées de Sangoué, Mopri, Irobbo et Téné où il y a eu des mesures jusqu'en 2008 et les forêts classées d'Anguédedou, Yapo-Abbé et Lataha où il y a eu des mesures jusqu'en 1998);
- inventaires d'aménagement et d'exploitation dans les forêts classées par la SODEFOR jusqu'en 2016 (Yapo Abbé, Cavalé, Téné, Sangoué, etc.);
- inventaires d'aménagement des parcs et réserves par l'OIPR jusqu'en 2000 (Tai, Comoé, etc.);
- martelages dans les périmètres d'exploitation forestière du domaine forestier protégé de l'État jusqu'en 2017 par les industries du bois et exploitants forestiers.

Un IFN est prévu avec l'appui de l'Agence Française de Développement (AFD) à travers le Contrat de Désendettement et de Développement (C2D), pour inventorier les ressources forestières et fauniques en 2018/2019. L'étude de faisabilité de cet inventaire est en cours et la méthodologie et les différents paramètres à mesurer seront identifiés lors de cette étude de faisabilité.

Avant que les résultats de cet inventaire ne soient disponibles, une collecte de données sur la biomasse forestière a été réalisée dans le cadre du processus REDD+ en vue de la détermination de facteurs d'émissions propres au pays notamment pour l'élaboration du niveau de référence pour la REDD+ et pour l'opérationnalisation du SNSF.

4. PROCESSUS REDD+ ET LES BESOINS DE DONNÉES SUR LES FACTEURS D'ÉMISSION

La Côte d'Ivoire s'est engagée dans le mécanisme international de Réduction des Émissions de gaz à effet de serre dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts (REDD+) afin de contribuer à la lutte contre le changement climatique, mais aussi dans un souci de gestion durable de son couvert forestier.

Dans le cadre de la mise en œuvre de la phase de préparation dudit mécanisme, la Côte d'Ivoire doit mettre en place un Système National de Surveillance des Forêts (SNSF) conformément aux résolutions et recommandations de la Convention Cadre des Nations Unies pour le Changement Climatique (CCNUCC, décisions 4/CP.15; 11/CP.19) pour mesurer, notifier et vérifier (MNV) les émissions et les séquestrations de carbone forestier. L'efficacité du système de surveillance réside dans la robustesse de ses trois piliers:

- le système de surveillance des terres par satellite (SSTS) pour le suivi de l'évolution de l'occupation du sol principalement dans les zones forestières;
- l'inventaire forestier national (IFN) pour fournir les données sur les stocks de carbone associés à chaque strate de végétation;
- et l'inventaire de gaz à effet de serre (IGES) pour estimer la quantité des émissions/absorptions de GES en Tonne équivalent CO₂ (TéqCO₂) /année.

Dans une optique de soumission de son niveau d'émission de référence des forêts (NERF) à la CCNUCC, il convient également au pays de disposer de données qui leur sont propres sur les stocks de carbone en fonction de chaque zone phytogéographique.

Dans ce contexte et en absence de données récentes et robustes, le Secrétariat Exécutif Permanent de la REDD+ (SEP-REDD+) a collecté les données permettant de quantifier la biomasse forestière en Côte d'Ivoire avec un taux d'échantillonnage réduit (0,1 %) afin de disposer de données préliminaires nécessaires à l'élaboration de son NERF pour préciser les informations à utiliser par son SNSF et pour améliorer les informations nécessaires à la prochaine communication nationale à la CCNUCC.

5. OBJECTIF DE L'INVENTAIRE DE BIOMASSE

L'objectif de l'inventaire de biomasse est de mettre à la disposition du SEP-REDD+ et de ses partenaires des données quantitatives et qualitatives sur les formations végétales du pays en vue de la construction des différents outils nécessaires au mécanisme REDD+ (SNSF et NERF) et d'autre part des éléments de base pour la préparation de son IFN.

Plus spécifiquement, il a permis de:

- concevoir une méthodologie d'inventaire forestier, un dispositif d'échantillonnage et un manuel de collecte de données de terrain prenant en compte aussi bien les exigences de la REDD+ que celles du secteur forestier en général;
- renforcer les capacités des structures nationales en matière d'inventaire forestier;
- débiter le transfert d'information et la sensibilisation des parties prenantes sur la mise en œuvre prochaine de l'IFN;
- déterminer les caractéristiques dendrométriques et dendrologiques des peuplements (structure, composition, répartition de l'abondance, densité des peuplements, surface terrière, etc.) dans les différentes strates forestières;
- estimer les densités de carbone des différents réservoirs (biomasse aérienne, bois morts);
- capitaliser les acquis par la diffusion au niveau national des résultats et leçons apprises ;
- mettre à disposition du Ministère des Eaux et Forêts (MINEF) des outils fiables, de ressources humaines avec des capacités techniques renforcées mais également des connaissances à jour pour la tenue d'un inventaire forestier national.

Les données collectées sont également stratégiques pour une meilleure identification des activités à mettre en œuvre dans le cadre du mécanisme REDD+.





LES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE L'INVENTAIRE DE BIOMASSE

Le SEP-REDD+, en charge de la mise en œuvre dudit mécanisme, a organisé principalement avec l'appui technique et financier du Programme National ONU-REDD/FAO, avec l'appui financier de la Banque Mondiale et en partenariat avec la SODEFOR, une campagne de collecte de données de la biomasse forestière sur 150 unités d'échantillonnage (UE) réparties sur l'ensemble du territoire national. Les données ont été collectées entre octobre 2016 et février 2017 dans les forêts classées, les parcs nationaux et réserves, et le domaine forestier protégé de l'État.

1. LES PARTENARIATS ÉTABLIS

Les activités de cet inventaire de biomasse forestière ont été pilotées par le SEP-REDD+ et structurées autour de plusieurs partenariats pour les aspects liés aux réflexions techniques et pour la mise en œuvre concrète sur le terrain. Ce modèle d'organisation pourra être reconduit par l'IFN avec quelques ajustements.

i. Arrangements financiers et mobilisation des ressources

Plusieurs parties prenantes ont été impliquées dans la réalisation de l'inventaire de biomasse en Côte d'Ivoire. Trois protocoles d'accord de partenariat ont été signés entre les partenaires techniques et financiers (Programme national ONU-REDD/FAO et Banque Mondiale(BM)) et des structures techniques nationales (SEP-REDD+ et SODEFOR). Ce sont :

- protocole d'accord entre la FAO et le SEP-REDD+ pour la «rédaction de la méthodologie et analyse de données pour la quantification des facteurs d'émissions forestier en Côte d'Ivoire», de septembre 2016 à janvier 2017;
- protocole d'accord entre la FAO et la SODEFOR pour la «campagne de collecte de données sur le terrain pour la quantification de la biomasse forestière en Côte d'Ivoire» (sur 120 UE) de septembre 2016 à février 2017.
- protocole d'accord entre la BM et la SODEFOR pour la collecte de données sur les ressources forestières nationales et arbres hors forêts sur 30 UE de septembre 2016 à février 2017.

ii. Contribution de la FAO et de la BM

Dans le cadre de ce projet, la FAO a appuyé financièrement la mise en œuvre des activités mais a surtout apporté l'ensemble de l'appui technique (développement de la méthodologie, adaptation des outils notamment de *Collect Mobile*, *Collect*, renforcement de capacité, analyse des données, etc.) ainsi que l'acquisition de matériel de mesure et des équipements informatiques. Cet ensemble de connaissance a été dispensé par un panel d'experts lors de réunions, d'ateliers de concertation et de formation. La FAO a également appuyé la mise en œuvre et le suivi des différentes phases de mise en œuvre de l'inventaire. Des experts internationaux (en IFN, en base de données et en biométrie forestière) et un expert national spécialisé en évaluation des ressources forestières ont assuré cet appui technique permanent. L'appui de la BM quant à elle a porté sur le financement

des coûts relatifs à la collecte de données sur 30 UE.

Grâce à ces appuis, cinq équipes de collecteurs de données ont été déployés sur les différentes zones identifiées selon un échantillonnage bien déterminé.

iii. Contribution du Gouvernement MINSEDD/SEP-REDD+ et MINEF/ SODEFOR

Le SEP-REDD+ a assuré la coordination technique de l'inventaire de biomasse et la SODEFOR a été en charge de la supervision et de la collecte des données sur le terrain.

Les activités réalisées par le SEP-REDD+ ont été principalement les suivantes:

- coordination technique de l'activité;
- coordination de l'élaboration de la méthodologie de collecte de données et des fiches de terrain (*Openforis Collect*);
- identification du matériel de terrain;
- formation des cadres nationaux impliqués dans l'inventaire;
- planification et déploiement des équipes sur sites d'inventaire;
- appui technique des équipes de terrain (contrôle qualité et assurance qualité);
- centralisation et traitement des données en vue de l'évaluation du stock de carbone forestier;
- publication des résultats.

Les activités réalisées par la SODEFOR sont les suivantes:

- planification et réalisation d'une phase d'information et de sensibilisation des parties prenantes (services forestiers, autorités administratives, communautés locales, etc.);
- collecte des données sur toutes les UE réparties sur l'ensemble du territoire national;
- contrôle qualité des données collectées sur les terrains.

Plusieurs structures nationales (Université Félix Houphouët Boigny/Centre National de Floristique (UFHB/CNF), Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Centre Suisse de Recherche Scientifique (CSRS), Observatoire Ivoirien pour la gestion durable des Ressources Naturelles (OI-REN), Bureau National d'Études Techniques et de Développement (BNETD), Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny/École Supérieure d'Agronomie (INPHB/ESA), Société de développement des Forêts (SODEFOR), Ministère des Eaux et Forêts (MINEF), Office Ivoirien des Parcs et Réserves (OIPR), etc.) ont été impliquées dans le suivi, l'assurance qualité/contrôle qualité des données et le traitement des données de l'inventaire.

2. PHASE DE PRÉPARATION

La phase de préparation a duré cinq mois (de mai à septembre 2016). Elle a débuté par la rédaction d'une note conceptuelle détaillant les objectifs de l'exercice et les activités à entreprendre. Les étapes suivantes ont été poursuivies:

i. **Élaboration d'une note conceptuelle**

La note conceptuelle cadre les objectifs de l'inventaire de biomasse à entreprendre. Elle détaille également les différentes étapes et les activités à entreprendre. Elle a été nécessaire pour l'identification des partenaires de mise en œuvre, pour la planification de cette activité mais aussi pour l'information des différentes parties prenantes pouvant être associées à cet inventaire.

ii. **Conception de la méthodologie et des fiches de terrain de l'inventaire**

Avec l'appui technique de la FAO, la méthodologie de l'inventaire de biomasse, les fiches de collecte de données et le fichier de *Collect mobile* adapté aux besoins du processus REDD+ ont été élaborés.

Durant cet exercice, un atelier national d'information et d'échange d'expériences a été organisé. Il a regroupé les représentants de l'ensemble des parties prenantes (cadres et prospecteurs botanistes de la SODEFOR, cadres du MINEF, universités et centre de recherche (CNF, CNRA, CSRS), société civile (OI-REN)). Au cours de cet atelier, les participants ont discuté et finalisé l'approche et la méthode d'évaluation des stocks de carbone forestier.

iii. **Validation nationale de la méthodologie et formation des cadres nationaux**

La méthodologie telle que décrite dans le manuel de terrain et les fiches de collecte de données ont été validées lors d'un atelier national (9 au 12 août 2016) regroupant toutes les institutions impliquées dans l'inventaire de biomasse.

iv. **Identification des équipes d'inventaire**

Suite à l'identification des partenaires de mise en œuvre, considérant les besoins identifiés lors de l'élaboration de la note conceptuelle et considérant les capacités techniques et les ressources humaines disponibles, cinq équipes formées chacune de cinq techniciens ont été identifiées pour collecter les données sur le terrain. Ces techniciens relèvent tous de SODEFOR et du ministère en charge des forêts, principaux partenaires de mise en œuvre.

v. **Renforcement de capacités des structures techniques en charge de l'inventaire**

Différentes formations ont été organisées afin d'aboutir aux résultats escomptés:

- formations des équipes d'inventaire sur l'utilisation des outils et des instruments de collecte de données de la biomasse forestière dont principalement les Vertex et *Collect mobile* (20 au 21 septembre 2016). Ces outils ont été testés sur le terrain avec les équipes avant leur déploiement;
- session de formation en évaluation des ressources forestières et analyse des données (3 au 7 avril 2017);

- formation en traitement et analyse des données pour les équipes techniques chargées de la base des données et les structures nationales impliquées (25 au 29 septembre 2017).

vi. Remise officielle du matériel de collecte de données aux organisations partenaires

Suite à l'acquisition du matériel nécessaire à la collecte de données sur le terrain, ce matériel a été remis officiellement aux organisations partenaires (SEP-REDD+ et SODEFOR) pour permettre le déploiement des équipes.

vii. Organisation de la phase pilote de collecte de données

Une phase pilote de collecte de données de la biomasse forestière a été réalisée sur deux sites pilotes installés au sein de la Forêt Classée de la Comoé (Département de Grand-Bassam, Sous-Préfecture de Bongo) en octobre 2016. Cette phase pilote a eu comme objectif le test de l'application de la méthodologie de collecte de données en vue de son ajustement mais également a servi pour entraîner les équipes à l'utilisation des outils et instruments divers avant leur déploiement sur les 150 UE (dont l'utilisation de *Collect mobile*).

En appui à l'équipe en charge de l'inventaire de ces 2 sites pilotes, une mission conjointe (SEP-REDD+ et FAO) a été réalisée dans le but de s'assurer de la qualité des mesures réalisées par les équipes mais aussi pour mieux expliquer l'utilisation des instruments aux équipes (surtout pour l'utilisation de *Collect mobile*). Cette mission a ainsi permis réellement d'aboutir à:

- l'amélioration des fiches de terrains (en papier);
- l'ajustement de l'application *Collect mobile* en fonction des situations réelles observées;
- l'ajustement de la méthodologie (notamment sur le marquage des arbres sur le terrain).

viii. Finalisation de la planification des activités et début de la sensibilisation sur la campagne de collecte de données

Cette phase a été marquée par la tenue de deux réunions de planification entre le SEP-REDD+ et la SODEFOR. À l'issue de ces rencontres, un programme détaillé de la phase d'exécution de l'inventaire (sensibilisation et mesure de terrain) a été établi. La répartition du nombre d'UE à réaliser par chaque équipe de mesure a également été ajustée ainsi que l'itinéraire d'accès à chaque UE. La carte d'accès à chaque UE a été produite. Les coordonnées des UE ont été intégrées dans les GPS et le logiciel *Collect mobile* est installé sur les tablettes. Les différents axes pour la sensibilisation dont l'identification des régions et les localités à visiter ont été identifiés et le programme de rencontre avec les autorités administratives et les populations locales a été défini. Les courriers et notes d'information sur la campagne de collecte de données de la biomasse forestière ont aussi été finalisés lors de ces réunions. Par ailleurs, le coût de la prise en charge financière devant être supporté par le financement de la BM pour la collecte de données sur 30 UE a été clairement défini.

3. PHASE D'EXÉCUTION

Cette phase a duré douze mois (octobre 2016 à septembre 2017).

i. Lancement officiel des activités de terrain

Un atelier de lancement officiel de la collecte des données a été organisé à Abidjan et a vu la participation de l'ensemble des parties prenantes (autorités préfectorales et administratives, responsables des services forestiers et chefs de communautés). L'objectif était d'informer officiellement sur la tenue de cet inventaire de biomasse et de sensibiliser particulièrement sur la mise en œuvre des activités de terrain.

ii. Déploiement des équipes de sensibilisation

Trois équipes de sensibilisation ont été déployées sur le terrain pour informer et sensibiliser les populations locales sur la campagne de collecte de données, en amont du déploiement de toutes les équipes de collecte de données. Un atelier a été organisé dans les chefs-lieux de région ou de département concerné par chaque UE située dans le domaine rural. Pour les UE installées dans les Parcs, Réserves et Forêts Classées, une note d'information ainsi qu'une demande d'autorisation d'accès ont été adressées au Directeur Général de l'OIPR et au Directeur Général de la SODEFOR.

Les sensibilisations se sont tenues dans les localités à proximité des UE. Elles ont permis de diffuser l'information aux communautés locales sur la nécessité de réaliser la campagne de collecte de données de la biomasse forestière mais aussi pour rassurer les populations qu'il ne s'agissait pas d'une opération préparatoire à une exploitation forestière. Au total 13 régions administratives ont été parcourues.

iii. Déploiement des équipes de mesure

Cinq équipes ont été déployées simultanément sur toute l'étendue du territoire national pour inventorier les 150 UE en octobre 2016. Deux périodes d'arrêt (décembre 2016 et janvier 2017) ont été marquées pour faire un bilan à mi-parcours et pour télécharger les données cumulées sur les tablettes mais aussi par respect aux différentes fêtes religieuses des agents. Des missions mixtes (SODEFOR et SEP-REDD+) de suivi et de cadrage ont été organisées en même temps que la collecte de données.

iv. Mission de contrôle /assurance qualité

Pour s'assurer de la conformité de la procédure de collecte de données avec la méthodologie (manuel de terrain) d'une part et de la qualité des données collectées d'autre part, un contrôle qualité/assurance qualité (CQ/AQ) a été organisée sur 8 pour cent de l'ensemble des unités d'échantillonnage soit 12 UE aléatoirement.

v. Réception, centralisation et encodage des données

Au cours de la campagne de collecte de données de la biomasse forestière, les données enregistrées sur les tablettes ont été recueillies progressivement pour éviter de les perdre et les fichiers exportés au format *Collect. data* et *Excel (.xls)* sont archivés dans des bases de données consultables au SEP-REDD+.

Les fiches de terrain au format papier ont été en plus scannées après la phase de terrain et ont été organisées par placeaux, par UE et archivées dans une base de données également disponible et consultable au SEP-REDD+. Une base de données de toutes de photos prises pendant la phase de terrain est également disponible au SEP-REDD+.

vi. Apurement et conception d'une base de données agrégée

La base de données *Collect nbs_rci_clone* a été utilisée pour centraliser les données collectées lors de cet exercice.

Afin d'intégrer les données récoltées dans la base de données numérique de l'inventaire de la biomasse forestière en Côte d'Ivoire (*Collect nbs_rci_clone*), six opérateurs de saisie ont été recrutés pour appuyer le SEP-REDD+ dans l'encodage au format *.CSV/Collect-data*, des données collectées lors de la campagne. Les opérateurs de saisie avaient pour missions principales de:

- faire l'inventaire de toutes les fiches reçues pour la saisie;
- vérifier que les données au format papier correspondent aux données numériques pour toutes les fiches (*Collect.data* et *Excel*);
- saisir les données manquantes dans le masque de saisie pour enrichir la base de données existante;
- faire des vérifications après la saisie pour s'assurer de la qualité des données saisies;
- et archiver les fiches après la saisie.

À l'issue de cette opération de nettoyage de toutes les données, une base de données numérique apurée (données conforme avec les fiches de terrain) est disponible au SEP-REDD+.

vii. Analyse de données

Afin de donner les connaissances nécessaires à la Côte d'Ivoire pour estimer la biomasse et le stock de carbone forestier (production des facteurs d'émissions), une session de formation préalable a été organisée pour le traitement des données collectées avec l'appui du Programme ONU-REDD. Cette formation a permis de:

- faire un contrôle de la qualité des données;
- agréger toutes les données de l'inventaire dans une base unique;
- produire les résultats préliminaires sur les stocks de carbone forestier en Côte d'Ivoire.

viii. Consolidations des résultats de l'inventaire biomasse

Le traitement des données apurées, agrégées et archivées au sein d'une même base de données doit permettre de déterminer les facteurs d'émissions de la déforestation.

Afin de consolider les calculs effectués, une seconde vérification a été réalisée par SEPREDD avec la contribution de toutes les institutions impliquées par l'inventaire de biomasse. Ceci s'est réalisé à travers le renforcement de capacité des techniciens nationaux pour le traitement des données d'inventaire sur les techniques et standards internationaux en matière de calcul de stock de carbone forestier ainsi que les incertitudes associées. Au cours de cet atelier, l'approche utilisée pour le calcul de la biomasse ainsi que les résultats préliminaires obtenus ont été passés en revue par l'ensemble des parties prenantes. Cette activité a permis à la fois de former les cadres nationaux sur les méthodologies utilisées mais aussi de consolider les calculs déjà réalisés.

À l'issue de cette formation, les facteurs d'émissions de la déforestation pour trois réservoirs (biomasse aérienne, biomasse souterraine et bois mort) sont disponibles pour la Côte d'Ivoire.





IV

MÉTHODOLOGIE DE L'INVENTAIRE DE BIOMASSE

1. CONCEPTS CLÉS PRIS EN CONSIDÉRATION

i. Définition de la forêt

La définition de la forêt utilisée pour l'inventaire biomasse est celle définie par le code forestier ivoirien (adopté en juillet 2014). Ce dernier définit la forêt comme «toute terre, constituant un milieu dynamique et hétérogène, à l'exclusion des formations végétales résultant d'activités agricoles, d'une superficie minimale de 0,1 hectare portant des arbres dont le houppier couvre au moins 30 % de la surface et qui peuvent atteindre à maturité une hauteur minimale de 5 mètres».

Il est à noter que dans le cadre de cet inventaire de biomasse, aucun plateau n'a été installé dans la classe non forêt. Le présent inventaire n'a ainsi pas produit des données sur les stocks de carbone des strates non forestières (prairies, cultures, etc.).

ii. Stratification utilisée

La carte la plus récente utilisée pour cet inventaire est la carte forêt/non forêt de 2015 produite dans le cadre de la cartographie de la dynamique forestière en Côte d'Ivoire entre 1986 et 2015. Cette carte ne donne pas d'information sur la stratification forestière du pays. Afin de réduire la variabilité et d'optimiser le plan de sondage, la couche des zones phytogéographiques a été additionnée à la carte des forêts stables sur la période 1986-2015 (SEP-REDD+ et FAO, 2017) dans un SIG pour déterminer les strates forestières en présence par zone.

Les données requises pour l'estimation de la densité de la biomasse de différents réservoirs ne sont pas fondamentalement différentes de celles pour l'estimation des volumes (Brown, 1997). Aussi, de nombreux IFN ont été développés à d'autres fins, mais se prêtent à l'estimation du carbone forestier et activités REDD+ (Hewson *et al.*, 2014). En effet, tous les arbres de toutes les espèces, qu'elles soient actuellement commerciales ou non, et avec un diamètre minimum ou inférieur à 5 cm ont été mesurés (voir 1.3).

2. PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

Le plan d'échantillonnage adopté pour la collecte de données de la biomasse forestière en Côte d'Ivoire est aléatoire stratifié. Cette technique d'échantillonnage présente plusieurs avantages dont (i) l'élimination de toute subjectivité dans le choix des unités d'échantillonnage à mesurer, (ii) le calcul de paramètres par strates et de l'erreur d'échantillonnage distinctes pour certaines strates et (iii) la réduction de la variabilité d'un paramètre d'une strate donnée.

Cette technique d'échantillonnage présente néanmoins quelques inconvénients:

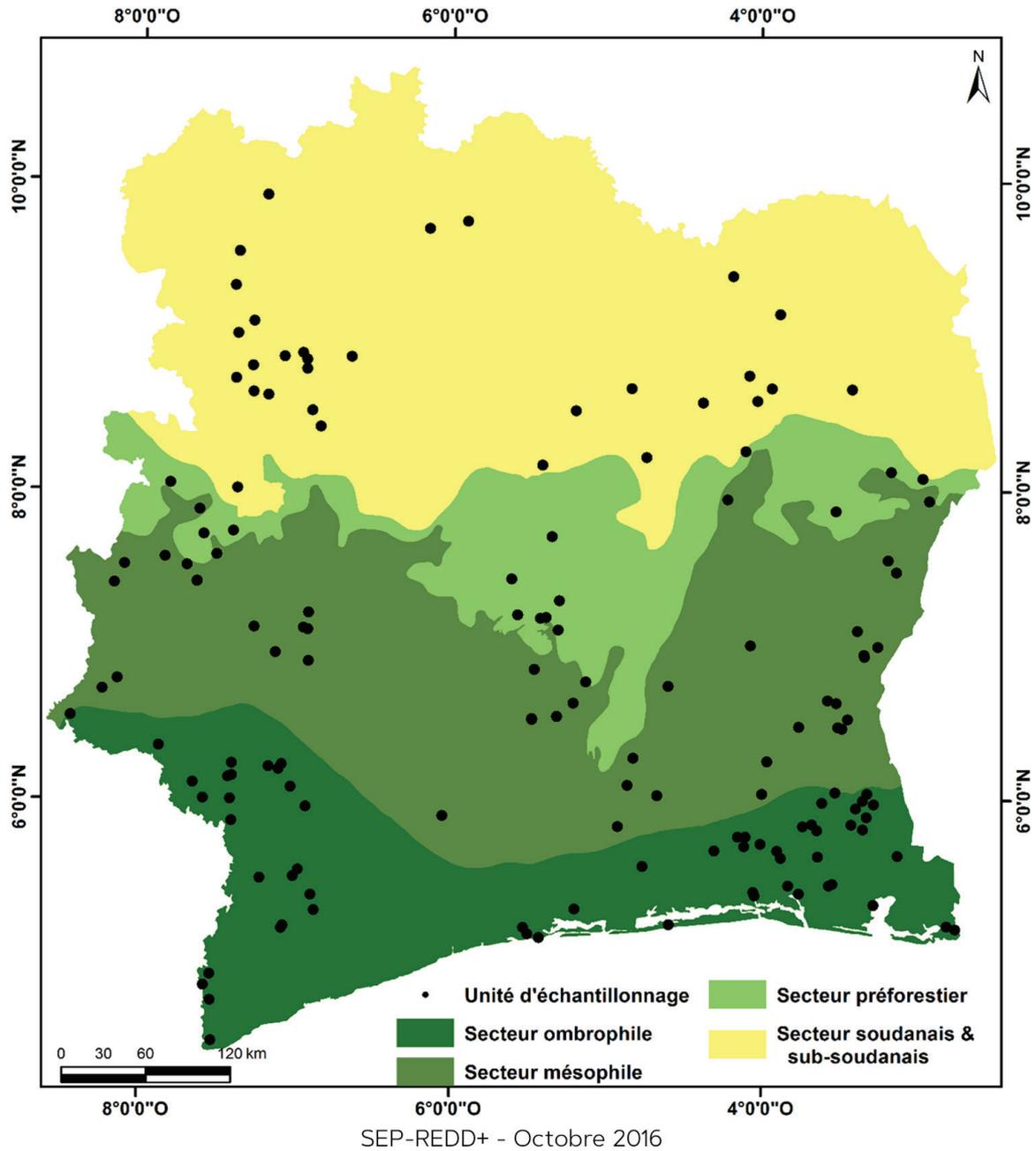
- la dimension de chaque strate doit être connue avant l'échantillonnage ou estimée aussi exactement que possible;
- chaque UE doit figurer dans une seule strate. Cela suppose que les strates ne peuvent se chevaucher ou se recouper. Ainsi, leurs limites doivent être bien connues.

Ainsi, quatre strates ont été définies à l'aide de cartes des zones phytogéographiques et des forêts stables sur la période 1986-2015 (SEP-REDD+ et FAO, 2017) dans l'objectif d'intensifier l'échantillonnage dans les zones forestières.

Au total, 150 UE ont été choisies au prorata de la superficie des forêts intactes dans chaque zone phytogéographique (voir Figure 1), mais prenant en considération aussi le montant du budget disponible pour l'activité. Ainsi:

- 60 UE ont été choisies dans le secteur ombrophile (zone de forêt dense humide sempervirente);
- 44 UE dans le secteur mésophile (zone de forêt dense humide semi décidue);
- 15 UE dans le secteur préforestier (zone de transition forêt semi décidue - savane);
- et 31 UE dans le secteur soudanais et le secteur subsoudanais (zone de forêt claire et savane).

Figure 1 Répartition des unités d'échantillonnage pour la collecte de données de la biomasse forestière



3. CLASSIFICATION DE L'UTILISATION DES TERRES POUR LA COLLECTE DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE

La collecte de la biomasse forestière reposait sur huit classes issues de la légende nationale harmonisée et simplifiée (SODEFOR, 1992) accompagnées de code allant de 1 à 8. Les classes utilisées et les codes correspondants sont donnés dans le tableau 1.

Tableau 1 Classification de l'utilisation des terres pour la collecte de la biomasse forestière

Code	Type d'Occupation /Utilisation des terres
1	Forêt dense intacte (fermée)
2	Forêt dense moyennement dégradée (ouverte)
3	Forêt ruinée très dégradée (très ouverte)
4	Recrû forestier ou friche
5	Forêt sèche
6	Savane
7	Culture à préciser
8	Terrain nu, cours d'eau, village ou autre à préciser

Les détails sur la classification utilisée sont disponibles dans la légende nationale harmonisée LCCS 2016 (Kouamé et D'Annunzio, 2016).

4. DESCRIPTION D'UNE UNITÉ D'ÉCHANTILLONNAGE

Les informations sur les forêts et les arbres sont collectés exclusivement à l'emplacement des UE. Les données sont relevées à différents niveaux: l'UE, qui constitue le niveau le plus élevé, et des sous-unités de plus petite taille (placeaux et sous-placeaux), délimitées à l'intérieur de l'UE.

Les unités d'échantillonnage sont des grappes de 500 m x 500 m composées de quatre placeaux d'observation de 25 m x 200 m. Chaque UE couvre ainsi une superficie de 25 hectares. Les coordonnées du centre de ces unités correspondent à celles des points du plan de sondage. Les quatre placeaux d'observation sont géolocalisés à l'aide de l'outil *Collect Earth*¹.

Une fois le centre de l'UE repéré et implanté, quatre placeaux rectangulaires mesurant 25 m de largeur sur 200 m de longueur chacun sont installés à l'intérieur de l'UE et disposés en croix (voir Figure 2). Les quatre placeaux sont installés chacun à 50 m du centre de l'UE et sont numérotés de 1 à 4 dans le sens des aiguilles d'une montre. Leur localisation et orientation sont indiquées dans le Tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2 Localisation et orientation des placeaux dans une UE

Placeaux	Localisation	Orientation	Azimut
Placeau 1	Angle sud-ouest	Centre-nord	0 / 360 degrés
Placeau 2	Angle nord-ouest	Centre-est	90 degrés
Placeau 3	Angle nord-est	Centre-sud	180 degrés
Placeau 4	Angle sud-est	Centre-ouest	270 degrés

Trois types de dispositifs sont identifiés à l'intérieur de chaque UE, correspondant à trois niveaux différents de relevés:

- le niveau 1 est constitué de quatre placeaux rectangulaires (PR) de 25 m x 200 m chacun destinés aux mesures des arbres de DHP ≥ 10 cm, sur pied, le bois mort debout, le bois mort couché sur le layon principal (axe du placeau);
- le niveau 2 est constitué d'un sous-placeau rectangulaire (SPR) de 10 m x 50 m chacun situé à l'intérieur de chaque placeau rectangulaire. Il est destiné aux mesures des arbres de petits diamètres ($5 \text{ cm} \leq \text{DHP} < 10 \text{ cm}$);
- le niveau 3 est constitué d'un sous-placeau carré (SPC) de 5 m x 5 m dans chaque placeau. La fin du premier est située à 50 m du point de départ du placeau 1; la fin du deuxième à 100 m du point de départ du placeau 2; la fin du troisième à 150 m du point de départ du placeau 3; et la fin du quatrième à 200 m du point de départ du placeau 4. Ils ont été destinés à l'évaluation de la biodiversité (dénombrement des individus des espèces ligneuses de DHP < 5 cm et hauteur $\geq 1,30$ m).

Pour les niveaux 1 et 2, les mesures ont porté sur la hauteur, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP = 1,30 m) et les observations sur l'état sanitaire de l'arbre. Le diamètre des bois morts couchés a été mesuré sur les 200 m du layon principal du placeau (niveau 1). Pour le niveau 3, les observations ont porté sur la présence ou l'absence d'espèces ligneuses dont la hauteur totale est supérieure à 1,30 m et le diamètre inférieur à 5 cm.

1 <http://www.openforis.org/home.html>

Figure 2 Schéma d'une unité d'échantillonnage, de placeaux et de sous-placeaux

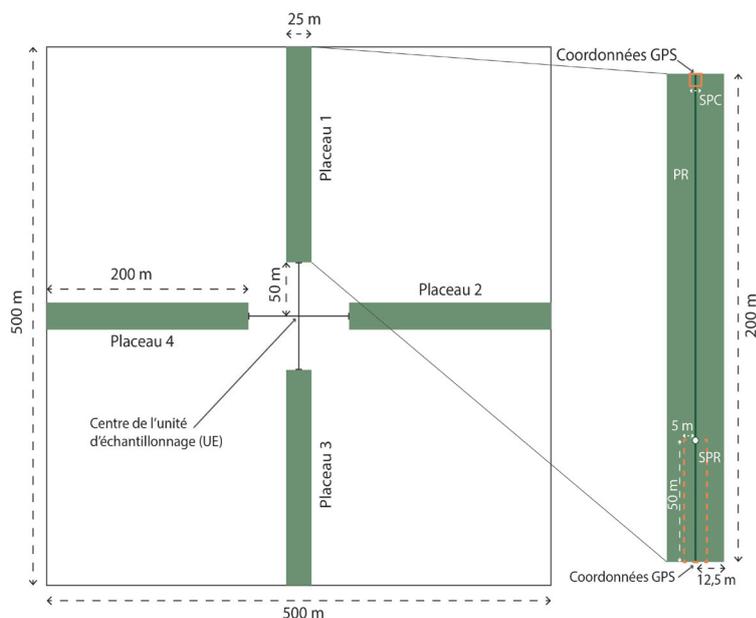
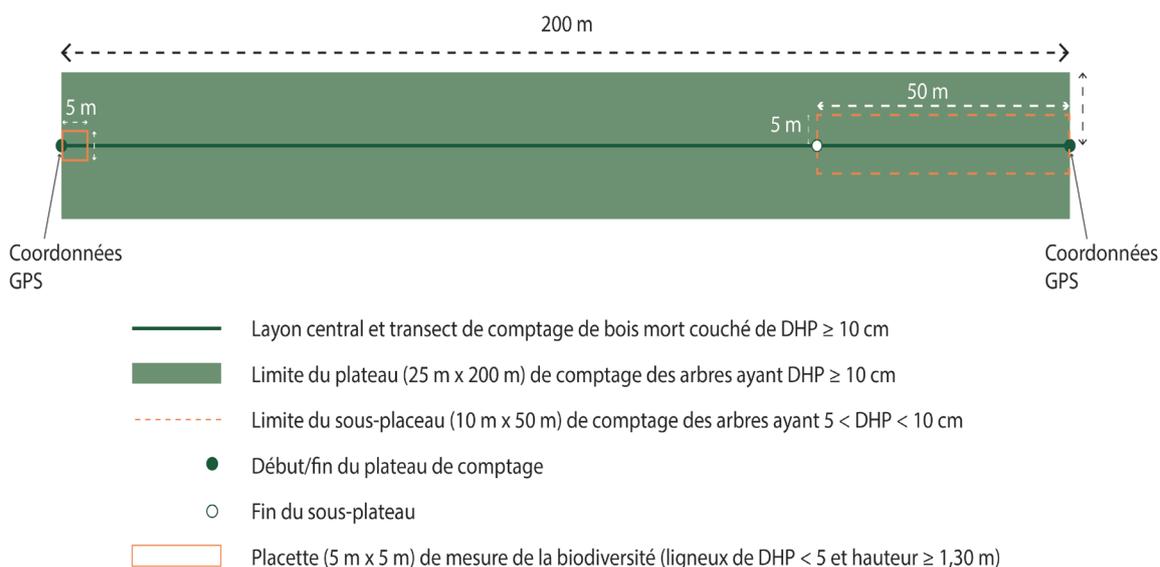


Figure 3 Description d'un placeau et de sous-placeaux



Les placeaux sont divisés en section d'utilisation des terres (SUT) / Types de forêts représentant des unités homogènes d'utilisation des terres et de couvert végétal, de taille et forme variables, identifiées sur le terrain. La plupart des données sur les caractéristiques, la gestion et l'utilisation des ressources forestières sont collectées à l'intérieur de ces SUT.

Chaque classe d'occupation du sol identifiée dans l'UE (dans les 4 placeaux) sert aussi à collecter des données sur les produits et services.

Les spécifications des différentes unités sont récapitulées dans le tableau 3. Il est à noter que toutes les dimensions et distances indiquées sont des distances horizontales.

Tableau 3 Spécifications des différentes unités de relevés

Unité	Forme	Taille (superficie)	Nombre
Unité d'Échantillonnage (UE)	Carré	500 m x 500 m (25 ha)	1
Placeaux Rectangulaires (PR)	Rectangle	200 m x 25 m (5000 m ²)	4/ UE
Sous-Placeau Rectangulaire (SPR)	Rectangle	50 m x 10 m (500 m ²)	4/ Placeaux
Placeau Carré (SPC)	Carré	5 m x 5 m (25 m ²)	1/ Placeau
Classe d'Occupation du Sol (OCS)	Variable	Variable	Variable
Classes d'Utilisation des Terres (UT)	Variable	Variable	Variable

5. RELEVÉ DES INFORMATIONS DANS LE PLACEAU

Les relevés s'effectuent depuis le point de départ et dans la direction appropriée. La progression sur le sillon central s'effectue à l'aide de la boussole et du ruban de 50 m pour bien délimiter l'axe central. Pour faciliter la visée, un ruban de balisage de couleur vive est placé le long du sillon central et attaché aux arbres ou sur les balises au fur et à mesure de l'avancée de l'équipe.

Les mesures sont effectuées à chaque côté de l'axe central sur une largeur de 12,5 m. Un ruban de balisage couleur vive est également positionné aux coins et sur les limites du placeau (à 12,5 m de part et d'autre de l'axe central), au fur et à mesure de la progression des équipes pour faciliter le repérage des arbres à l'intérieur du placeau.

- **Placeau Rectangulaire (PR):** la mesure des arbres dépassant un certain diamètre (DHP \geq 10 cm dans les sections classées comme forêts et pour les arbres hors forêt) et des bois morts couchés et traversant le layon principal (DHP \geq 10 cm) est réalisée dans ces placeaux.
- **Sous-placeau rectangulaire (SPR):** les données sur la régénération (arbres avec un $5 \leq$ DHP $<$ 10 cm) y sont collectées.
- **Sous-Placeau Carré (SPC):** les arbustes, les arbres, les espèces de plantes indicatrices et les produits forestiers non ligneux (PFNL) de DHP \leq 5 m et avec une hauteur \geq 1,30 m sont recensés et dénombrés à ce niveau.

En forêt ou Hors forêt: Tous les arbres, morts ou vivants, debout ou couchés, avec un DHP \geq 10 cm sont mesurés à l'intérieur du placeau (PR).

La régénération (arbres de moins de 5 cm de DHP et de plus de 1,30 m de hauteur) est comptée dans les sous-placeaux rectangulaires (SPR).

Souches: Les souches d'arbres abattus sont mesurées si elles remplissent les mêmes conditions de diamètre à hauteur de poitrine ou à hauteur de souche, si la hauteur de la souche est inférieure à 1,30 m.

Cas des arbres limites: Les arbres situés en bordure de placeau sont considérés comme à l'intérieur du placeau si au moins la limite du placeau touche la tige.

Les individus de petite taille / la régénération naturelle (arbres de hauteur \geq 1,30 m et DHP \leq 5 cm) sont seulement comptés par espèce (présence ou absence) à l'intérieur des SPC.

Pour les diamètres plus gros, les données sont collectées à l'intérieur des PR ou des SPR/SPC sont plus complètes. Elles incluent, outre l'identification de l'espèce, des mesures de hauteur, de diamètre, la santé et la qualité de l'arbre.

6. VARIABLES MESURÉES SUR DES ARBRES ET DES SOUCHES

L'inventaire entrepris ne visant principalement que la collecte des informations sur la biomasse forestière, les variables collectées sont résumées dans le tableau 4 suivant.

Tableau 4 Liste des variables mesurées

Réservoirs de carbone	Variables mesurées	Unités	Observations
Biomasse aérienne vivantes	DHP	cm	Diamètre à hauteur de poitrine d'homme fixé à 1,3 m
	Hauteur fût	m	
	Hauteur totale	m	
Souches	DHS	cm	Diamètre à hauteur de souches
	Hauteur souche	cm	
Bois mort debout	DHP	cm	Diamètre à hauteur de poitrine d'homme fixé à 1,3 m
	Hauteur fût	m	
	Hauteur totale	m	
Bois mort couché	Diamètre	cm	Mesuré au point d'intersection avec le layon principal
	État sanitaire	Mort ou vivant	Ces deux (2) variables sont communes à tous les réservoirs concernés
	Degré de décomposition	Intact ou pourri	

La composition floristique a également été estimée, notamment à travers l'identification des espèces rencontrées afin d'évaluer la biodiversité floristique dans les UE.

7. CONTRÔLE QUALITÉ

Pour s'assurer de la conformité de la procédure de collecte de données avec la méthodologie (manuel de terrain) d'une part et de la qualité des données collectées d'autre part, un contrôle qualité/assurance qualité (CQ/AQ) a été organisée sur 8 pour cent de l'ensemble des unités d'échantillonnage soit 12 UE. Ces 12 UE ont été réparties entre deux équipes mixtes de contrôle (SEP-REDD+, Universités et centres de recherches, organisation de la société civile).

Dans chaque UE, un placeau est choisi de manière aléatoire et les informations suivantes ont été vérifiées et collectées:

- informations générales sur l'UE et le placeau;
- type d'occupation et d'utilisation des terres;
- dimensions du placeau;
- mesures dendrométriques;
- identification des espèces.

8. MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DES DONNÉES DE L'INVENTAIRE DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE

Plusieurs étapes ont été poursuivies pour l'analyse des données de l'inventaire de biomasse.

i. Apurement et agrégation des données

Les informations contenues sur les fiches et dans les tablettes ont été vérifiées après la phase terrain pour voir leur conformité et cohérence.

Les fiches de terrain ont été numérisées et archivées. Ensuite, un croisement entre les fiches de terrain et les données dans les tablettes ont permis de vérifier leur conformité et cohérence avec les données collectées dans la tablette et ceci après la phase de collecte de données sur le terrain. L'apurement a consisté à corriger:

- les noms des essences;
- les erreurs de saisie;
- les omissions et commissions dans l'enregistrement des données.

Ces opérations ont permis d'aboutir à une base de données finale qui a servi pour les calculs de biomasse.

Étapes poursuivies

Les étapes ci-dessous ont été poursuivies pour avoir une base de données fiable exploitable lors des calculs:

> Saisie des données

Outre les données directement enregistrées sur *Collect mobile*, les données contenues sur les fiches ont été saisies sur *Collect mobile* pour les avoir en format numérique lorsque l'opérateur sur le terrain n'a pas pu tout enregistrer.

> Agrégation des données

Les données des 150 UE ont été stockées dans une base de données (*openforis Collect.data*) et enregistrées dans des répertoires différents. Pour procéder à l'analyse de ces données, la première étape a consisté à rassembler toutes ces données dans une même base de données pour faciliter leurs vérifications et les différentes requêtes. À l'issue de cette activité, une base de données unique a été mise en place en format *collect.data* et Excel.

> Correction des coordonnées des UE

Après le croisement des informations sur les coordonnées des UE présentes dans la base de données et les coordonnées saisies sur les fiches de terrains, des erreurs ont été constatées (saisie, omission, commission, etc.). Il a ainsi été nécessaire de les réviser et de les corriger. Une correction a aussi été apportée aux coordonnées des UE à l'aide des données GPS levées sur le terrain par les équipes.

> Contrôle qualité de données

Un contrôle qualité des données collectées a été réalisé. Il a consisté à effectuer des vérifications systématiques pour garantir l'intégrité, l'exactitude et l'exhaustivité des données, en incluant:

- une exploration graphique des données;
- et une formulation des requêtes de validation.

> Analyse des données dendrométriques

Une analyse des données collectées sur le terrain a permis de montrer la composition floristique et de calculer la densité moyenne des arbres dans les forêts par zone phytogéographique.

À la suite de différentes requêtes sur la base de données unique, des données aberrantes (par exemple un arbre de 50 m de diamètre ou de 70 m de hauteur) et incohérentes (erreurs sur le nom des espèces) ont été identifiées et corrigées. Les données corrigées ont été importées dans la base de données agrégée.

ii. Estimation de la biomasse aérienne vivante

> Choix de l'équation de biomasse

En absence d'équations allométriques propres aux formations forestières de la Côte d'Ivoire, l'utilisation de Globallogométrie a été mise à profit. L'estimation de biomasse aérienne (AGB) a été faite à partir d'une équation allométrique pantropicale. Les requêtes effectuées dans la base de données Globallogometree² ont montré qu'au moins 73 équations allométriques sont spécifiques à la Côte d'Ivoire. La plupart de ces équations sont spécifiques aux plantations forestières (Teck, Gmelina, Acacia, etc.) et/ou à certaines espèces de bois d'œuvre et d'ébénisterie (Acajou, Niangon, etc.). Toutefois, ces équations ne sont pas adaptées à une application à l'échelle nationale et à toutes les zones phytogéographiques du pays.

Afin de représenter tous les types de forêts dans la première phase d'analyse, l'équation allométrique (4) pantropicale développée par Chave *et al.* (2014) a été utilisée pour convertir les mesures sur le terrain en estimations de la biomasse aérienne car elle est estimée être plus robuste ($\sigma = 0,357$; Akaike Information Criterion (AIC)=3130 et $df = 4002$), récente et couvre un large éventail de types de végétation, pour un total de 4 004 arbres dont le diamètre du tronc varie de 5 cm à 212 cm, et inclut les données d'autres équations pantropicales dont l'équation de Brown (1997), l'équation de Chave (2005) et celle de Fayolle (2013). Cette équation inclut des données d'arbres en Afrique.

Le modèle 4 de l'équation de Chave *et al.* (2014) a été utilisé pour les estimations de la biomasse. Il se base sur le diamètre à hauteur de poitrine (DHP), la hauteur de l'arbre et la densité basique du bois. L'expression mathématique de cette équation allométrique est la suivante:

$$AGB_{est} = 0.0673 \times (\rho \text{ DHP}^2 \text{ H})^{0.976}$$

Où **AGB** est la biomasse aérienne estimée en Kg;

D est le diamètre à hauteur de poitrine en cm;

H est la hauteur totale de l'arbre (m);

ρ : la densité spécifique du bois (g.cm^{-3})

iii. Choix de la densité du bois

L'équation allométrique pour la prédiction de la biomasse fait intervenir la densité spécifique du bois. Dans la base de données agrégée renfermant toutes les mesures dendrométriques, une correspondance pour obtenir les densités du bois de ces espèces a été établie. Pour chaque espèce, une correspondance au niveau de l'espèce est recherchée dans le *Global Wood Density Database*³ et une densité moyenne du bois est associée à chaque arbre, au niveau le plus bas (espèce, genre ou famille).

2 Globallogometree: base de données mondiales des équations allométriques disponible sur <http://globallogometree.org>

3 Base de données globale de densité de bois disponible à l'adresse suivante: <http://datadryad.org/handle/10255/dryad.235>

Pour tous les arbres dont les noms scientifiques ne correspondent pas ou qui ne possèdent pas de noms scientifiques connus, inconnus ou morts, le script est adapté pour affecter une valeur par défaut de la densité de bois basique de $0,58 \text{ g.m}^{-3}$. Ceci a concerné 14 376 arbres répertoriés.

> Développement d'un modèle diamètre-hauteur national à partir de données collectées

Alors que le DHP a été mesuré pour tous les arbres présents dans l'UE, la hauteur totale des arbres a été mesurée seulement pour un sous ensemble de 11 573 arbres. Étant donné que le modèle de biomasse choisi prédit la biomasse à partir du diamètre et de la hauteur, il est donc essentiel de connaître la hauteur totale de tous les arbres inventoriés. Pour estimer la hauteur des arbres restants, un modèle hauteur-diamètre a été développé à partir des données recueillies à l'échelle nationale pendant l'inventaire. L'ajustement de la régression a été réalisé avec l'utilisation d'un modèle non linéaire à effet mixte, et a été obtenu avec le logiciel R, par la commande *ImputeHeights* du *R package Imfor*⁵, avec les données groupées par UE et zone phytogéographique. Cette opération a permis d'estimer la hauteur totale de chaque arbre.

iv. Estimation de la biomasse souterraine

La biomasse souterraine est calculée en appliquant le ratio tige sur racine (Tx) pour la forêt tropicale et tel que consigné dans le tableau 4.4 GIEC 2006 vol 4 (IPCC, 2006).

Tableau 5 Taux de biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne (Tx)

Zone écologique	Biomasse aérienne	Tx (tonne racine/tonne pousses)	Références
Forêt dense tropicale		0,37	Fittkau et Klinge, 1973
Forêt décidue humide tropicale	AGB < 125 t.ha ⁻¹	0,2	Mokany <i>et al.</i> , 2006
	AGB > 125 t.ha ⁻¹	0,24	Mokany <i>et al.</i> , 2006
Forêt sèche	AGB < 20 t.ha ⁻¹	0,56	Mokany <i>et al.</i> , 2006
	AGB >20 t.ha ⁻¹	0,28	Mokany <i>et al.</i> , 2006

L'équation ci-dessous a permis d'estimer la biomasse souterraine.

$$\text{Biomasse souterraine} = (T_x) \times \text{Biomasse aérienne}$$

v. Estimation de la biomasse aérienne du bois mort

La biomasse de bois mort est dérivée par la somme de la biomasse du bois mort debout, du bois mort couché et des souches.

L'outil méthodologique d'estimation des stocks de carbone et changement des Stocks de carbone en bois mort et litière dans Activités de projet Afforestation/Reforestation du Mécanisme pour le Développement Propre

4 0,58 g.m⁻³ est la valeur moyenne pour l'Afrique tropicale (Reyes *et al.*, 1992)

5 <https://cran.r-project.org/web/packages/Imfor/index.html>

(A/R MDP) (UNFCCC, 2013) a été utilisé pour le calcul de la biomasse du bois mort couché et les souches. Quant au bois mort debout, l'équation 4 de Chave *et al.* (2014) a été utilisé.

$$\text{Biomasse aérienne du bois mort} = \text{Biomasse du bois mort debout} + \text{Biomasse du bois mort couché} + \text{Biomasse des souches}$$

Pour la Biomasse du bois mort debout, l'équation ci-dessous a été appliquée

$$\text{Biomasse du bois mort debout} = \text{Biomasse de l'arbre} \times \text{Facteur de réduction de biomasse}$$

Où

la Biomasse aérienne du bois mort debout est obtenue par le modèle 4 de Chave *et al.* (2014);

Pour les arbres morts qui n'ont perdu que des feuilles et des brindilles, la biomasse du bois mort est égale à la biomasse entière multipliée par le facteur de réduction égal à 0,975⁶;

pour les arbres morts qui ont perdu des feuilles, des brindilles et des petites branches (DHP <10 cm), la biomasse du bois mort est égale à la biomasse entière multipliée par le facteur de réduction égal à 0,80⁷.

Pour le bois mort couché, la formule de Harmon et Sexton (1996) a été appliquée, estimant le volume total en m³ ha⁻¹. Cette formule nécessite la longueur du transect (L= 200 m) et du diamètre de chaque bois mort couché (D) au point d'intersection du transect.

$$\text{Biomasse du bois mort couché} = \frac{\pi^2 \times D^2 \times \beta \times \rho}{8L}$$

Où:

D = diamètre du bois mort couché au point d'intersection du transect,

L = longueur du transect (200 m dans le cas de notre étude),

β = Facteur de réduction de la densité applicable au bois mort couché coupant une ligne de transect,

ρ = densité basique du bois est égale 0.58 g.cm⁻³ (Reyes *et al.*, 1992).

Deux classes de décomposition⁸ ont été enregistrées pour le bois couché: intact et pourris. Si la classe de décomposition était absente dans les données, le morceau de fût est considéré comme sain. Étant donné qu'un bois pourri contient moins de biomasse qu'un bois intact, la biomasse du bois mort couché est réduite comme suit:

$$\text{La biomasse du bois mort couché et intact : biomasse du bois mort couché} \times 0,80$$

$$\text{La biomasse bois mort couché et pourri : biomasse du bois mort couché} \times 0,45$$

Pour les souches, la formule ci-dessous est appliquée:

$$\text{Biomasse souche} = \frac{\pi}{4} \times DHS^2 \times HS \times \beta \times \rho$$

Où:

DHS = diamètre à hauteur de la souche (m)

β = Facteur de réduction de densité de bois (confère Facteur de réduction de la densité applicable au bois mort couché)

6 Adapté du IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (IPCC GPG-LULUCF 2003): p. 4.105, section 4.3.3.5.3 DEAD ORGANIC MATTER.

7 *Ibid.*

8 "The stump wood is struck with a machete - if the blade bounces off it is sound; if it enters slightly into the wood, is it intermediate; and if it causes the wood to fall apart, it is rotten". IPCC GPG LULUCF 2003, section 4.3.3.5.3 DEAD ORGANIC MATTER.

ρ = Densité du bois par défaut (0,58 g.cm⁻³)

HS = hauteur de la souche

vi. Estimation de la biomasse souterraine du bois mort

La biomasse souterraine du bois mort est calculée en appliquant le ratio entre la tige et la racine (R) pour la forêt tropicale (Cairns *et al.*, 1997), tel que consigné dans le Tableau 4.A.4 GIEC 2003.

La valeur de R est calculée à partir de l'équation suivante:

$$R = \exp [-1,085 + 0,9256 \ln (A)] / A$$

Où A est la biomasse aérienne du bois mort (t/ha)

La Biomasse du bois mort est calculée à partir de la formule ci-dessous:

$$\text{Biomasse du bois mort} = A (R + 1)$$

vii. Calculs des Facteurs d'émission

Les facteurs d'émission (FE) ont été calculés pour chaque zone phytogéographique et pour chaque réservoir, en multipliant la biomasse du réservoir (en t.ha⁻¹) par un facteur de conversion de la fraction carbonée de la matière sèche dans la biomasse vivante ou morte ($FC_{FCMSBV/M}$) puis par un facteur de conversion de carbone en CO₂ équivalent.

$$FE_{\text{réservoir}} = B_{\text{réservoir}} \times FC_{FCMSBV} \times FC_C$$

Avec:

$FE_{\text{réservoir}}$: Facteurs d'émission du réservoir en TeqCO₂

$B_{\text{réservoir}}$: Biomasse du réservoir en t.ha⁻¹

FC_{FCMSBV} : Facteur de conversion de la fraction carbonée de la matière sèche dans la biomasse vivante (0,47) ou morte (0,49)

FC_C : Facteur de conversion de Carbone en équivalent CO₂

Il est à noter que le calcul de la biomasse pour chaque arbre inventorié a été effectué à l'aide du script⁹ et dans un tableur¹⁰ ont été agrégées les estimations de biomasse, de carbone des différents réservoirs par de unité d'échantillonnage puis des zones phytogéographiques (voir Annexe 2).

9 Script de calcul de l'AGB

10 Tableur *Excel* des résultats agrégés par UE et zone phytogéographique



V

MISE EN ŒUVRE DE L'INVENTAIRE DE BIOMASSE

1. COMPOSITION DES ÉQUIPES ET ÉQUIPEMENTS UTILISÉS

Compte tenu de la quantité d'informations à récolter, cinq équipes de sept personnes (cinq membres permanents et deux membres temporaires recrutés localement) ont été constituées pour la collecte de la biomasse forestière. Chaque équipe fait une jonction avec les populations locales par le recrutement des guides et du personnel d'appui. Elle est composée de:

- 1 chef d'équipe (pointeur, chef de brigade des prospecteurs);
- 1 opérateur de saisie (pointeur Collect mobile);
- 1 opérateur GPS (prospecteur);
- 2 techniciens (prospecteurs botanistes);
- 2 assistants locaux (manœuvres).

Leurs attributions respectives sont détaillées dans le Tableau 6.

Tableau 6 Attributions de chaque membre d'une équipe

Titre	Attributions
Chef d'équipe	<ul style="list-style-type: none">• direction des activités sur terrain et la logistique• localisation des unités d'échantillonnage• enregistrement des coordonnées GPS des unités d'échantillonnage• vérification de l'équipement, des fiches et en charge de la sauvegarde des données récoltées à la fin de chaque journée
Opérateur de saisie (pointeur <i>Collect mobile</i>)	<ul style="list-style-type: none">• enregistrement des données avec la tablette• compilation et remise journalière des fiches de données, photos, etc.
Opérateur GPS	<ul style="list-style-type: none">• manipulation de la boussole• Installation des unités d'échantillonnage• enregistrement les données sur la fiche de terrain• mesures d'azimut et de la hauteur des arbres; et les observations complémentaires nécessaires• supervision et orientation des guides recrutés localement

Titre	Attributions
Techniciens	<ul style="list-style-type: none"> • réalisation de toutes autres activités jugées utiles par le chef d'équipe • identification des espèces forestières • observations de la faune • mesures de DHP et de la hauteur • réalisation de toutes autres activités demandées par le chef d'équipe
Assistants locaux	<ul style="list-style-type: none"> • portage du matériel • élagage de la végétation pour faciliter la visibilité lors les mesures • information sur l'accès au UE • interaction avec les communautés locales • réalisation de toutes autres activités demandées par le chef d'équipe

En plus de l'équipe de mesure, un chef de projet (SODEFOR) a été en charge de:

- la mise en contact des équipes avec les autorités administratives et les communautés locales;
- la communication avec le bureau central;
- la supervision du contrôle de la qualité des données collectées sur le terrain avec l'équipe mixte (SEP-REDD+/SODEFOR).

2. MATÉRIELS

Chaque équipe a utilisé la liste non-exhaustive de matériels de terrain suivante:

- 1 véhicule 4 x 4 de type «pick-up double cabine»;
- 1 ruban métrique d'au moins 25 m;
- 1 Vertex transpondeur laser de hauteur et de mesure de distances;
- 1 ruban dendrométrique et 1 compas forestier;
- 5 sacs à dos;
- 1 jeu de fiches de comptage;
- 1 carte d'accès à l'UE à l'échelle 1/70 000;
- 1 GPS;
- 1 appareil photographique;
- du matériel de marquage (craies forestières, 10 rouleaux de rubans colorés pour le balisage biodégradable, 2 pots de peinture jaune ou orange);
- 1 boussole (en degré);
- 1 paire de jumelles;
- 1 paire de botte, 1 tenue imperméable, 1 gilet et 1 casque de protection par personne;
- du matériel de camping et de cuisine (lits, tentes, bâches, lampes, gamelles, seaux, glacières, etc.);
- 1 boîte à pharmacie;
- 1 tablette pour la saisie de données dans l'application *openforis Collect mobile*;
- 1 ordinateur portable;
- 1 copie du manuel de terrain.



©FAO

Le coût du matériel nécessaire à chaque équipe de collecte de données est évalué approximativement à 7 000 USD. Ceci n'inclut pas le coût du véhicule ni le carburant pour les déplacements des équipes sur le terrain.

Un des caractères novateurs de cet inventaire est l'utilisation de tablette avec l'application *Collect Mobile* d'*Open Foris* pour l'enregistrement des données sur le terrain¹¹. Ceci est une première expérience en Côte d'Ivoire.

Encadré 1 Description de *Collect Mobile*

Collect Mobile est un outil de collecte de données rapide, intuitif et flexible pour les enquêtes sur le terrain. Cette application Android permet d'enregistrer des données complexes, telles que des enquêtes biophysiques, socio-économiques ou de biodiversité. Ses nombreuses fonctionnalités incluent:

- la validation pour l'amélioration de la qualité des données;
- une manipulation d'une liste élargie d'espèces ou d'autres attributs;
- la géolocalisation par l'intermédiaire d'un GPS intégré;
- intégration pour la gestion, l'analyse et l'exportation de données aux formats couramment utilisés;
- le traitement des entrées et le calcul des attributs pour le contrôle de la qualité des données sur le terrain.

(FAO, 2017. Pour plus d'information: <http://www.fao.org/forestry/fma/openforis/en/>)

Cet outil offre de nombreux avantages dont:

- le développement, partage des outils et des méthodes d'évaluation des forêts à usages multiples (IFN);
- l'indépendance par rapport à des logiciels commerciaux (gratuits et libres, donc à coût réduit);
- la manipulation de grandes listes d'espèces ou d'autres attributs;
- la géolocalisation des UE ou arbres par GPS intégré;
- l'intégration et gestion des données, l'analyse et l'exportation aux formats couramment utilisés;
- la correction instantanée des erreurs de saisie (doublons, nom des essences, etc.);
- le contrôle de la qualité/validation des données et agrégation de toutes les données de l'inventaire;
- la conciliation des deux méthodes : l'ancienne qui consistait à enregistrer les données sur des fiches de terrain et la nouvelle qui est de renseigner les données aux moyens d'outils technologiques comme les tablettes dans ce cas-ci;
- la conception d'une application adaptée au contexte national;
- l'analyse des données de l'inventaire (openforis Calc.) pouvant être réalisée plus rapidement.

Cependant, les difficultés suivantes ont été observées lors de l'utilisation de Collect mobile:

11 *Open Foris* est une initiative dirigée par la FAO pour développer, partager et soutenir les outils logiciels spécialisés requis par les pays et les institutions pour mettre en œuvre des inventaires forestiers polyvalents. Il s'agit d'un ensemble d'outils logiciels gratuits et open source qui facilitent la collecte, l'analyse et le reporting de données flexibles et efficaces. L'initiative a été créée dans le cadre du Programme de foresterie FAO-Finlande en collaboration avec le soutien de la FAO à la Surveillance et à l'évaluation des forêts nationales (NFMA) et au Programme ONU-REDD pour répondre aux besoins croissants d'informations précises et opportunes sur l'état des ressources forestières et leur utilisation, et les utilisateurs.

- bugs constatés dans l'enregistrement des données pour les placeaux à fortes densités d'arbres (environs 200 tiges);
- la possibilité de faire des requêtes dans le logiciel est très difficile;
- difficultés de manipulation du logiciel par les équipes sur le terrain malgré les formations réalisées car ces dernières n'étaient pas familières à l'utilisation simultanée des fiches sur papier et de la tablette.

La raison notamment de ces bugs est la performance des tablettes utilisées: ces dernières n'étaient pas assez performantes (insuffisance de mémoire RAM, autonomie), ne permettant pas à l'opérateur de saisie de suivre parfois le rythme des prospecteurs. Par ailleurs, certaines zones de collecte de données se trouvant dans des zones sans sources d'électricité, les batteries supplémentaires acquises ont été d'une grande utilité.

3. SENSIBILISATION PRÉALABLE DES COMMUNAUTÉS LOCALES ET PARTAGE D'INFORMATION

Afin d'éviter les réticences des communautés locales et permettre aux équipes d'accéder aux zones de collecte de données, il est nécessaire qu'une sensibilisation soit réalisée avant le déploiement des équipes de collecteurs de données.

Pour le présent inventaire, cette information s'est réalisée en deux temps:

- l'information des institutions locales, y compris traditionnelles sur la tenue et les objectifs de l'inventaire de biomasse, bien avant la période de déploiement des équipes. Des courriers d'information ont ainsi été envoyés à ces institutions locales, et des explications ont été octroyés aux autorités locales en plus de ces courriers lors de leur dépôt;
- l'information des communautés locales riveraines des forêts de l'objectif de l'inventaire et des activités qui seront entreprises lors de la collecte des données.

Il est à noter que les communautés locales ont aussi été associées aux collectes de données, notamment pour leur connaissance des espèces forestières (en tant qu'identificateur des espèces rencontrées) mais aussi en tant que guide dans les forêts.

1. DONNÉES DENDROLOGIQUES ET DENDROMÉTRIQUES

Données dendrologiques

À l'issu de l'analyse de toutes les données collectées, il en résulte que 93 236 arbres et souches ont été inventoriés au cours de la campagne de collecte de données de la biomasse forestière. 77 354 arbres (DHP \geq 5) et 1506 arbres (DHP $<$ 5) sont vivants et se répartissent en 400 espèces végétales, 247 genres et 64 familles dont la plus importante est celle des Fabaceae (17,13%).

6 498 arbres morts sur pieds, 4 232 bois morts couchés et 3 646 souches ont également été recensés. Le plus grand arbre mesuré au cours de l'inventaire avait un DHP de 180 cm. Il a été trouvé dans le secteur ombrophile dans les Forêts Classées de Comoé et Tamin. Les espèces concernées sont *Erythrophleum ivorense* et *Sacoglottis gabonensis*.

Le tableau 7 ci-dessous présente les 20 plus importantes familles, genres et essences recensés.

Tableau 7 Proportion des 20 plus importantes essences, familles et genres recensés

Essence	Fréquence	Genre	Fréquence	Famille	Fréquence
<i>Funtumia africana</i>	2,59%	<i>Diospyros</i>	4,31%	<i>Fabaceae</i>	17,05%
<i>Strombosia pustulata</i>	2,16%	<i>Cola</i>	3,25%	<i>Malvaceae</i>	11,50%
<i>Dialium aubrevillei</i>	1,88%	<i>Funtumia</i>	3,08%	<i>Phyllanthaceae</i>	5,64%
<i>Nesogordonia papaverifera</i>	1,85%	<i>Uapaca</i>	2,46%	<i>Apocynaceae</i>	4,74%
<i>Cola gigantea</i> var. <i>glabrescens</i>	1,71%	<i>Celtis</i>	2,38%	<i>Ebenaceae</i>	4,31%
<i>Hallea ciliata</i>	1,64%	<i>Strombosia</i>	2,16%	<i>Rubiaceae</i>	4,26%
<i>Dacryodes klaineana</i>	1,61%	<i>Dialium</i>	2,11%	<i>Euphorbiaceae</i>	4,17%
<i>Cecropia</i> sp.	1,41%	<i>Terminalia</i>	2,01%	<i>Meliaceae</i>	4,09%
<i>Musanga cecropioides</i>	1,34%	<i>Nesogordonia</i>	1,85%	<i>Urticaceae</i>	3,67%
<i>Celtis mildbraedii</i>	1,32%	<i>Trichilia</i>	1,77%	<i>Annonaceae</i>	3,19%
<i>Ceiba pentandra</i>	1,29%	<i>Xylopia</i>	1,77%	<i>Olacaceae</i>	3,17%
<i>Aidia genipiflora</i>	1,20%	<i>Hallea</i>	1,64%	<i>Moraceae</i>	3,05%

Essence	Fréquence	Genre	Fréquence	Famille	Fréquence
<i>Macaranga heudelotii</i>	1,19%	<i>Baphia</i>	1,62%	<i>Combretaceae</i>	3,02%
<i>Diospyros heudelotii</i>	1,17%	<i>Dacryodes</i>	1,61%	<i>Cannabaceae</i>	2,49%
<i>Calpocalyx brevibracteatus</i>	1,16%	<i>Macaranga</i>	1,48%	<i>Sapotaceae</i>	2,26%
<i>Diospyros sanza-minika</i>	1,14%	<i>Drypetes</i>	1,48%	<i>Burseraceae</i>	1,76%
<i>Scottellia chevalieri</i>	1,07%	<i>Anthonotha</i>	1,42%	<i>Anacardiaceae</i>	1,51%
<i>Sterculia tragacantha</i>	1,06%	<i>Cecropia</i>	1,41%	<i>Putranjivaceae</i>	1,48%
<i>Uapaca togoensis</i>	1,02%	<i>Musanga</i>	1,34%	<i>Sapindaceae</i>	1,21%
<i>Uapaca guineensis</i>	1,01%	<i>Coula</i>	0,58%	<i>Achariaceae</i>	1,14%
Autres	72,17%	Autres	60,84%	Autres	17,45%

L'essence la plus rencontrées au cours de l'inventaire est *Funtumia africana* (2,59 % de l'ensemble des espèces inventoriées) suivi de *Strombosia pustulata* (2,16 %).

La famille des *Fabaceae* est la plus représentée avec (17,05 %) suivie de la famille des *Malvaceae* (11,05 %).

Le genre *Diopyros* est le plus représentées avec (4,31 %) des arbres inventoriés suivi du genre *Cola* (3,25 %).

Données dendrométriques

La répartition de la densité des arbres est consignée dans le tableau 8 ci-après.

Tableau 8 Répartition de la densité par zone phytogéographique

Secteur	Nombre d'UE	densité arbres $10 \leq \text{DHP} \leq 5$ (nombre de tiges/ha \pm CI)	densité arbres $\text{DHP} \geq 10$ (nombre de tiges/ha \pm CI)	densité arbres $\text{DHP} \geq 5$ (nombre de tiges/ha \pm CI)
Ombrophile	60	257 \pm 27	292 \pm 23	549 \pm 45
Mésophile	44	179 \pm 34	215 \pm 25	394 \pm 53
Soudanais	31	125 \pm 26	205 \pm 22	330 \pm 42
Préforestier	15	88 \pm 31	167 \pm 43	255 \pm 70

IC = intervalle de confiance à 90 %¹²

La densité est plus élevée dans le secteur ombrophile avec 549 tiges/ha. Ce secteur ombrophile est caractérisé par les forêts denses sempervirentes. La densité la plus faible de 255 tiges/ha est observée dans le secteur préforestier caractérisé par des mosaïques de forêts et de savanes.

12 Cet IC inclut seulement les erreurs d'échantillonnage.

2. ESTIMATIONS DE LA BIOMASSE

Biomasse aérienne et souterraine des arbres avec DHP \geq 5 cm par strate (zone phytogéographique).

La moyenne de la biomasse aérienne vivante par strate est présentée dans le tableau 9.

Tableau 9 Répartition de la biomasse vivante par strate

Secteur	Nombre d'UE	Biomasse aérienne vivante (t/ha \pm IC)	Biomasse souterraine vivante (t/ha \pm IC)	Biomasse vivante totale (t/ha)
Ombrophile	60	144 \pm 18,3	53,3 \pm 6,8	197,3
Mésophile	44	87,8 \pm 12,7	18,8 \pm 3,1	106,6
Soudanais	31	82,2 \pm 9,7	23 \pm 2,7	105,2
Préforestier	15	63,8 \pm 16,6	17,9 \pm 4,7	77,3

IC = intervalle de confiance à 90 %

La strate la plus riche en biomasse est la strate ombrophile, avec une biomasse vivante totale de 197,3 t/ha. Vient ensuite par la strate mésophile (106,6 t/ha), la strate soudanaise (105,2 t/ha) et enfin la strate préforestière (77,3 t/ha).

La biomasse aérienne vivante est présentée à l'annexe 1 pour chaque UE et strate.

Biomasse du bois mort des arbres et souches avec DHP \geq 10 cm par strate (zone phytogéographique).

Le tableau 10 présente la biomasse de la matière organique morte avec un intervalle de confiance à 90 %.

Tableau 10 Répartition de la biomasse du bois mort par strate

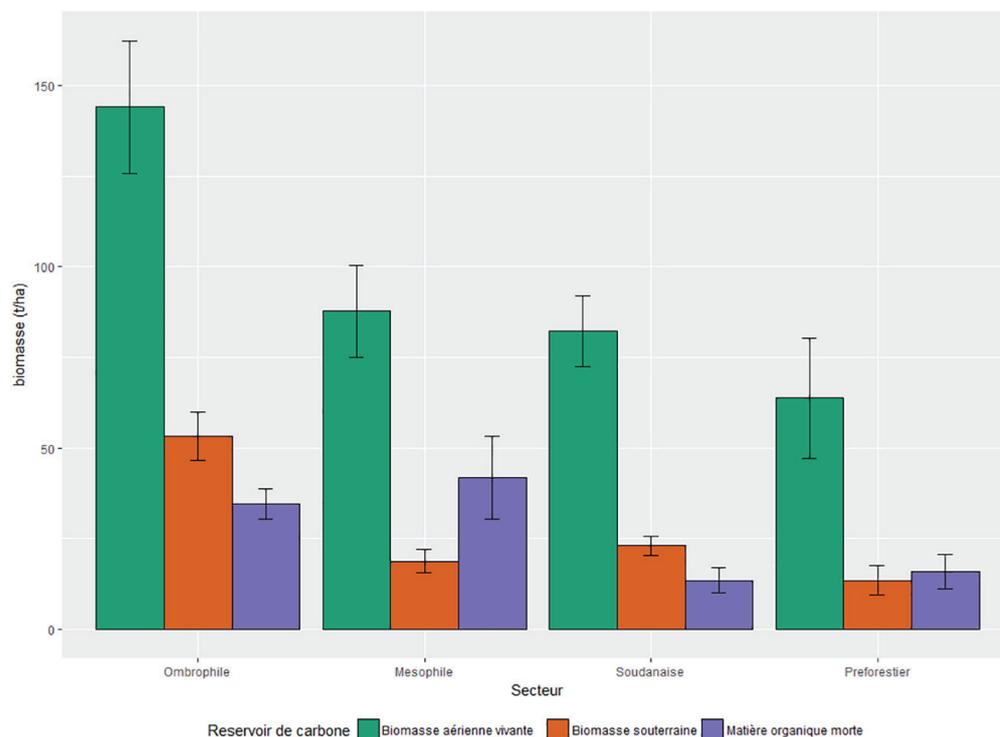
Secteur	Nombre d'UE	Biomasse souche (t/ha \pm IC)	Biomasse mort debout (t/ha \pm IC)	Biomasse bois mort souterraine (t/ha \pm IC)	Biomasse bois mort couché (t/ha \pm IC)	Biomasse bois mort totale (t/ha \pm IC)
Ombrophile	60	0,444 \pm 0,084	13,7 \pm 2,2	3,9 \pm 0,6	16,5 \pm 2,7	34,4 \pm 4,2
Mésophile	44	0,436 \pm 0,156	16,5 \pm 5	4,5 \pm 1,2	20,3 \pm 6	41,7 \pm 11,4
Soudanais	31	0,122 \pm 0,092	7,9 \pm 2,5	2,2 \pm 0,6	3,3 \pm 1	13,5 \pm 3,4
Préforestier	15	0,322 \pm 0,205	7,3 \pm 2,8	2,2 \pm 0,8	6,1 \pm 1,7	15,9 \pm 4,7

IC = intervalle de confiance à 90 %

Le réservoir bois mort se compose de trois catégories. Ce sont le bois mort debout, le bois mort couché et les souches. Le bois mort représente la plus importante partie de la matière organique morte.

La figure 4 résume les résultats obtenus de tous les réservoirs de chacune des zones phytogéographiques.

Figure 4 Résultat compilé de la biomasse par zone phytogéographique



La biomasse aérienne vivante pour le secteur ombrophile est estimée à 144 t.ha⁻¹. Les quantités de biomasse aériennes vivantes sont quasiment similaires pour les secteurs mésophile (87,7 t.ha⁻¹) et soudanais (plus de 82,2 t.ha⁻¹) et cette quantité est faible dans le secteur préforestier (63,8 t.ha⁻¹).

Quant à la biomasse souterraine vivante, elle est plus élevée dans le secteur ombrophile (53,3 t.ha⁻¹) mais plus faible dans le secteur préforestier (17,9 t.ha⁻¹). Elle est égale à 23 t.ha⁻¹ dans le secteur soudanais et vaut 18,8 t.ha⁻¹ dans le secteur mésophile.

La biomasse de la matière organique morte est plus élevée dans les secteurs ombrophile et mésophile avec respectivement de 34,4 t.ha⁻¹ et 41,7 t.ha⁻¹ et plus faibles dans les secteurs soudanais (13,5 t.ha⁻¹) et préforestier (15,9 t.ha⁻¹).

Par ailleurs, ces valeurs (min = 63,8 t.ha⁻¹ et max = 144 t.ha⁻¹) sont faibles par rapport à la biomasse des forêts tropicales denses humides et fermées de l'Afrique de l'Ouest (114 à 395,7 t.ha⁻¹) (Lewis *et al.*, 2013) et des données par défaut de GIEC¹³ (130 à 510 t.ha⁻¹ pour les forêts tropicales denses, et 20 à 200 t.ha⁻¹ pour les forêts tropicales denses sèches), compte tenu du fait que les forêts ivoiriennes sont beaucoup perturbées par les pressions anthropiques.

13 Tableau 4.8 des lignes directrices du GIEC, 2006

3. ESTIMATION DES FACTEURS D'ÉMISSION

Le tableau 11 présente la variation des stocks de carbone forestier par zone phytogéographique.

Tableau 11 Stocks de carbone forestier des trois réservoirs par secteur

Secteur	Biomasse aérienne vivante (tC/ha)	Biomasse souterraine vivante (tC/ha)	Biomasse bois mort (tC/ha)	Total réservoirs (tC/ha)
Ombrophile	67,68	25,05	16,86	109,59
Mésophile	41,27	8,84	20,43	70,54
Soudanais	38,63	10,81	6,62	56,06
Préforestier	29,99	6,35	7,79	44,12

Le stock de carbone épigé représente autour de 63,35 % de l'ensemble des réservoirs. Les stocks de carbone du bois mort et souterrain sont presque similaires (respectivement à 18,44 % et 18,21 %).

Le tableau 12 présente les facteurs d'émission par zone phytogéographique.

Tableau 12 Facteurs d'émissions des trois réservoirs par secteur

Secteur	Biomasse aérienne vivante (tCO ₂ /ha)	Biomasse souterraine vivante (tCO ₂ /ha)	Biomasse bois mort totale (tCO ₂ /ha)	Total reservoirs (tCO ₂ /ha)
Ombrophile	248,16	91,85	61,81	401,82
Mésophile	151,31	32,40	74,92	258,63
Soudanais	141,66	39,64	24,26	205,55
Préforestier	109,95	23,27	28,57	161,78

Suite aux estimations des facteurs d'émission, il apparaît une importante variabilité des FE par zone phytogéographique. Par ailleurs, ces valeurs sont faibles par rapport aux FE des forêts tropicales denses humides et fermées de l'Afrique de l'Ouest (qui peuvent présenter des FE de 186 tC.ha⁻¹) (Lewis *et al.*, 2013) et des données par défaut de GIEC (150,4 tC.ha⁻¹)¹⁴. Ceci s'explique entre autres par le fait que les forêts ivoiriennes sont beaucoup perturbées par les pressions anthropiques.

¹⁴ Tableau 4.8 des lignes directrices du GIEC, 2006



UE 75
PL 3
S

UE 75
PL 2
EST

RECOMMANDATIONS TECHNIQUES

Plusieurs conclusions d'ordre techniques émanent de cet inventaire de la biomasse forestière entrepris en Côte d'Ivoire.

Estimation de la biomasse

Les moyennes de la biomasse des arbres vivants et du bois mort varient spatialement en fonction des zones phytogéographiques et des caractéristiques des différentes forêts: les forêts du secteur ombrophile renferment logiquement les plus importants stocks de carbone aérien pouvant atteindre 144 t.ha^{-1} . Les forêts du secteur subsoudanais et soudanais renferment les plus faibles stocks de carbone avec une moyenne de 63.8 t.ha^{-1} .

Evaluation de l'incertitude des données

L'erreur d'échantillonnage est fournie automatiquement lors des calculs avec le classeur MS-Excel. Mais il existe beaucoup d'autres sources d'incertitudes qui méritent d'être évaluées. Il y a par exemple des erreurs de mesure sur le terrain, les erreurs de sélection de modèle, et des erreurs liées au choix de la densité du bois et les erreurs d'échantillonnage;

Pour réduire ces erreurs observées, il faut:

- **Cas 1:** pour réduire les erreurs de mesure sur le terrain et les erreurs d'échantillonnage

Augmenter le nombre d'UE pour les prochains IFN et utiliser un réseau de placettes permanentes pour les inventaires;

- **Cas 2:** pour réduire les erreurs de sélection de modèle, et des erreurs liées au choix de la densité du bois

Développer des équations allométriques locales, déterminer la densité de bois pour toutes les essences locales à travers notamment le financement de projets de recherche.

Hauteur des arbres

La hauteur totale n'a pas été mesurée pour tous les arbres présents sur la placeau mais l'exercice a seulement été fait sur un sous-ensemble. Un total d'environ 11 500 arbres repartis dans les différents types de formations forestières et strates ont pu ainsi être mesurés.

Étant donné l'influence de la hauteur des arbres dans les estimations finales de la biomasse, la prise en compte des hauteurs des arbres dans les inventaires forestiers est fortement recommandée. Dans les forêts dégradées, la hauteur de l'arbre pourrait être mesurée pour tous les arbres, alors que dans une forêt bien conservée, la hauteur de l'arbre pourrait être mesurée tous les 10 à 15 arbres et ceci pour construire des modèles H-DHP locaux.

Composition floristique

La liste floristique utilisée pour l'inventaire biomasse ne contient que 500 espèces forestières sur les 3 517 Angiospermes recensés en Côte d'Ivoire (République de Côte d'Ivoire, 2014). Il s'avère ainsi nécessaire d'agrandir cette base de données avec la liste floristique d'Aké Assi (1984 et 1988) ainsi que la liste rouge de l'UICN lors du prochain IFN.

RECOMMANDATIONS EN VUE DE LA MISE EN ŒUVRE DE L'INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL

Le présent travail réalisé a été une initiative très intéressante non seulement pour avoir une connaissance des forêts de la Côte d'Ivoire mais également pour tester la méthodologie de l'inventaire forestier, prenant en considération les besoins du processus REDD+. Il en résulte que:

- cette méthodologie mettant en exergue des connaissances déjà acquises en Côte d'Ivoire mérite d'être dupliquée pour l'inventaire forestier national, même si quelques ajustements pourraient être réalisés. De même, d'autres variables doivent être introduites pour compléter cet inventaire afin de pouvoir couvrir tous les aspects qui sont importants dans le cadre d'un inventaire forestier national;
- l'utilisation des outils *Openforis* est recommandée étant donné les résultats très positifs liés à son utilisation lors de l'inventaire de biomasse (non seulement pour la collecte des données mais aussi pour l'archivage des données). Étant un logiciel libre d'accès, son utilisation n'augmentera pas les coûts de la mise en œuvre de l'IFN. Au regard de la suite d'outils qu'il renferme également, son utilisation ne serait que bénéfique (nul besoin de construire une base de données coûteuse, etc.). Il est ainsi conseillé fortement l'utilisation de *Collect mobile*, avec un ajustement de son contenu en fonction des variables à collecter.

Aussi, l'accent est mis sur la nécessité de sensibiliser et d'impliquer les communautés locales avant le déploiement des équipes de collecte de données : cette sensibilisation et partage d'information préalable permettrait de réduire la réticence des communautés locales quant aux objectifs de l'exercice. En effet, sans les informations suffisantes disponibles auprès des communautés locales, le fait de mesurer les arbres pourrait être interprété différemment par elles.

Ake, A. L. 1984. *Flore de la Côte d'Ivoire: Etude descriptive et biogéographique, avec quelques notes ethnobotaniques*. Faculté des Sciences, Abidjan. 1206 pages.

Ake, A. L. 1988. Espèces rares et en voie d'extinction de la flore de la Côte d'Ivoire. *Mongraphs in Systematic Botany from Botanical Garden*, 25: 461-463.

Brown, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer. FAO Forestry Paper, Rome.

Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. et Baumgardner, G.A. 1997. «Root biomass allocation in the world's upland forests», *Oecologia*, 111: 1-11.

Chatelain, C., Dao, H., Gautier, L. et Spichiger, R. 2004. Forest cover changes in Côte d'Ivoire and Upper Guinea, *Biodiversity of West African Forests*, pp. 15-32. CABI Publishing, Oxford, GB.

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

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

Etc Terra. 2016. Étude qualitative des facteurs de la déforestation et de la dégradation des forêts désagrégés par zone agroécologique. Programme National ONU-REDD - FAO / SEP-REDD+.

Fayolle, A., Douce, J.-L., Gille, J.-F., Bourland, N. et Lejeune, P. 2013. «Tree allometry in Central Africa: Testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks», *Forest Ecology and Management*, 305: 29-37.

Fittkau, E.J. et Klinge, N.H. 1973. «On biomass and trophic structure of the central Amazonian rainforest ecosystem», *Biotropica*, 5: 2-14.

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

Harmon, M. E. et Sexton, J. 1996. *Guidelines for Measurements of Woody Detritus in Forest Ecosystems*. US LTER Publication No. 20. US LTER Network Office, University of Washington, Seattle, WA, USA.

Hewson, J., Steininger, M.K., Pesmajoglou, S., Parra, A. et Shoch, D. 2014. *Manuel de mesure, notification et vérification (MNV) de la REDD+ version 2.0 : Vue d'ensemble*. Programme carbone forestier, marchés et communautés financé par l'USAID. Washington, DC, États-Unis.

IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories - Volume 4 - Agriculture, Forestry and

other Land Use. Institute for Global Environmental Strategies, Japan.

Kouamé, J. et D'Annunzio, R. 2016. Étude d'élaboration des documents de développement de la légende nationale au format LCCS-V3/LCML de la couverture terrestre de la république de Côte d'Ivoire, FAO, 81 pp.

Lewis, S. L., Sonke, B., Sunderland, T., Begne, S., Lopez-Gonzalez, G., Van der Heijden, G., Phillips, O., Affum-Baffoe, K., Baker, T., Banin, L., Bastin, J-F., Beeckman, H., Boeckx, P., Bogaert, J., De Cannière, C., Chezeaux, E., Clark, C., Collins, M., Djagbletey, G., Djuikouo, M-N., Droissart, V., Doucet, J. L., Ewango, C., Fauset, E., Feldpausch, T., Foli, E., Gillet, J-F., Hamilton, A., Harris, D., Hart, T., de Haulleville, T., Hladik, A., Hufkens, K., Huygens, D., Jeanmart, P., Jeffery, K., Kearsley, E., Leal, M., Lloyd, J., Lovett, J., Makana, J-R., Malhi, Y., Marshall, A., Ojo, L., Peh, K., Pickavance, G., Poulsen, J., Reitsma, J., Sheil, D., Simo, M., Steppe, K., Taedoumg, H., Talbot, J., Taplin, J., Taylor, D., Thomas, S., Toirambe, B., Verbeeck, H., Vleminckx, J., White, L., Willcock, S., Woell, H. et Zemagho, L. 2013. «Above-ground biomass and structure of 260 African tropical forests». *Phil Trans R Soc B* 368: 20120295.

Madron, L. D., Gbalet, P. E. et Balou, B. T. 2015. *Rapport pour les Etats généraux de la forêt, de la faune et des ressources en eau. Thématique sur la Gestion durable des ressources forestières*. Abidjan, 89 pp.

Mokany, K., Raison, J.R. et Prokushkin, A.S. 2006. «Critical analysis of root: shoot ratios in terrestrial biomes», *Global Change Biology* 12: 84-96.

Rejou-Mechain, M., Tanguy, A., Piponiot, C., Chave, J. et Herault, B. 2017. «Application BIOMASS: An R package for estimating above-ground biomass and its uncertainty in tropical forests», *Methods in Ecology and Evolution* 2017, doi: 10.1111/2041-210X.12753, 5 pp.

République de Côte d'Ivoire. 2014. Cinquième rapport national sur la diversité biologique en Côte d'Ivoire, 2014, 106 pages

Reyes, G., Brown, S., Chapman, J. et Lugo, A. E. 1992. *Wood densities of tropical tree species*. New Orleans, LA.: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

SEP-REDD+ et FAO, 2017. *Données de base pour la REDD+ en Côte d'Ivoire. Cartographie de la dynamique forestière de 1986 à 2015*. Abidjan, Rome.

SODEFOR, 1992. *Protocole d'inventaire en forêt dense pour la préparation d'un aménagement, Première partie: inventaire et aménagement*. Document interne, 25 pp.

SODEFOR, 1992. *Protocole d'inventaire en forêt dense pour la préparation d'un aménagement, Deuxième partie: opérations*. Document interne, 65 pp.

Zanne, A., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S., Miller, R., Swenson, N., Wiemann, M. et Chave, J. 2009. *Global wood density database*. Dryad Digital Repository.

ANNEXES

ANNEXE 1 BIOMASSE AÉRIENNE DES ARBRES DANS CHAQUE UE PAR STRATE (ARBRES AVEC DHP \geq 5 CM).

UE	Zone phyto géographique	Biomasse aérienne vivante (t/ha)	Biomasse souterraine vivante (t/ha)	Biomasse bois mort couché (t/ha)	Biomasse souche (t/ha)	Biomasse bois mort debout (t/ha)	Biomasse bois mort souterraine (t/ha)
100	Mésophile	88,19	17,64	12,10	0,71	7,49	2,37
101	Mésophile	135,85	32,61	7,88	0,06	8,76	2,53
102	Mésophile	179,91	43,18	8,19	1,06	20,69	5,85
103	Mésophile	77,71	15,54	6,69	0,21	18,49	5,08
104	Mésophile	47,48	9,50	8,41	0,48	7,66	2,35
105	Mésophile	108,14	21,63	21,33	0,20	12,69	3,60
106	Mésophile	119,52	23,90	31,78	0,31	14,52	4,10
13	Mésophile	31,77	6,35	23,81	0,47	4,55	1,50
63	Mésophile	222,49	53,40	50,57	0,00	59,25	14,78
64	Mésophile	74,52	14,90	54,91	0,00	31,97	8,35
65	Mésophile	47,00	9,40	20,82	0,30	16,26	4,54
66	Mésophile	26,10	5,22	1,45	0,01	1,13	0,38
67	Mésophile	18,18	3,64	13,08	0,02	2,20	0,71
68	Mésophile	76,72	15,34	14,18	0,75	5,34	1,80
69	Mésophile	34,72	6,94	24,12	0,71	3,58	1,30
70	Mésophile	102,03	20,41	23,90	1,25	6,32	2,20
71	Mésophile	68,12	13,62	24,63	0,05	5,31	1,60
72	Mésophile	58,88	11,78	3,99	0,09	15,17	4,21
73	Mésophile	88,97	17,79	0,85	0,00	3,59	1,10
75	Mésophile	98,30	19,66	130,48	0,00	106,12	25,34

UE	Zone phyto géographique	Biomasse aérienne vivante (t/ha)	Biomasse souterraine vivante (t/ha)	Biomasse bois mort couché (t/ha)	Biomasse souche (t/ha)	Biomasse bois mort debout (t/ha)	Biomasse bois mort souterraine (t/ha)
76	Mésophile	34,39	6,88	90,26	0,48	24,33	6,60
77	Mésophile	23,60	4,72	101,78	0,92	44,31	11,51
78	Mésophile	23,81	4,76	152,98	1,00	55,13	14,06
79	Mésophile	31,04	6,21	3,30	0,09	9,45	2,72
80	Mésophile	67,74	13,55	24,04	2,08	11,14	3,69
81	Mésophile	35,82	7,16	9,33	0,04	2,41	0,78
82	Mésophile	88,83	17,77	27,98	2,22	9,08	3,19
83	Mésophile	88,76	17,75	5,72	0,24	2,18	0,77
84	Mésophile	136,97	32,87	22,09	0,07	12,96	3,64
85	Mésophile	78,67	15,73	7,48	0,18	5,89	1,80
86	Mésophile	91,94	18,39	19,49	0,33	6,35	1,96
87	Mésophile	118,19	23,64	4,41	0,00	4,87	1,46
88	Mésophile	61,43	12,29	30,03	0,00	1,82	0,59
89	Mésophile	89,82	17,96	15,97	0,32	15,69	4,40
90	Mésophile	83,23	16,65	10,20	0,00	1,07	0,36
91	Mésophile	74,67	14,93	14,98	0,00	15,77	4,34
92	Mésophile	96,36	19,27	40,32	2,58	29,73	8,43
93	Mésophile	45,20	9,04	98,39	0,99	42,51	11,10
94	Mésophile	139,76	33,54	44,97	0,00	13,55	3,77
95	Mésophile	198,35	47,61	17,79	0,16	18,21	5,00
96	Mésophile	124,21	24,84	35,97	0,40	3,19	1,10
97	Mésophile	162,71	39,05	24,26	0,30	11,91	3,42
98	Mésophile	195,49	46,92	25,79	0,13	7,87	2,31
99	Mésophile	65,71	13,14	117,67	1,11	20,21	5,74
9	Ombrophile	6,67	2,47	1,38	0,20	0,30	0,18
3	Ombrophile	30,77	11,39	42,89	0,87	46,24	11,95

UE	Zone phyto géographique	Biomasse aérienne vivante (t/ha)	Biomasse souterraine vivante (t/ha)	Biomasse bois mort couché (t/ha)	Biomasse souche (t/ha)	Biomasse bois mort debout (t/ha)	Biomasse bois mort souterraine (t/ha)
47	Ombrophile	37,88	14,02	10,50	0,06	4,83	1,47
8	Ombrophile	44,94	16,63	89,25	0,93	4,87	1,72
6	Ombrophile	49,36	18,26	40,91	0,06	1,73	0,58
17	Ombrophile	49,52	18,32	42,41	0,41	16,80	4,70
40	Ombrophile	57,60	21,31	16,41	0,05	1,93	0,63
10	Ombrophile	60,76	22,48	12,34	0,00	18,08	4,93
1	Ombrophile	61,64	22,81	32,93	0,36	2,27	0,83
12	Ombrophile	62,44	23,10	9,01	0,85	16,06	4,63
38	Ombrophile	62,58	23,16	62,27	0,50	31,78	8,42
37	Ombrophile	63,49	23,49	30,23	0,19	13,08	3,70
29	Ombrophile	69,51	25,72	6,08	0,20	9,86	2,86
2	Ombrophile	76,38	28,26	12,68	0,19	2,15	0,74
25	Ombrophile	76,54	28,32	27,92	0,38	8,83	2,64
36	Ombrophile	77,92	28,83	52,94	0,48	12,93	3,74
5	Ombrophile	84,45	31,25	14,55	1,47	7,68	2,62
33	Ombrophile	88,63	32,79	30,53	0,49	2,80	1,02
7	Ombrophile	96,49	35,70	54,68	0,86	10,24	3,14
28	Ombrophile	97,06	35,91	5,59	0,23	0,98	0,40
19	Ombrophile	99,48	36,81	12,18	0,63	20,25	5,63
30	Ombrophile	100,61	37,23	21,49	0,29	4,59	1,47
16	Ombrophile	102,58	37,95	72,12	0,96	24,55	6,77
11	Ombrophile	107,27	39,69	10,10	0,95	8,17	2,62
48	Ombrophile	109,68	40,58	34,45	1,25	20,63	5,88
22	Ombrophile	114,64	42,42	22,88	0,35	11,96	3,45
21	Ombrophile	123,78	45,80	31,32	0,94	26,41	7,22
35	Ombrophile	126,95	46,97	26,22	0,20	4,43	1,40

UE	Zone phyto géographique	Biomasse aérienne vivante (t/ha)	Biomasse souterraine vivante (t/ha)	Biomasse bois mort couché (t/ha)	Biomasse souche (t/ha)	Biomasse bois mort debout (t/ha)	Biomasse bois mort souterraine (t/ha)
45	Ombrophile	128,80	47,66	32,37	0,43	8,29	2,51
20	Ombrophile	129,07	47,75	28,83	0,48	23,85	6,49
55	Ombrophile	130,43	48,26	12,41	0,11	7,12	2,11
24	Ombrophile	134,89	49,91	17,11	0,91	10,66	3,26
61	Ombrophile	137,05	50,71	24,58	0,17	11,81	3,37
34	Ombrophile	137,88	51,02	21,74	0,37	34,75	9,11
26	Ombrophile	146,52	54,21	41,73	1,78	5,86	2,22
23	Ombrophile	151,69	56,13	22,55	0,39	12,01	3,47
39	Ombrophile	151,84	56,18	22,55	0,30	7,99	2,39
46	Ombrophile	151,85	56,18	21,15	0,23	13,99	3,94
18	Ombrophile	152,74	56,51	33,72	0,39	32,15	8,48
57	Ombrophile	156,50	57,90	64,60	0,91	19,11	5,41
7	Ombrophile	158,30	58,57	11,04	0,76	9,77	2,99
8	Ombrophile	165,90	61,38	15,62	0,08	7,29	2,15
53	Ombrophile	173,32	64,13	40,17	0,09	15,85	4,38
6	Ombrophile	175,31	64,87	14,38	0,82	7,69	2,45
52	Ombrophile	183,63	67,94	40,48	0,13	22,54	6,07
27	Ombrophile	196,95	72,87	5,13	0,10	11,60	3,29
42	Ombrophile	206,89	76,55	32,53	0,32	7,63	2,30
44	Ombrophile	208,61	77,19	22,76	0,07	9,15	2,64
31	Ombrophile	213,83	79,12	47,67	0,44	5,67	1,80
50	Ombrophile	228,86	84,68	39,48	0,98	8,90	2,81
59	Ombrophile	229,44	84,89	16,86	0,10	21,75	5,87
4	Ombrophile	235,41	87,10	10,38	0,24	21,99	5,96
41	Ombrophile	236,52	87,51	13,95	0,11	46,76	11,89
56	Ombrophile	237,82	87,99	5,25	0,00	1,77	0,57

UE	Zone phytogéographique	Biomasse aérienne vivante (t/ha)	Biomasse souterraine vivante (t/ha)	Biomasse bois mort couché (t/ha)	Biomasse souche (t/ha)	Biomasse bois mort debout (t/ha)	Biomasse bois mort souterraine (t/ha)
58	Ombrophile	253,46	93,78	17,31	0,01	13,44	3,75
51	Ombrophile	256,58	94,93	14,92	0,52	13,16	3,81
49	Ombrophile	313,01	115,81	9,36	0,59	27,82	7,48
60	Ombrophile	351,37	130,01	22,37	0,76	16,40	4,69
43	Ombrophile	375,83	139,06	22,55	0,08	6,88	2,04
54	Ombrophile	389,38	144,07	35,44	0,03	18,09	4,94
136	Préforestier	45,65	12,78	5,17	0,00	12,38	3,47
137	Préforestier	125,22	35,06	18,99	1,56	11,39	3,61
138	Préforestier	71,76	20,09	5,95	0,35	15,12	4,26
139	Préforestier	47,90	13,41	8,06	0,00	7,52	2,19
140	Préforestier	34,44	9,64	8,65	0,23	0,81	0,35
141	Préforestier	37,29	10,44	10,97	0,39	1,60	0,64
142	Préforestier	65,47	18,33	8,75	0,12	6,30	1,89
143	Préforestier	38,10	10,67	7,89	0,21	0,57	0,27
144	Préforestier	112,88	31,61	5,16	0,09	15,65	4,33
145	Préforestier	22,82	6,39	6,13	0,29	1,85	0,68
146	Préforestier	48,28	13,52	10,28	0,00	2,18	0,69
147	Préforestier	27,73	7,76	13,07	0,00	4,63	1,40
148	Préforestier	143,54	40,19	21,21	1,91	19,47	5,75
149	Préforestier	77,45	21,68	9,05	0,50	6,79	2,12
150	Préforestier	57,97	16,23	1,26	0,28	3,59	1,18
107	Soudanaise	91,63	25,66	1,82	0,00	2,88	0,90
108	Soudanaise	65,34	18,30	0,64	0,00	0,48	0,17
109	Soudanaise	96,59	27,04	15,72	0,08	5,30	1,60
110	Soudanaise	132,12	36,99	1,14	0,04	5,45	1,63
111	Soudanaise	77,35	21,66	0,47	0,00	7,06	2,06

UE	Zone phyto géographique	Biomasse aérienne vivante (t/ha)	Biomasse souterraine vivante (t/ha)	Biomasse bois mort couché (t/ha)	Biomasse souche (t/ha)	Biomasse bois mort debout (t/ha)	Biomasse bois mort souterraine (t/ha)
112	Soudanaise	46,39	12,99	17,99	0,00	6,91	2,02
113	Soudanaise	85,08	23,82	0,20	0,00	7,79	2,26
114	Soudanaise	49,32	13,81	0,00	0,03	2,08	0,67
115	Soudanaise	125,07	35,02	2,59	0,05	2,40	0,78
116	Soudanaise	133,94	37,50	5,64	0,10	12,29	3,47
117	Soudanaise	60,29	16,88	5,03	0,00	12,55	3,51
118	Soudanaise	45,31	12,69	12,10	0,00	34,96	9,07
119	Soudanaise	69,62	19,49	2,69	0,00	32,20	8,40
120	Soudanaise	32,41	9,07	3,22	1,57	15,03	4,55
121	Soudanaise	43,61	12,21	11,15	0,00	0,48	0,17
122	Soudanaise	71,92	20,14	1,52	0,00	1,17	0,39
123	Soudanaise	112,48	31,49	2,69	0,00	1,78	0,58
124	Soudanaise	41,33	11,57	2,72	0,00	2,37	0,75
125	Soudanaise	36,53	10,23	4,29	0,00	4,46	1,35
126	Soudanaise	132,43	37,08	2,75	0,00	4,86	1,46
127	Soudanaise	118,11	33,07	5,68	0,20	7,35	2,19
128	Soudanaise	114,68	32,11	7,76	0,00	7,95	2,30
129	Soudanaise	125,43	35,12	2,00	0,19	7,93	2,35
130	Soudanaise	78,27	21,92	8,55	0,62	16,22	4,61
131	Soudanaise	86,85	24,32	4,32	0,33	4,46	1,44
132	Soudanaise	102,42	28,68	6,70	0,00	11,89	3,34
133	Soudanaise	80,13	22,44	2,02	0,00	7,39	2,15
134	Soudanaise	93,31	26,13	5,89	0,00	7,36	2,14
135	Soudanaise	95,86	26,84	2,56	0,36	8,03	2,42
62	Soudanaise	66,11	18,51	5,39	0,19	2,15	0,74
74	Soudanaise	39,49	11,06	0,00	0,03	0,58	0,21

ANNEXE 2 SCRIPT R / PAQUET OPENSOURCE R BIOMASS

```
#####  
## Analyse des données de l'inventaire biomasse en Côte d' Ivoire#  
#####  
rm(list = ls())  
#le travail a été fait avec la dernière version de données#  
wd="Y:/NFI_countries/Africa/COTE_IVOIRE/analysis/"  
setwd(wd);getwd()  
#importer la table arbre corrigée#  
ar=read.csv("ar_tot_corr_lb.csv")  
table(factor(ar$etat_sante, exclude=NULL))  
#Rajouter un identifiant spécifique pour chaque UE (lorsqu'il y a des Unité d'échantillonnage avec le même numéro)#  
ar$idUE=paste(ar$cluster_ue_no,substr(ar$eq,1,3),sep="-")  
# travailler que avec les arbres vivant dhp >5. C'est à dire: on élimine la régénération et les arbres morts#  
arV=ar[!is.na(ar$dhp) &  
  ar$dhp >=5 &  
  ar$souches==FALSE&  
  ar$etat_sante %in% c(1,2,3),]  
# contrôler les données#  
summary(arV)  
# effacer toutes arbres avec une hauteur totale >50 m (leur valeurs seront interpolées par le modelé) # et tous arbres de  
hauteur <1.3m #  
arV$hauteur_totale[arV$hauteur_totale>50 |arV$hauteur_totale<=1.3]=NA  
ggplot(arV,aes(x=dhp,y=hauteur_totale))+geom_point()  
#créer une variable unique pour chaque cluster #on charge la librairie « Imfor » pour le développement de modelé  
dhp-hauteur#  
library(Imfor)  
#ajuster lesdonnées avec le modelé de Naslund#  
mod= ImputeHeights(arV$dhp, arV$hauteur_totale, plot=arV$idUE,  
  modelName = "naslund", nranp = 2, varf = TRUE,  
  addResidual = FALSE, makeplot=TRUE, level = 1,  
  start=NA, bh=1.3, control=list(),random=NA)  
#rajouter la colonne avec les prédictions de la hauteur totale à la table arbre#  
arV$H=mod$h  
#rajouter les valeurs de densité de bois#  
DB=read.csv("liste_essence.+WD.csv")  
arV=merge(arV,DB[,c("essences_scientific_name","Genus","nom_corrige",  
  "Family", "Recommended.value")],  
  by="essences_scientific_name",  
  all.x=TRUE)  
# rajouter à la table arbres_WD la variable E pour chaque arbre et les coordonnées du cluster (UE)#  
E= read.csv("cl_corr+E.csv")  
arV=merge(arV,E[,c("ue_no","eq", "x","y","zonefito","E")],  
  by.x=c("cluster_ue_no","eq"),  
  by.y=c("ue_no","eq"),
```

```

all.x=TRUE)
# calculer la biomasse pour chaque arbre et par zone phytogéographique# avec # l'équation, modèle (4) de Chave, et al.,
2014 avec la hauteur#
arV$biom1= 0.0673*(arV$H*arV$Recommended.value*arV$dhp^2)^0.976

# calculer la biomasse pour chaque arbre et par zone phytogéographique# avec # l'équation, modèle (7) de Chave, et al.,
2014 sans la hauteur#
arV$biom2= exp(-1.803-0.976*arV$E+
              0.976*log(arV$Recommended.value)+
              2.673*log(arV$dhp)-0.0299*(log(arV$dhp))^2)
#####
# calculer la superficie totale inventoriée#
#####
pl=read.csv("placeau.corrige.csv")
#calculer la superficie de chaque plateau rectangulaire pour les de dhp 10 cm#
pl$A=ifelse(pl$info_generales_accessibilite==0, 0.5,0)
#calculer la superficie de chaque sous-placeau rectangulaire pour les de 5 dhp 10 cm #
pl$As=ifelse(pl$info_generales_accessibilite==0, 10*50/10000,0)
#calculer la superficie de chaque sous-placeau carrée pour la regeneration
pl$Ar=ifelse(pl$info_generales_accessibilite==0, 5*5/10000,0)
#calculer la biomasse vivante total par UE#
tabA=aggregate(cbind(A,As,Ar)~cluster_ue_no+eq,data=pl, sum)
tabB=aggregate(cbind(biom1,biom2)~cluster_ue_no+eq+zonefito,
              data=arV[arV$dhp>=10,],
              FUN=function (x) sum(x)/1000)
tabS=aggregate(cbind(biom1,biom2)~cluster_ue_no+eq+zonefito,
              data=arV[arV$dhp<10,],
              FUN=function (x) sum(x)/1000)
tab=merge(tabB,tabS,
          by=c("cluster_ue_no","eq","zonefito"),
          all.x=TRUE)
tab=merge(tab,tabA,
          by=c("cluster_ue_no","eq"),
          all.x=TRUE)
tab[is.na(tab)] <- 0
# biom1T et biom2T sont la biomasse par hectare # il y a 150 UE bon!#
tab$biom1T=tab$biom1.x/tab$A+tab$biom1.y/tab$As
tab$biom2T=tab$biom2.x/tab$A+tab$biom2.y/tab$As
tab=tab[,c(1:3,11:12)]
#charger la librairie de ggplot2 pour faire des graphiques et la librairie reshape#
library(ggplot2)
library(reshape)
tab$zonefito <- factor(tab$zonefito,
                      levels = c('ombrophile','mesophile','soudanaise','sub_soudanaise'),ordered = TRUE)
# réaliser un boxplot pour comparer les deux modelés de Chave et al., 2014 (1:avec la hauteur et 2: sans la hauteur)#
ggplot(melt(tab, id=c("cluster_ue_no","eq","zonefito")),
       aes(y=value,x=zonefito,fill=variable))+
  geom_boxplot()+

```

```

scale_fill_brewer(palette = "Accent")
#charger la librairie plyr qui permet d'agréger les résultats de manière efficace#
library(plyr)
res1=ddply(tab, "zonefito", summarise, mean = mean(biom1T),
           ci_90= qt(c(.05, .95), df=length(biom1T))[2]*sd(biom1T)/sqrt(length(biom1T)), sd = sd(biom1T),
           n=length(biom1T))

##### Calcul de la biomasse souterraine #####
# sélectionner que la valeur de biomasse obtenue avec le modelé Chave et al., 2014 avec la hauteur
tab=tab[names(tab)!="biom2T"]
names(tab)[4]="biomasse_aerienne_viv"
tab$zonefito=as.character(tab$zonefito)
tab$biomasse_sout = ifelse(tab$zonefito=="ombrophile",tab$biomasse_aerienne_viv*0.37, #corresponde a Forêt dense
humide du GIEC
                           ifelse((tab$zonefito=="mesophile"|tab$zonefito=="sub_soudanaise") & tab$biomasse_aerienne_
viv<125,tab$biomasse_aerienne_viv*0.20, #corresponde a la Forêt décidue humide tropicale du GIEC
                           ifelse((tab$zonefito=="mesophile"|tab$zonefito=="sub_soudanaise") & tab$biomasse_aerienne_
viv>125,tab$biomasse_aerienne_viv*0.24, #corresponde a la Forêt décidue humide tropicale du GIEC
                           ifelse(tab$zonefito=="soudanaise" & tab$biomasse_aerienne_viv<20, tab$biomasse_aerienne_
viv*0.56, #corresponde a Forêt sèche tropicale du GIEC
                           ifelse(tab$zonefito=="soudanaise" & tab$biomasse_aerienne_viv>20, tab$biomasse_aerienne_
viv*0.28,NA)))) #corresponde a Forêt sèche tropicale du GIEC

res2=ddply(tab, "zonefito", summarise, mean = mean(biomasse_sout),
           ci_90= qt(c(.05, .95), df=length(biomasse_sout))[2]*sd(biomasse_sout)/sqrt(length(biomasse_sout)), sd =
sd(biomasse_sout),
           n=length(biomasse_sout))

#####
##### Prise en compte du bois mort en supplémentaire #####
#####
# il faut se rappeler que les souches avec hauteur > 2 m sont recalifier comme bois mort debout et # bois mort debout
>=2 #
# commencer avec les souches dhp>10 #
# convertir la H de souche a la même unité en cm#
ar$hauteur_souche_cm=ifelse(ar$unit_H_souche=="m",ar$hauteur_souche*100,ar$hauteur_souche)
arS=ar[!is.na(ar$diametre_souche) &
       ar$diametre_souche >=10 &
       ar$souches==TRUE &
       ar$hauteur_souche_cm<200,]
# s'assurer que toutes les souches tombent dans l'état de santé 4 bon#
table(arS$etat_sante,exclude = FALSE)
# pas de NA dans dhp ou H de souches. bien! #
any(is.na(arS$diametre_souche));any(is.na(arS$hauteur_souche))
# beaucoup de NA dans l'état de décomposition de la souche et prendre en compte le degré de décomposition des
souches et arbres morts #
table(arS$decomposition_arbre,exclude = FALSE)
# decomposition_arbre = 1 c'est du bois mort intact #

```

```

# decomposition_arbre = 2 c'est du bois mort pourri #
# decomposition_arbre = NA c'est du bois mort intact #
arS=merge(arS,E[,c("ue_no","eq", "x","y","zonefito","E")],
  by.x=c("cluster_ue_no","eq"),
  by.y=c("ue_no","eq"),
  all.x=TRUE)
arS$biom=ifelse(!is.na(arS$decomposition_arbre) & arS$decomposition_arbre==2,
# calcul de la biomasse pour le bois mort pourri#
  pi*(arS$diametre_souche/200)^2*arS$hauteur_souche_cm/100*0.58*0.45,
#calcul de la biomasse pour le bois mort intact#
  pi*(arS$diametre_souche/200)^2*arS$hauteur_souche_cm/100*0.58*0.80)
# rajouter la zone phytogéographique# #en agrégeant tous les résultats par UE#
tab3=merge(tabA,
  aggregate(biom~cluster_ue_no+eq,data=arS,sum),
  by= c("cluster_ue_no","eq"),
  all.x=TRUE)
# remplacer les NA par 0 #
head(tab3)
tab3[is.na(tab3)]=0
tab3$biom_souche=tab3$biom/tab3$A

#rajouter les résultats à la table "sommaire "tab" #
tab=merge(tab,tab3[,c("cluster_ue_no","eq","biom_souche")],
  by=c("cluster_ue_no","eq"),
  all.x=TRUE)

#####
# calcul de biomasse pour les arbres mort debout >10cm #####
#####
# le bois mort debout inclut aussi les souches avec une hauteur > 200 cm
arMD=ar[(!is.na(ar$diametre_souche) &
  ar$diametre_souche >=10 &
  ar$souches==TRUE &
  ar$hauteur_souche_cm>=200)|
  (!is.na(ar$dhp) &
  ar$dhp >=10 &
  ar$souches==FALSE&
  ar$etat_sante ==4),]
# s'assurer que tous arbres sont dans l'état santé 4 =mort#
table(arMD$souches,arMD$etat_sante)
table(arMD$hauteur_totale, exclude = NULL) #il faut estimer les hauteurs qui manquent
table(arMD$souches,arMD$decomposition_arbre,exclude = NULL)

# état décomposition 1 =intact et état décomposition 4 = pourri#
# estimer les Hauteur des arbres qui manquent#
#extraire les coefficients du modèle hauteur-diamètre ajusté précédemment#
coef=coef(mod$model)
coef$idUE=rownames(coef)

```

```

arMD=merge(arMD,coef,all.x=TRUE)
#estimer la hauteur #
arMD$H= ifelse(is.na(arMD$hauteur_totale),1.3+(arMD$dhp^2)/(arMD$a+arMD$b*arMD$dhp)^2,arMD$hauteur_totale)
#estimer la biomasse avec le modèle (4) de Chave et al., 2014#
arMD$biom = ifelse(arMD$souches==TRUE, 0.0673*(arMD$hauteur_souche_cm/100*0.58*arMD$diametre_
souche^2)^0.976,
0.0673*(arMD$H*0.58*arMD$dhp^2)^0.976) #on utilise un valeur par default de densité bois
arMD$biom_corr= ifelse(!is.na(arMD$decomposition_arbre)&arMD$decomposition_arbre %in%
c(1,2),arMD$biom*0.975/1000,
arMD$biom*0.80/1000)
tab4=merge(tabA,
aggregate(biom_corr~cluster_ue_no+eq,data=arMD,sum),
by= c("cluster_ue_no","eq"),
all.x=TRUE)
tab4[is.na(tab4)]=0
tab4$bois_mort_debout=tab4$biom_corr/tab4$A
tab=merge(tab,tab4[c("cluster_ue_no","eq","bois_mort_debout")],
by=c("cluster_ue_no","eq"),
all.x=TRUE)
##### calculer la biomasse du bois mort souterraine#####
# agréger la biomasse de souche et la biomasse de bois mort debout#
names(tab)
tab$BM_sout= exp((-1.085+0.9256 *log(tab$biom_souche+tab$bois_mort_debout)))
res5=ddply(tab5, "zonefito", summarise, mean = mean(BD_sout),
ci_90= qt(c(.05, .95), df=length(BD_sout))[2]*sd(BD_sout)/sqrt(length(BD_sout)), sd = sd(BD_sout),
n=length(BD_sout))
# calculer la biomasse du bois mort couché#
#importer toutes les tables séparées pour chaque équipe#
getwd()
BM_c=read.csv("BM_transect.csv")
# effacer toutes les lignes avec dhp vide#
BM_c=BM_c[is.na(BM_c$diametre_bmc),]
#exporter la fiche#
table(BM_c$decomposition_bmc,exclude = FALSE)
# créer un liste contenant tous les placeaux
plac_list=merge(E[,c("ue_no","eq","zonefito")],
expand.grid(ue_no=1:150,placeau=1:4),
all.x=TRUE)
#créer une variable diamètre carré multipliée par le facteur de réduction de la densité#
#le facteur de réduction de la densité est 0.45 si l'état de décomposition est "2", et 1 dans tous les autres cas #
BM_c$var=ifelse(!is.na(BM_c$decomposition_bmc) & BM_c$decomposition_bmc==2,BM_c$diametre_bmc^2*0.58*0.45,
BM_c$diametre_bmc^2*0.58*0.8)
tab7=merge(tabA,
aggregate(var~eq+cluster_ue_no,data=BM_c,
sum),
all.x=TRUE) #ici on calcule la somme de
# donner la longueur du transect inventorié dans chaque UE= (si le 2 ha et 4 placeaux) ont été inventoriés, cela signifie que
le transect total inventorié est 2*400=800 m totales)#

```

```

tab7$L=tab7$A*400
tab7[is.na(tab7)]=0
tab7$BM_couche= tab7$var*pi^2/(8*tab7$L)
tab7=merge(E[,c("ue_no","eq","zonefito")],
  tab7,by.x=c("ue_no","eq"),by.y=c("cluster_ue_no","eq"),
  all.x=TRUE)
names(tab7);names(E)
res7=ddply(tab7, "zonefito", summarise, mean = mean(biom),
  ci_90= qt(c(.05, .95), df=length(biom))[2]*sd(biom)/sqrt(length(biom)), sd = sd(biom),
  n=length(biom))
tab=merge(tab,tab7[,c("ue_no","eq","BM_couche")],
  by.x=c("cluster_ue_no","eq"),
  by.y= c("ue_no","eq"),
  all.x=TRUE)
tab$bois_mort_tot=tab$biom_souche+tab$bois_mort_debout+tab$BM_sout+tab$BM_couche

#####
##### Les résultats sur la biomasse forestière #####
#####
names(tab)
##### estimer de biomasse aérienne vivante#####

##### Biomasse aérienne vivante#####
res1=ddply(tab, "zonefito", summarise, mean = mean(biomasse_aerienne_viv),
  ci_90= qt(c(.05, .95), df=length(biomasse_aerienne_viv))[2]*sd(biomasse_aerienne_viv)/
sqrt(length(biomasse_aerienne_viv)),
  sd = sd(biomasse_aerienne_viv),
  n=length(biomasse_aerienne_viv))
res1[, -1]=round(res1[, -1], 1)
res_1P=data.frame(Secteur=res1$zonefito, Nombre_UE=res1$n, estimation= paste(res1$mean, "±", res1$ci))
write.csv(res_1P, paste(out,"1_biom_sout.csv", sep=""), row.names=FALSE)

##### Biomasse souterraine vivante #####
res2=ddply(tab, "zonefito", summarise, mean = mean(biomasse_sout),
  ci_90= qt(c(.05, .95), df=length(biomasse_sout))[2]*sd(biomasse_sout)/sqrt(length(biomasse_sout)),
  sd = sd(biomasse_sout),
  n=length(biomasse_sout))
res2[, -1]=round(res2[, -1], 1)
res_2P=data.frame(Secteur=res2$zonefito, Nombre_UE=res2$n, estimation= paste(res2$mean, "±", res2$ci))
write.csv(res_2P, paste(out,"2_biom_sout.csv", sep=""), row.names=FALSE)

##### Biomasse de la souche #####
res3=ddply(tab, "zonefito", summarise, mean = mean(biom_souche),
  ci_90= qt(c(.05, .95), df=length(biom_souche))[2]*sd(biom_souche)/sqrt(length(biom_souche)),
  sd = sd(biom_souche),
  n=length(biom_souche))
res3[, -1]=round(res3[, -1], 3)
res_3P=data.frame(Secteur=res3$zonefito, Nombre_UE=res3$n, estimation= paste(res3$mean, "±", res3$ci))

```

```

write.csv(res_3P, paste(out,"3_biom_souche.csv",sep=""),row.names=FALSE)

##### Biomasse bois mort debout #####
res4=ddply(tab, "zonefito", summarise, mean = mean(bois_mort_debout),
          ci_90= qt(c(.05, .95), df=length(bois_mort_debout))[2]*sd(bois_mort_debout)/sqrt(length(bois_mort_debout)),
          sd = sd(bois_mort_debout),
          n=length(bois_mort_debout))
res4[,1]=round(res4[,1],1)
res_4P=data.frame(Secteur=res4$zonefito,Nombre_UE=res4$n,estimation= paste(res4$mean,"±",res4$ci))
write.csv(res_4P, paste(out,"4_biom_bois_mort_debout.csv",sep=""),row.names=FALSE)

##### Biomasse souterraine du bois mort #####
res5=ddply(tab, "zonefito", summarise, mean = mean(BM_sout),
          ci_90= qt(c(.05, .95), df=length(BM_sout))[2]*sd(BM_sout)/sqrt(length(BM_sout)),
          sd = sd(BM_sout),
          n=length(BM_sout))
res5[,1]=round(res5[,1],1)
res_5P=data.frame(Secteur=res5$zonefito,Nombre_UE=res5$n,estimation= paste(res5$mean,"±",res5$ci))
write.csv(res_5P, paste(out,"5_biom_bois_mort_sout.csv",sep=""),row.names=FALSE)

##### Biomasse du bois mort couche#####
res6=ddply(tab, "zonefito", summarise, mean = mean(BM_couche),
          ci_90= qt(c(.05, .95), df=length(BM_couche))[2]*sd(BM_couche)/sqrt(length(BM_couche)),
          sd = sd(BM_couche),
          n=length(BM_couche))
res6[,1]=round(res6[,1],1)
res_6P=data.frame(Secteur=res6$zonefito,Nombre_UE=res6$n,estimation= paste(res6$mean,"±",res6$ci))
write.csv(res_6P, paste(out,"6_biom_bois_couche.csv",sep=""),row.names=FALSE)

##### Biomasse totale du bois mort #####
res7=ddply(tab, "zonefito", summarise, mean = mean(bois_mort_tot),
          ci_90= qt(c(.05, .95), df=length(bois_mort_tot))[2]*sd(bois_mort_tot)/sqrt(length(bois_mort_tot)),
          sd = sd(bois_mort_tot),
          n=length(bois_mort_tot))
res7[,1]=round(res7[,1],1)
res_7P=data.frame(Secteur=res7$zonefito,Nombre_UE=res7$n,estimation= paste(res7$mean,"±",res7$ci))
write.csv(res_7P, paste(out,"7_biom_bois_mort_totale.csv",sep=""),row.names=FALSE)

#####
##### Les graphiques #####
#####
names(tab)
res_sum=aggregate(cbind(biomasse_aerienne_viv,
          biomasse_sout,
          bois_mort_tot)~zonefito,data=tab,
          FUN=function (x) c(mean=mean(x),
          ci=qt(c(.05, .95), df=length(x))[2]*sd(x)/sqrt(length(x))))
res_sum=do.call(data.frame,res_sum)

```

```

a=setNames(melt(res_sum[,c(1,2,4,6)], id=c("zonefito")),
  c("zonefito","variable","biom"))
a$ci=setNames(melt(res_sum[,c(1,3,5,7)], id=c("zonefito")),
  c("zonefito","variable","ci"))[,3]
ggplot(a,
  aes(x=zonefito,y=biom,fill=variable,label=round(biom)))+
geom_bar(stat="identity",colour="black", position=position_dodge()+
geom_errorbar(aes(ymin=biom-ci, ymax=biom+ci),
  width=.2,          # Width of the error bars
  position=position_dodge(.9))+
#scale_fill_brewer(palette = "Set1")+
# geom_text(aes(label=round(biom)), position=position_dodge(width=0.9), vjust=-0.25)
ylab("biomasse (t/ha)")+xlab("Secteur")+
scale_fill_brewer(name="Reservoir de carbone",
  breaks=c("biomasse_aerienne_viv.mean", "biomasse_sout.mean", "bois_mort_tot.mean"),
  labels=c("Biomasse aérienne vivante",
    "Biomasse souterraine",
    "Matière organique morte"),
  palette = "Dark2")+
theme(legend.position="bottom")

```



ISBN 978-92-5-209994-9



9 789252 099949

I8019FR/1/11.17