



## Aide à la mise en place du Système national de surveillance des forêts et de l'utilisation des terres (SNSF) pour la République de Guinée

### D2.3 - Rapport sur l'estimation préliminaire des émissions/absorptions de gaz à effet de serre (GES) du secteur forestier en Guinée

Décembre 2024



**WORLD BANK GROUP**



**IGN FI**



<b>Contributeurs</b>	<b>Fonctions</b>
Olivier Bouyer	SalvaTerra - GHG Inventory Expert
Cédric Lardeux	ONFI - GIS Expert
Alice Rabine	SalvaTerra - GHG Inventory Expert
Maxence Rageade	ONFI - GHG Inventory Expert
Christophe Sannier	GAF-AG – LULUCF Expert
<b>Révision</b>	
Gabriel Jaffrain	IGN-FI- Project Manager / LC Expert
<b>Inspection</b>	
Idriss Deffry	World Bank - Task Team Leader
Naikoa A. Amuchastegui	World Bank
Cédric F. Sépulcre	World Bank
Aurélie C. Shapiro	World Bank / FAO

## Sommaire

<b>1</b>	<b>Objectifs, méthodes et données utilisées.....</b>	<b>6</b>
1.1	Objectifs.....	6
1.2	Méthodes.....	6
1.2.1	Estimation des données d'activités (AD).....	8
1.2.2	Estimation des facteurs d'émission (EF).....	9
1.2.3	Estimation des bilans GES spécifiques et du bilan GES total .....	10
1.2.4	Calcul des incertitudes sur les estimations de GES.....	12
1.3	Données utilisées .....	13
1.3.1	Changements d'utilisation des terres entre 2015 et 2020 .....	13
1.3.2	Données de biomasse issues de cartographies mondiales .....	16
1.3.3	EF par défaut (tier 1) ou spécifiques (tier 2).....	16
1.3.4	Données relatives aux feux .....	18
1.3.5	Données relatives à la récolte de bois .....	20
<b>2</b>	<b>Calculs et résultats.....</b>	<b>22</b>
2.1	Calculs.....	22
2.1.1	Emissions/absorptions de CO2 si classe forestière stable.....	22
2.1.2	Emissions/absorptions de CO2 si changement de classe.....	23
2.1.3	Emissions de GES non-CO2 dues aux feux de forêt .....	23
2.2	Résultats.....	23
2.2.1	Emissions/absorptions de CO2 si classe forestière stable.....	23
2.2.2	Emissions/absorptions de CO2 si changement de classe.....	24
2.2.3	Emissions de GES non-CO2 dues aux feux .....	24
2.2.4	Bilan global.....	26
2.2.5	Calcul des incertitudes .....	27
	<b>Annexe 1 - Détails des classes d'utilisation des terres .....</b>	<b>29</b>
	<b>Annexe 2 -Bibliographie.....</b>	<b>36</b>

## Liste des figures

Figure 1 - Principes clefs des lignes directrices du GIEC pour les inventaires de GES (IPCC, 2006).....	7
Figure 2 - Matrice d'utilisation des terres et de changement d'utilisation des terres et concept d'AD clef (auteurs, 2024).....	8
Figure 3 - Présentation du bilan GES du secteur LULUCF dans un NIR (CCNUCC, 2003) ..	10
Figure 4 - Structure du fichier Excel avec détail des données, hypothèses, formules et résultats (auteurs, 2024).....	11
Figure 5 – Equation 3.1 pour le calcul des incertitudes dans le cas d'un produit (G2019 V1 Chap 3) .....	12
Figure 6 - Equation 3.2 pour le calcul des incertitudes dans le cas d'une somme (G2019 V1 Chap 3) .....	12
Figure 7 - Correspondances entre classes niveau 2 ERP, classes ZAEG et catégories GIEC (auteurs, 2024).....	13
Figure 8 - Matrice d'utilisation des terres entre 2015 et 2020 (auteurs, 2024).....	14
Figure 9 - Carte mondiale des zones climatiques du GIEC (GIEC, 2019).....	15
Figure 10 - Comparaison des estimations de surfaces forestières (auteurs, 2024 ; MEDD, 2023a ; FAO, 2020).....	15
Figure 11 - Estimations de biomasse ( $t_{dm}/ha$ ) en 2020, par classe et par zone climatique (auteurs, 2024).....	16
Figure 12 - Exemple de valeurs par défaut / tier 1 pour la biomasse aérienne des forêts naturelles (GIEC, 2023c).....	16
Figure 13 - Comparaison des EF utilisés dans le NIR 2019 / BURi 2023 vs dans le présent rapport (auteurs, 2024 ; MEDD, 2023a).....	17
Figure 14 - Histogramme des départs de feu dans l'année, période 2016-2020 (auteurs, 2024 ; FIRMS, 2024).....	19
Figure 15 - Histogramme des départs de feu dans l'année, période 2016-2020 (auteurs, 2024 ; FirceCCI, 2024).....	19
Figure 16 - Estimations des surfaces de savanes brûlées (en ha/an) entre 1990 et 2019 (MEDD, 2023a) .....	19
Figure 17 - Estimation de la récolte de bois en Guinée sur 2015-2020 (auteurs, 2024 ; FAOSTAT, 2024).....	20
Figure 18 – Estimations (en $teqCO_2/an$ ) des émissions/absorptions de GES pour chaque LU / LUC (auteurs, 2024).....	26
Figure 19 - Estimations (en %) des émissions/absorptions de GES pour chaque LU / LUC (auteurs, 2024).....	26
Figure 20 – Comparaison du NIR 2019 / BURi 2023 et du NIR 2015-2020 révisé (MEDD, 2023a ; auteurs, 2024) .....	27
Figure 21 - Calculs d'incertitudes liés à l'accroissement / à la récolte / aux feux - Classe 118 (auteurs, 2024).....	28
Figure 22 - Taux d'incertitude sur les 6 principales catégories-clefs du bilan GES global (auteurs, 2024).....	28

## Acronymes

AFOLU	<i>Agriculture, Forestry, and Other Land Use</i> / agriculture, forêt et autres utilisations des terres
AD	<i>Activity Data</i> / données d'activité
AGB	<i>Above-Ground Biomass</i> / biomasse aérienne
BCEF	<i>Biomass Conversion and Expansion Factor</i> / facteur de conversion et d'expansion de la biomasse
BGB	<i>Below Ground Biomass</i> / biomasse racinaire
BUR	Biennial Update Report / rapport biennal actualisé
CCI	<i>Climate Change Initiative</i> / initiative sur le changement climatique
CF	<i>Carbon Fraction</i> / fraction carbone
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
EF	<i>Emission Factor</i> / facteur d'émissions
ESA	<i>European Space Agency</i> / Agence spatiale européenne
FIRMS	<i>Fire Information for Resource Management System</i> / Système d'information sur les incendies pour la gestion des ressources
FONABES	Projet « Forêts naturelles et bois énergie au Sahel »
FRA	<i>Forest Resource Assessment</i> / évaluation des ressources forestières
GES	Gaz à effet de serre
HAC	<i>Highly Active Clay soils</i> / sols argileux à haute activité cationique
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> / Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC)
IRD	Institut de recherche pour le développement
LAC	<i>Lowly Active Clay soils</i> / sols argileux à faible activité cationique
LU/LUC	Land Use & Land Use Change / utilisation des terres et changement d'utilisation des terres
MEDD	Ministère de l'environnement et du développement durable
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i> / Spectroradiomètre à résolution modérée
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> / Agence nationale (étasunienne) de l'aéronautique et de l'espace
NIR	<i>National Inventory Report</i> / rapport d'inventaire nationaux de GES
PRG	Pouvoir de réchauffement global
SD	<i>Standard Deviation</i> / écart-type
SNSF	Système national de surveillance des forêts et de l'utilisation des terres
T <sub>dm</sub>	<i>Tonne of dry matter</i> / tonne de matière sèche
t <sub>eq</sub> CO <sub>2</sub>	Tonne-équivalente CO <sub>2</sub>
TM	<i>Tropical Moist</i> / tropical sub-humide
TW	<i>Tropical Wet</i> / tropical humide
ZAEG	Zonage agroécologique de la Guinée

# 1 Objectifs, méthodes et données utilisées

## 1.1 Objectifs

Le Consortium IGN-FI/SalvaTerra/ONFI a été recruté pour assister l'équipe de la Banque mondiale chargée de l'environnement, de la gestion des ressources naturelles et du climat en Guinée à conseiller le Gouvernement guinéen pour concevoir et développer un Système national de suivi des forêts et de l'utilisation des terres (SNSF) robuste et transparent.

Ce SNSF a vocation à être hébergé et mis à jour par les institutions guinéennes, afin – entre autres usages – de permettre d'estimer les émissions/absorptions de gaz à effet de serre (GES) du secteur forestier en Guinée.

Le présent rapport présente les données, calculs et résultats relatifs au livrable D2.3 de l'assistance : « *Estimation préliminaire des émissions et absorptions de GES du secteur forestier, en croisant les statistiques de biomasse (facteurs d'émissions) avec les occupations des terres et changements d'occupation des terres (données d'activités) entre 2015 et 2020* ».

## 1.2 Méthodes

Tous les calculs présentés dans ce rapport suivent les dernières lignes directrices du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC ou IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*) sur les inventaires de GES, en particulier le volume 4 portant sur l'agriculture, la forêt et les autres utilisations des terres (*Agriculture, Forestry, and Other Land Use - AFOLU*). Ces lignes directrices ont été publiées en 2006<sup>1</sup> et actualisées en partie en 2019<sup>2</sup>. On se base en particulier dans ce volume 4 sur les chapitres suivants :

- Chap 2 - Méthodes générales applicables aux six catégories d'utilisation des terres (NB : forêt / cultures / prairies / zones humides / infrastructures / autres terres) (IPCC, 2006a)<sup>3</sup> (IPCC, 2019a)<sup>4</sup> ;
- Chap 3 - Représentation cohérente des terres (IPCC, 2006b)<sup>5</sup> (IPCC, 2019b)<sup>6</sup> ;
- Chap 4 - Terres forestières (IPCC, 2006c)<sup>7</sup> (IPCC, 2019c)<sup>8</sup> ;
- Chap 5 - Terres cultivées (IPCC, 2006d)<sup>9</sup> (IPCC, 2019d)<sup>10</sup> ;

---

<sup>1</sup> <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

<sup>2</sup> <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>

<sup>3</sup> IPCC, 2006a. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories. 59p

<sup>4</sup> IPCC, 2019a. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories. 96p

<sup>5</sup> IPCC, 2006b. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 3: Consistent Representation of Lands. 42p

<sup>6</sup> IPCC, 2019b. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 3: Consistent Representation of Lands. 55p

<sup>7</sup> IPCC, 2006c. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 4: Forest Land. 83p

<sup>8</sup> IPCC, 2019c. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 4: Forest Land. 71p

<sup>9</sup> IPCC, 2006d. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 5: Cropland. 66p

<sup>10</sup> IPCC, 2019d. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 5: Cropland. 102p

Concernant l'estimation des incertitudes, on se base sur le volume 1, chap 3 (IPCC, 2006e)<sup>11</sup> (IPCC, 2019e)<sup>12</sup>.

*NB1 : Les deux jeux de lignes directrices, 2006 et 2019, ne sont malheureusement pas consolidés, ce qui oblige à jongler avec beaucoup de documents et rend les analyses très chronophages... De façon systématique, nous avons vérifié si les méthodes / équations / tables / etc. avaient été mises à jour dans les lignes directrices 2019, auquel cas on les a utilisées. Dans le cas contraire (mention "No refinement"), on a utilisé les lignes directrices 2006.*

*NB2 : Afin d'identifier rapidement les références aux lignes directrices dans le rapport, nous avons adopté une nomenclature simplifiée, par ex : Table 4.13 (G2006, Chap 4, pp64-70).*

En substance, pour estimer les émissions/absorptions de GES du secteur forestier, on a estimé puis croisé deux jeux de données :

- Données d'activités (Activity Data - AD), exprimées en ha/an ou  $\Delta$ ha/an selon qu'il s'agit d'utilisation des terres (*Land Use - LU*. Utilisation des terres (classe) identique en 2015 et 2020) ou de changement d'utilisation des terres (*Land Use Change - LUC*. Changement de classe entre 2015 et 2020) ;
- Facteurs d'émissions (Emission Factors - EF) permettant in fine d'estimer un flux de GES (émissions de CO<sub>2</sub> ou CH<sub>4</sub> ou N<sub>2</sub>O ; absorptions de CO<sub>2</sub>) par unité de surface, exprimé en t<sub>eq</sub>CO<sub>2</sub>/ha/an. NB : Les pouvoirs de réchauffement global (PRG) à 100 ans sont extraits de la Table 7.15 de l'AR6-2021 WG1 Ch7 p95 (IPCC, 2021)<sup>13</sup> : 27 pour le CH<sub>4</sub> et 273 pour le N<sub>2</sub>O. Autrement dit, 1 tCH<sub>4</sub> = 27 t<sub>eq</sub>CO<sub>2</sub> et 1 tN<sub>2</sub>O = 273 t<sub>eq</sub>CO<sub>2</sub>.

En croisant AD (ha/an ou  $\Delta$ ha/an) et EF (t<sub>eq</sub>CO<sub>2</sub>/ha/an), on obtient un bilan de GES (t<sub>eq</sub>CO<sub>2</sub>/an).

**Figure 1 - Principes clés des lignes directrices du GIEC pour les inventaires de GES (IPCC, 2006)**

- Exhaustivité : l'inventaire doit couvrir tous les puits et sources de GES pertinents ;
- Cohérence : les méthodes et les paramètres utilisés doivent être cohérents entre eux et issus de travaux scientifiques solides ;
- Transparence : les procédures et les méthodes utilisées pour préparer les inventaires doivent être transparentes et bien documentées, afin de permettre la vérification et la reproductibilité des résultats ;
- Comparabilité : les inventaires doivent être structurés de manière à permettre une comparaison entre les émissions/absorptions de GES entre différents pays et au sein d'un même pays, ainsi qu'entre différentes périodes ;
- Exactitude : les inventaires doivent être aussi précis que possible, en utilisant des données actualisées et des calculs appropriés, afin de réduire les incertitudes ;
- Fiabilité : les inventaires doivent faire l'objet de contrôle et assurance qualité ;
- Conservatisme : en cas d'incertitude sur les données utilisées, il faut systématiquement prendre la borne haute ou basse d'incertitude la plus défavorable. Par ex, si l'inventaire est utilisé pour estimer la baseline des émissions de GES dues à la déforestation, il faut prendre la borne basse de l'incertitude, afin de ne pas surestimer les émissions de GES dans la baseline (et de facto les crédits REDD+ éventuellement générés à l'avenir).

<sup>11</sup> IPCC, 2006e. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 1 - General Guidance and Reporting. Chapter 3: Uncertainties. 66p

<sup>12</sup> IPCC, 2019e. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 1 - General Guidance and Reporting. Chapter 3: Uncertainties. 47p

<sup>13</sup> IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC. The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity. 132p

### 1.2.1 Estimation des données d'activités (AD)

**Affinage de la classification :** Comme indiqué dans le rapport intermédiaire de notre assistance, la première nomenclature à 13 classes proposée pour l'interprétation du premier échantillonnage (101 placettes) ne permettait pas d'estimer précisément les émissions/absorptions des GES. Par ex, l'évaluation de perte de couvert forestier ne doit pas être faite globalement, mais déclinée selon différents écotypes (par ex forêts denses, forêts claires, forêts galeries, savanes, etc.) afin de pouvoir utiliser des EF pour chaque écotype.

Une nomenclature à 24 classes a donc été proposée pour interpréter le second échantillonnage (1 700 placettes). Cf. Partie 1.3.1 - Changements d'utilisation des terres entre 2015 et 2020.

**Notion d'AD « clefs » :** Les AD (LU et LUC) étant nombreuses, on se concentre – conformément à la Décision 13/CP9 (CCNUCC, 2003)<sup>14</sup> et aux bonnes pratiques promues dans les lignes directrices du GIEC – sur celles qui sont « clefs », c'est-à-dire celles dont le bilan GES (AD X EF) contribue à 95% du bilan GES total. Une AD peut donc être clef :

- Soit parce que l'AD est importante, même si son EF correspondant est faible. Par ex, cas en jaune ci-dessous : l'AD correspondant à une utilisation constante des terres en forêt dense entre 2015 et 2020 est a priori élevé (beaucoup de surfaces), mais son EF correspondant est a priori limité (dépendant surtout de l'accroissement de ces forêts) ;
- Soit parce que l'AD est certes faible, mais son EF correspondant est élevé. Par ex, cas en vert ci-dessous : l'AD correspondant à une conversion de mangroves en cultures (de riz par ex) entre 2015 et 2020 est a priori limité (peu de surfaces), mais son EF correspondant est a priori élevé (fortes émissions de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O dues à la déforestation).

Figure 2 - Matrice d'utilisation des terres et de changement d'utilisation des terres et concept d'AD clef (auteurs, 2024)

Matrice LULUCF		Land Use 2020						Totaux	
		111	114	211	Etc	Etc	Etc		Etc
Land use 2015	111 (forêts denses)	XXXXX		XXX					XXXX
	114 (mangroves)		XX	X					-
	211 (cultures pluviales)			XXXXX					-
	Etc								-
	Etc								-
	Etc						X		-
	Etc								-
	Totaux	XXXX	XX	XXXXX	-	-	-	-	XXXXXX

L'identification des AD « clefs » est donc faite a priori au démarrage des calculs, puis affinée de façon itérative, au fur et à mesure que les EF sont estimés de façon plus précise.

<sup>14</sup> CCNUCC, 2003. Décision 13/CP9 : Guide des bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie aux fins de l'établissement des inventaires nationaux de gaz à effet de serre en application de la Convention. 21p

## 1.2.2 Estimation des facteurs d'émission (EF)

Deux méthodes sont utilisées :

- Méthode des différences de stock (*Stock-Difference Method. Pour les LUC*) : On calcule la différence entre un stock final ( $SLU_{fin}$ ) et un stock initial ( $SLU_{init}$ ). Les estimations de stocks peuvent venir de différentes sources : cartes globales de biomasse (cf. Partie 1.3.2 - Données de biomasse issues de cartographies mondiales) ; données par défaut du GIEC dites « tier 1 » ou données spécifiques issues de publications scientifiques dites « tier 2 » (Cf. Partie 1.3.3 – EF par défaut / tier 1 ou spécifiques / tier 2). Par ailleurs, on estime aussi les émissions de GES autres que le  $CO_2$  ( $CH_4$  et  $N_2O$  notamment) liées aux feux si la déforestation est consécutive à des feux (Cf. Partie 1.3.4 – Données relatives aux feux) ;
- Méthode gain/perte (*Gain-Loss Method. Pour les LU*) : On calcule la différence entre gain (accroissement annuel) et perte (récolte, mortalité et autres perturbations : feux, tempêtes, ravageurs, etc.) de carbone. Les valeurs utilisés (accroissement annuel, mortalité, etc.) peuvent là encore être de tier 1 ou tier 2, selon les données disponibles dans la littérature. Par ailleurs, on estime aussi les émissions de GES autres que le  $CO_2$  ( $CH_4$  et  $N_2O$  notamment) liées aux feux si la dégradation est consécutive à des feux.

Six réservoirs de carbone (*Carbon Pools*) sont distingués dans les lignes directrices du GIEC, à savoir : biomasse aérienne (*Above-Ground Biomass – AGB*) ; biomasse racinaire (*Below-Ground Biomass – BGB*) ; bois mort (*Dead Wood*) ; litière (*Litter*) ; carbone du sol (*Soil Carbon*) ; Produits bois (*Harvested Wood Products*).

En phase avec les bonnes pratiques des lignes directrices du GIEC sur les estimations d'EF au Tier 1, nous nous concentrerons sur les estimations relatives à AGB et BGB (NB : les stocks et flux de carbone de ce dernier réservoir sont eux-mêmes estimés à partir des stocks et flux du premier réservoir, comme nous le verrons ci-après). Concernant les autres réservoirs :

- Bois mort et litière : Il n'existe pas à notre connaissance de données spécifiques à la Guinée sur les stocks et flux de ces réservoirs. Par conséquent, (i) nous supposerons que ces deux réservoirs ne sont ni puits (pas d'accumulation de carbone au fil du temps) ni source (pas de perte de carbone au fil du temps), compte tenu du fait que les habitudes de collecte de bois mort et autre biomasse au sol sont a priori stables dans le temps, (ii) nous appliquerons par ailleurs l'hypothèse commune et conservative selon laquelle tout bois récolté est immédiatement oxydé et le carbone correspondant est émis dans l'atmosphère. Ce faisant, nous ne sous-estimons pas, ni ne surestimons, les flux de carbone de ces réservoirs.
- Carbone du sol : Les données désagrégées et spatialisées manquent pour caractériser les stocks et flux de carbone du sol. Selon les lignes directrices du GIEC, il faudrait en effet pour ce faire pouvoir spatialiser les différentes classes forestières en fonction des zones climatiques, des types de sols et des régimes de gestion forestière... Cela étant dit, d'après les données pédologiques les plus fines disponibles (à notre connaissance) - à savoir une carte morpho-pédologique élaborée en 1995 à partir d'images aériennes et de relevés de terrain (lunette et goniomètre), puis digitalisée au début des années 2000 (BOULVERT et al., 2005)<sup>15</sup> – la très grande majorité des sols guinéens sont minéraux (et donc pas organiques), de type ferrallitiques. Nous supposerons donc de façon conservative que ce réservoir n'est ni puits, ni source.
- Produits bois récoltés : Les stocks et flux de carbone de ce réservoir sont très rarement estimés (mis à part dans les inventaires nationaux de GES de quelques pays développés). Nous appliquerons donc l'hypothèse commune et conservative selon laquelle tout bois récolté est immédiatement oxydé et le carbone correspondant est émis dans l'atmosphère.

---

<sup>15</sup> BOULVERT et al., 2005. *Carte morpho-pédologique interactive de la République de Guinée à 1:200 000ème – Cartes et notices. CD n°115. Montpellier – IRD.*

### 1.2.3 Estimation des bilans GES spécifiques et du bilan GES total

Par souci de lisibilité, on présente les bilans GES en se basant le format de rapportage pour le secteur des terres recommandé par la CCNUCC et utilisé dans les Rapports d'inventaire nationaux de GES (*National Inventory Reports – NIRs*), notamment le dernier inventaire de GES de la Guinée, mené sur 2019 (MEDD, 2023a)<sup>16</sup> (MEDD, 2023b)<sup>17</sup>. On distingue ainsi :

- **Partie 2.1** : Emissions/absorptions de GES des forêts restant forêts (3.B.1.a du NIR) ;
- **Partie 2.2** : Emissions/absorptions de GES des forêts converties en cultures (3.B.2.i du NIR) ;
- **Partie 2.3** : Emissions/absorptions de GES des forêts converties en prairies (3.B.3.i du NIR) ;
- **Partie 2.4** : Emissions/absorptions de GES des terres converties en forêts (3.B.1.b du NIR) ;
- **Partie 2.5** : Émissions de GES issues du brûlage de biomasse des forêts (3.C.1.a du NIR).

Les sections d'intérêt pour le présent rapport sont identifiées ci-dessous dans le plan du NIR pour le secteur des terres (NB : les sections sans objet sont mentionnées pour information).

3.B – Terres
<b>3.B.1 - Terres forestières</b>
<b>3.B.1.a - Terres forestières restant terres forestières</b>
<b>3.B.1.b - Terres converties en terres forestières</b>
3.B.1.b.i - Terres cultivées converties en terres forestières
3.B.1.b.ii - Prairies converties en terres forestières
3.B.1.b.iii - Zones humides converties en terres forestières
3.B.1.b.iv - Infrastructures convertis en terres forestières
3.B.1.b.v - Autres terres converties en terres forestières
<b>3.B.2 - Terres cultivées</b>
<b>3.B.2.b - Terres converties en terres cultivées</b>
3.B.2.b.i - Terres forestières converties en terres cultivées
<b>3.B.3 - Prairies</b>
<b>3.B.3.b - Terres converties en prairies</b>
3.B.3.b.i - Terres forestières converties en prairies
<b>3.B.4 - Zones humides</b>
<b>3.B.4.b - Terres converties en zones humides</b>
3.B.4.b.i - Terres forestières converties en zones humides
<b>3.B.5 – Établissements</b>
<b>3.B.5.b - Terres converties en infrastructures</b>
3.B.5.b.i - Terres forestières converties en infrastructures
<b>3.B.6 - Autres terres</b>
<b>3.B.6.b - Terres converties en autres terres</b>
3.B.6.b.i - Terres forestières converties en autres terres
<b>3.C - Sources agrégées et sources d'émissions non-CO<sub>2</sub> sur terres</b>
<b>3.C.1 - Émissions provenant du brûlage de biomasse</b>
3.C.1.a - Brûlage de biomasse dans les terres forestières

Figure 3 - Présentation du bilan GES du secteur LULUCF dans un NIR (CCNUCC, 2003)

<sup>16</sup> MEDD, 2023a. Rapport biennal actualisé initial (BURI) sur les changements climatiques. Rapport d'inventaire des gaz à effet de serre 2019. Conakry – MEDD. 146p

<sup>17</sup> MEDD, 2023b. Méthodologie de l'inventaire des GES du secteur AFAT. Conakry – MEDD. 4p

Une fichier Excel joint au présent rapport présente le détail des données, hypothèses, formules et résultats :

<b>Formules et résultats : Emissions/absorptions de GES forestiers</b>		<b>Hypothèses et données : Données d'activité (AD) et Facteurs d'émission (EF)</b>	
Récap	Toutes utilisations ou changements d'utilisation des terres forestières (CO2 et non-CO2)	Tous	Surfaces totales (ha) suivant utilisation ou changement d'utilisation des terres forestières
111 <sup>2</sup>	Forêts denses (d ≥ 70%)	Wet	Surfaces en TW (ha) suivant utilisation ou changement d'utilisation des terres forestières
112 <sup>2</sup>	Forêts claires (30% ≤ d ≤ 70%)	Moist	Surfaces en TM (ha) suivant utilisation ou changement d'utilisation des terres forestières
113 <sup>2</sup>	Forêts galeries	Feux	Surfaces brûlées totales (ha. Moy FIRMS / FireCCI) suivant utilisation ou changement d'utilisation des terres forestières
114 <sup>2</sup>	Mangroves	Feux TW	Surfaces brûlées en TW (ha. Moy FIRMS / FireCCI) suivant utilisation ou changement d'utilisation des terres forestières
116 <sup>2</sup>	Forêts dégradées, secondaires / de transition	Feux TM	Surfaces brûlées en TM (ha. Moy FIRMS / FireCCI) suivant utilisation ou changement d'utilisation des terres forestières
117 <sup>2</sup>	Plantations forestières et reboisements	FIRMS	Surfaces brûlées totales (ha. FIRMS) suivant utilisation ou changement d'utilisation des terres forestières
118 <sup>2</sup>	Savane arborée 10% ≤ d ≤ 30%)	FIRMS TW	Surfaces brûlées en TW (ha. FIRMS) suivant utilisation ou changement d'utilisation des terres forestières
224 <sup>2</sup>	Anacardiés	FIRMS TM	Surfaces brûlées en TM (ha. FIRMS) suivant utilisation ou changement d'utilisation des terres forestières
225 <sup>2</sup>	Agroforêts et autres associations de cultures	FireCCI	Surfaces brûlées totales (ha. FireCCI) suivant utilisation ou changement d'utilisation des terres forestières
112-211	Forêts claires (30% ≤ d ≤ 70%) ==> Cultures pluviales et jachères	FireCCI TW	Surfaces brûlées en TW (ha. FireCCI) suivant utilisation ou changement d'utilisation des terres forestières
118-211	Savane arborée 10% ≤ d ≤ 30%) ==> Cultures pluviales et jachères	FireCCI TM	Surfaces brûlées en TM (ha. FireCCI) suivant utilisation ou changement d'utilisation des terres forestières
112-50	Forêts claires (30% ≤ d ≤ 70%) ==> Formations arbustives (< 10% d'arbres)	Biomasse	Estimations de biomasse (tdm/ha) suivant utilisation des terres et zone climatique
118-50	Savane arborée 10% ≤ d ≤ 30%) ==> Formations arbustives (< 10% d'arbres)	BCEFr	Estimations de Biomass Conversion & Expansion Factor (tdm/m3) suivant utilisation des terres et zone climatique
50-118	Formations arbustives (< 10% d'arbres) ==> Savane arborée 10% ≤ d ≤ 30%)	P° Bois	Estimations de la récolte de bois (m3/an) suivant utilisation des terres et zone climatique
Non-CO2	Toutes utilisations ou changements d'utilisation des terres forestières (GES : non-CO2)	FRA 2020	Rappel de données clefs du rapport Guinée 2020 pour le Forest Resource Assessment (FAO°
		NIR 2019	Rappel de données clefs du rapport Guinée 2019 au titre du Biennial Update Report (UNFCCC)
		BUR Mx	Rappel de données clefs du rapport Guinée 2019 au titre du National Inventory Report (UNFCCC)
		Comp EF	Comparaison des Facteurs d'émission utilisés dans le BUR 2019 vs le présent rapport

Figure 4 - Structure du fichier Excel avec détail des données, hypothèses, formules et résultats (auteurs, 2024)

### 1.2.4 Calcul des incertitudes sur les estimations de GES

Le calcul des incertitudes a été fait conformément aux lignes directrices de l'approche 1 (G2019 V1 Chap 3 pp18-19), notamment les deux formules ci-dessous relatives au calcul des incertitudes dans le cas d'un produit (Equation 3.1) ou d'une somme (Equation 3.2) :

**EQUATION 3.1 (UPDATED)**  
**COMBINING UNCERTAINTIES – APPROACH 1 – MULTIPLICATION**

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

Where:

$U_{total}$  = the percentage uncertainty in the product of the quantities (half the 95 percent confidence interval divided by the total and expressed as a percentage)

$U_i$  = the percentage uncertainties associated with each of the quantities

Figure 5 – Equation 3.1 pour le calcul des incertitudes dans le cas d'un produit (G2019 V1 Chap 3)

**EQUATION 3.2 (UPDATED)**  
**COMBINING UNCERTAINTIES – APPROACH 1 – ADDITION AND SUBTRACTION**

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot x_1)^2 + \dots + (U_i \cdot x_i)^2 + \dots + (U_n \cdot x_n)^2}}{|x_1 + \dots + x_i + \dots + x_n|}$$

Where:

$U_{total}$  = the percentage uncertainty in the sum of the quantities (half the 95 percent confidence interval divided by the total (i.e., mean) and expressed as a percentage)

$x_i$  = quantities to be combined;  $x_i$  may be a positive or a negative number

$U_i$  = the percentage uncertainties associated with each of the quantities

Figure 6 - Equation 3.2 pour le calcul des incertitudes dans le cas d'une somme (G2019 V1 Chap 3)

Il faut noter quatre points importants concernant les calculs d'incertitude :

- Pour les données d'activité : nous avons calculé les incertitudes pour nos propres estimations des surfaces de LU et LUC. Pour les incertitudes sur les surfaces brûlées et les récoltes de bois, faute d'accès aux taux d'incertitude détaillés pour les données sources (Données NASA/FIRMS et ESA/FireCC sur les feux et données FAOSTAT sur les récoltes de bois), nous avons appliqué un taux d'incertitude conservateur de  $\pm 50\%$ , en accord avec les bonnes pratiques des lignes directrices d'inventaire du GIEC (G2019 V4 Chap 3) :
- Pour les facteurs d'émission : nous avons calculé les incertitudes pour nos propres estimations de biomasse aérienne ou utilisé les taux d'incertitude donnés pour les valeurs par défaut / tier 1 du GIEC. Dans le cas des valeurs par défaut du BCEFr qui sont données sans taux d'incertitude, nous avons utilisé un taux d'incertitude conservateur de  $\pm 50\%$ .
- Lorsque les valeurs suivaient la loi normale et que les incertitudes sont exprimées en écart-type (*Standard Deviation* – SD), nous les avons converties en % en utilisant la formule suivante : Taux d'incertitude (%) = SD / moyenne X 100.
- Dans les rares cas où les valeurs ne suivent pas la loi normale et que les incertitudes sont exprimées de façon asymétrique - cas par exemple de la valeur par défaut de la fraction carbone du bois (*Carbon Fraction* – CF) : 0,46 tC/tdm (0,44 – 0,49) - nous avons converti ces valeurs d'incertitudes en une valeur unique en % en utilisant la formule suivante : Taux d'incertitude (%) = [(moyenne – borne haute) + (moyenne – borne basse)] / 2 X 100.

### 1.3 Données utilisées

NB : Nous avons pris connaissance du dernier inventaire de GES de la Guinée, mené pour l'année 2019 (MEDD, 2023a) (MEDD, 2023b). Les informations relatives à l'inventaire de GES du secteur AFOLU sont cependant sommaires. Par ailleurs, nos demandes au MEDD de partage des données brutes et du logiciel rempli sont restées sans réponse.

#### 1.3.1 Changements d'utilisation des terres entre 2015 et 2020

Une matrice détaillée des changements d'utilisation des terres entre 2015 et 2020 a été produite en affinant le traitement des données utilisées dans le Zonage agro-écologique de la Guinée (ZAEG). On renvoie le lecteur au rapport intermédiaire de l'assistance pour la présentation des données de base et des méthodes utilisées, et on présente ci-dessous :

- La classification de l'utilisation des terres adoptée dans le rapport (code niveau 2 ERP) et sa correspondance avec les classes ZAEG et catégories d'utilisation des terres utilisées dans les lignes directrices du GIEC. NB : Les descriptions des classes ZAEG d'intérêt pour le présent rapport sont extraites de (IGN-FI et CIRAD, 2023)<sup>18</sup> et incluses en Annexe 1.

#	Catégories GIEC	Code niveau 1 (ERP)	Légende Niveau 1 (ERP)	Code niveau 2 (ERP)	Légende Niveau 2 (ERP)	Correspondance code ZAEG		
1	Terres forestières	11	Forêts et formations arborées	111	Forêts denses ( $d \geq 70\%$ )	311		
				112	Forêts claires ( $30\% \leq d \leq 70\%$ )	312		
				113	Forêts galeries	313		
				114	Mangroves	314		
				115	Forêts marécageuses	315		
				116	Forêts dégradées, secondaires / de transition	317		
				117	Plantations forestières et reboisements	318		
				118	Savane arborée ( $10\% \leq d \leq 30\%$ )	323		
2	Terres cultivées	21	Cultures pluviales et jachères	211	Cultures pluviales et jachères	21 (211/212/213/214)		
				212	Cultures pluviales sous couvert arboré	243		
		22	Cultures pérennes et agroforêts	221	Vergers arboricultures	221		
				222	Palmeraies et palmiers naturels	222+316		
				223	Hévéa	223		
				224	Anacardiés	224		
				225	Agroforêts et autres associations de cultures	241+242		
3	Terres humides	30	Eau	30		5 (511+512+521+522+523+524)		
				31	Marais intérieurs et maritimes	311	Marais intérieurs	411
						312	Prairies marécageuses	412
						313	Marais maritimes	421/422
4	Etablissements humains	40	Habitat	40		11+12+14 (111+112+121+123+124 +141+142)		
				41	Infrastructures routières	122		
				42	Mines, carrières & chantiers	13 (131+132+133)		
5	Terres graminéennes	50	Formations / arbustives et herbeuses ( $< 10\%$ d'arbres)	50		321+322+324		
6	Autres terres	60	Sols nus/ roches nues	60		33 (331+332+333)		

Figure 7 - Correspondances entre classes niveau 2 ERP, classes ZAEG et catégories GIEC (auteurs, 2024)

- La matrice détaillée d'utilisation des terres forestières et changements d'utilisation des terres forestières, avec des surfaces estimées par photo-interprétation d'un échantillon de 1 700 placettes de 1 km<sup>2</sup>, puis extrapolées après pondération à l'échelle du pays.

<sup>18</sup> IGN-FI et CIRAD, 2023. Guide technique. Projet de zonage agro-écologique en Guinée. Paris – IGN-FI. 56p

Sur 87 utilisations des terres et changements d'utilisation des terres, 36 (cellules en noir) ne concernent pas la forêt, 37 (en gris) concernent des surfaces jugées marginales (< 0,1% de la surface totale) et 14 sont finalement d'intérêt : 9 (en vert clair) utilisations des terres, 4 (en rose) changements impliquant de la déforestation et 1 (en vert sombre) changement impliquant du reboisement. On note que 4 utilisations des terres stables couvrent 81% du pays : 41,6% de 50 – Formations arbustives et herbeuses (<10% de couvert arboré), 23,8% de 118 - Savanes arborées avec 10 à 30% de couvert arboré, 8,5% de 112 - forêts claires avec 30 à 70% de couvert arboré et 7,5% de 211 - cultures pluviales et jachères.

Proportion des surfaces pondérées (%)	BDOCS2020																				Total				
	111	112	113	114	115	116	117	118	211	212	221	222	224	225	30	311	312	313	40	41		42	50	60	
Forêts denses (d ≥70%)	111	0,9 %	-	-	-	-	-	-	0,01 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00 %	-	0,9 %	
Forêts claires (30% ≤ d ≤ 70%)	112	-	8,5 %	-	-	-	-	0,01 %	0,4 %	-	-	-	0,00 %	-	-	-	-	-	0,00 %	0,00 %	-	0,1 %	-	9,0 %	
Forêts galeries	113	-	-	2,1 %	-	-	-	-	0,01 %	-	-	-	-	-	-	0,00 %	-	-	-	0,00 %	-	0,00 %	-	2,1 %	
Mangroves	114	-	-	-	0,5 %	-	-	-	0,00 %	-	-	-	-	-	-	-	0,01 %	-	-	-	-	-	-	0,5 %	
Forêts marécageuses	115	-	-	-	-	0,01 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0 %	
Forêts dégradées, secondaires / de transition	116	-	-	-	-	-	1,3 %	-	0,01 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00 %	-	-	0,01 %	-	1,4 %	
Plantations forestières et reboisement	117	-	-	-	-	-	-	0,3 %	0,00 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01 %	-	0,4 %	
Savane arborée 10% ≤ d ≤ 30%)	118	-	-	-	-	-	-	-	23,8 %	1,4 %	-	-	0,01 %	-	0,00 %	-	-	-	0,00 %	0,01 %	0,01 %	0,3 %	-	25,4 %	
Cultures pluviales et jachères	211	-	-	-	-	-	-	0,00 %	0,02 %	7,5 %	-	0,0 %	0,06 %	-	0,0 %	-	-	-	0,0 %	0,0 %	0,0 %	1,1 %	-	8,7 %	
Cultures pluviales sous couvert arboré	212	-	-	-	-	-	-	-	0,01 %	-	1,3 %	-	-	-	-	-	-	-	0,0 %	-	-	-	-	1,4 %	
Vergers arboricultures	221	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1 %	
Palmeraies et palmiers naturels	222	-	-	-	-	-	-	-	0,0 %	-	-	1,2 %	-	-	-	-	-	-	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	-	1,3 %	
Anacardiens	224	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4 %	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00 %	-	0,4 %	
Agroforêts et autres associations de cultures	225	-	-	-	-	-	-	-	0,04 %	-	-	-	-	1,7 %	-	-	-	-	0,02 %	0,00 %	-	0,02 %	-	1,8 %	
Eau	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6 %	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6 %	
Marais intérieurs	311	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0 %	0,3 %	-	-	-	-	-	-	-	0,3 %	
Prairies marécageuses	312	-	-	-	-	-	-	-	0,0 %	-	-	-	-	-	-	-	0,5 %	-	-	-	-	-	-	0,5 %	
Marais maritimes	313	-	-	-	0,00 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2 %	-	-	-	-	-	0,2 %	
Habitat	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9 %	-	-	-	-	0,9 %	
Infrastructures routières et surfaces asphaltées	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0 %	-	-	-	-	-	0,1 %	-	-	0,1 %	
Mines, carrières & chantiers	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0 %	0,0 %	-	0,0 %	
Formations arbustives et herbeuses (<10% de couvert arboré)	50	-	0,01 %	-	-	-	-	0,01 %	0,1 %	1,9 %	-	-	0,0 %	0,08 %	0,01 %	0,0 %	-	-	0,0 %	0,0 %	0,1 %	41,6 %	-	44,0 %	
Soils nus/ roches nues	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0 %	-	-	-	-	-	-	-	0,2 %	0,2 %	
Total		0,9 %	8,5 %	2,1 %	0,5 %	0,0 %	1,3 %	0,4 %	23,9 %	11,2 %	1,3 %	0,1 %	1,3 %	0,5 %	1,7 %	0,6 %	0,3 %	0,5 %	0,2 %	1,0 %	0,2 %	0,1 %	43,1 %	0,2 %	100,0 %

Figure 8 - Matrice d'utilisation des terres entre 2015 et 2020 (auteurs, 2024)

De surcroît, nous avons désagrégé certains codes niveau 2 ERP en deux sous-codes correspondant à deux grandes zones climatiques : *Tropical Moist* (TM) et *Tropical Wet* (TW). En effet, la Guinée est parcourue par ces deux zones<sup>19</sup> et les données d'accroissement forestier par défaut (Tier 1) fournies par le GIEC varient beaucoup entre ces zones. Par ex, pour les forêts claires (code niveau 2 ERP : 112), l'accroissement varie du simple au triple !

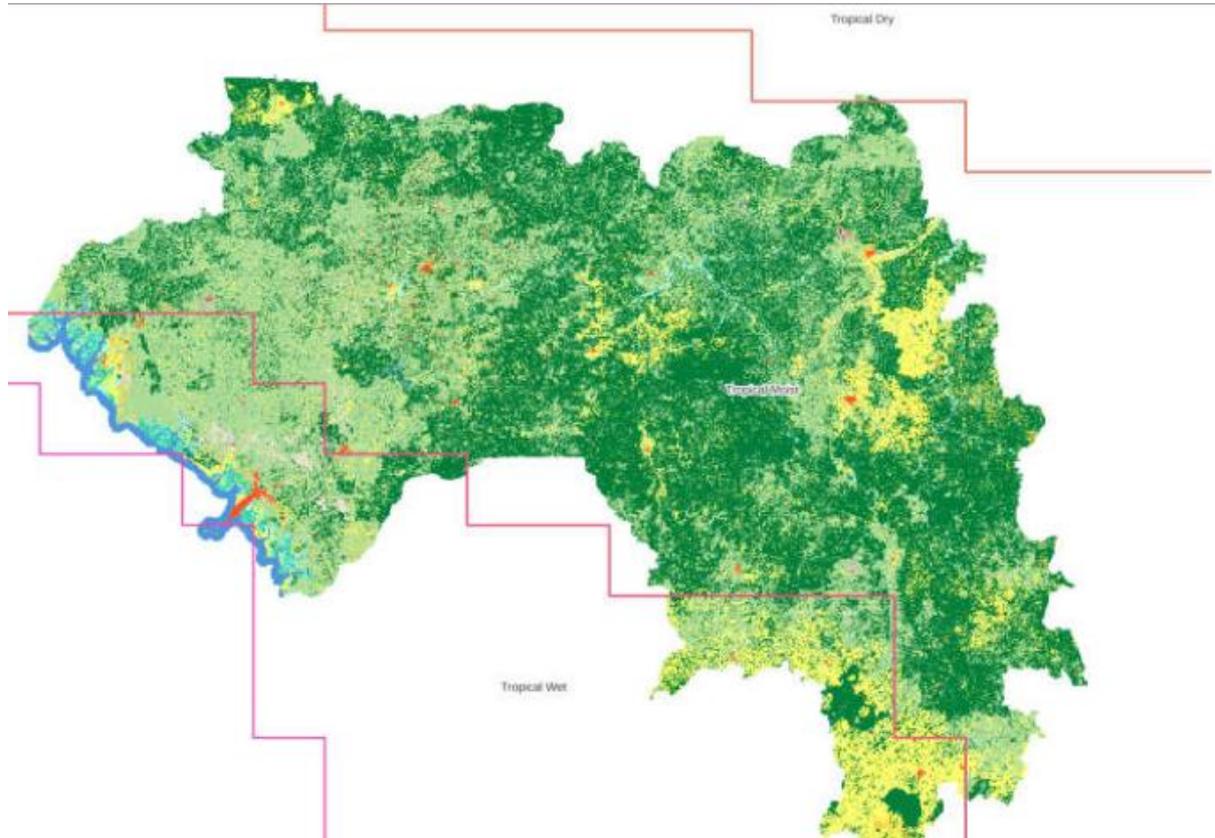


Figure 9 - Carte mondiale des zones climatiques du GIEC (GIEC, 2019)

Il faut souligner que nos estimations des surfaces forestières actualisent considérablement celles faites dans le dernier rapport de la Guinée pour l'évaluation des ressources forestières (*Forest Resource Assessment – FRA*) (FAO, 2020)<sup>20</sup> et dans le NIR 2019 inclus dans le BURi (MEDD, 2023a). La surface forestière y était surestimée (respectivement de 16% dans le FRA 2020 et de 38% dans le NIR 2019) et le taux de déforestation annuel y était sous-estimée (0,2% dans le NIR 2019 et 1,6% dans le FRA 2020 vs 4,7% dans ce présent rapport).

FRA 2020 GN, p10	Surfaces		Taux déf.	NIR 2019	Surfaces		Taux déf.	Auteurs	Surfaces		Taux déf.
	2015	2020	2015-2020		2018	2019	2018-2019		2015	2020	2015-2020
Forêts	6 389 000	6 189 000	-3,1%	Forêts	6 516 952	6 476 231	-0,6%	Forêts*	4 173 789	4 057 454	-2,8%
Autres terres boisées	5 850 000	5 850 000	0,0%	Autres terres boisées	9 916 823	9 921 306	0,05%	Autres terres boisées**	6 483 891	6 095 769	-6,0%
Total	12 239 000	12 039 000	-1,6%	Total	16 433 775	16 397 537	-0,2%	Total	10 657 680	10 153 224	-4,7%

NB : Equivalence Codes ERP niv 2 ==> \* = 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 224, 225 / \*\* = 118

Figure 10 - Comparaison des estimations de surfaces forestières (auteurs, 2024 ; MEDD, 2023a ; FAO, 2020)

<sup>19</sup> <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/corrigenda1.html>

<sup>20</sup> FAO, 2020. Rapport de la Guinée - Evaluation des ressources forestières mondiales. Rome – FAO. 58p

### 1.3.2 Données de biomasse issues de cartographies mondiales

Une carte de la biomasse aérienne de la végétation a été produite en croisant (i) les données d'occupation du sol ZAEG, 2015 et 2020, à 10 m de résolution avec (ii) les données de biomasse aérienne estimées à l'échelle globale par *European Space Agency – Climate Change Initiative* (ESA-CCI)<sup>21</sup>, 2017 et 2020, à 100 m de résolution.

On renvoie le lecteur au rapport intermédiaire de l'assistance pour la présentation des données de base et des méthodes utilisées, et on présente ci-dessous les valeurs (moyennes et écarts-types) de biomasse, exprimées en tonnes/ha de matière sèche ( $t_{dm}/ha$ ) pour les différentes classes d'utilisation des terres, pour les zones climatiques TM et TW.

Classes niveau 2 ERP d'intérêt dans nos estimations		Tropical Wet (TM)		Tropical Moist (TM)	
		Moy	STD	Moy	STD
111	Forêts denses ( $d \geq 70\%$ )	226,2	72,0	158,44	81,2
112	Forêts claires ( $30\% \leq d \leq 70\%$ )	41,0	35,9	40,86	35,5
113	Forêts galeries	59,3	44,1	33,90	32,2
114	Mangroves	40,3	32,4	58,98	33,9
116	Forêts dégradées, secondaires / de transition	120,4	69,7	96,72	61,4
117	Plantations forestières et reboisements	118,7	66,1	81,33	82,2
118	Savane arborée ( $10\% \leq d \leq 30\%$ )	50,2	43,8	27,88	31,3
211	Cultures pluviales et jachères	32,7	43,9	11,08	22,8
224	Anacardiens	84,2	41,6	20,22	21,4
225	Agroforêts et autres associations de cultures	81,0	61,0	47,31	48,5
50	Arbustes et herbes ( $< 10\%$ d'arbres)	29,2	35,8	18,33	27,1

Figure 11 - Estimations de biomasse ( $t_{dm}/ha$ ) en 2020, par classe et par zone climatique (auteurs, 2024)

### 1.3.3 EF par défaut (tier 1) ou spécifiques (tier 2)

Les lignes directrices du GIEC fournissent des valeurs par défaut (tier 1) pour diverses grandeurs : stock de biomasse aérienne (Cf. illustration ci-dessous), accroissement annuel de la biomasse aérienne, ratio biomasse racinaire / biomasse aérienne (*root-to-shoot ratio*), densité spécifique du bois, etc. Ces valeurs sont désagrégées selon différents critères (zone climatique et/ou continent et/ou état du peuplement, etc.).

Ecological zone <sup>1</sup>	Continent	Status/condition <sup>2</sup>	Above-ground biomass [tonnes d.m. ha <sup>-1</sup> ]	Uncertainty	Uncertainty type	References
Tropical rainforest	Africa	Primary	404.2	120.4	SD	1-12
		Secondary >20 years	212.9	143.1	SD	5-7, 11, 13-16
		Secondary ≤20 years	52.8	35.6	SD	9-11, 14, 15, 17
	North and South America	Primary	307.1	104.9	SD	3, 4, 9, 10, 18-21
		Secondary >20 years	206.4	80.4	SD	9, 10, 22-28
		Secondary ≤20 years	75.7	34.5	SD	9, 10, 14, 22, 23, 28-32
	Asia	Primary	413.1	128.5	SD	3, 4, 9, 10, 33-35
		Secondary >20 years	131.6	20.7	SD	9, 10, 36, 37
		Secondary ≤20 years	45.6	20.6	SD	9, 10, 37-39

Figure 12 - Exemple de valeurs par défaut / tier 1 pour la biomasse aérienne des forêts naturelles (GIEC, 2023c)

<sup>21</sup> <https://climate.esa.int/en/data/#/dashboard>

Si des valeurs plus précises existent (issues de recherche dans le pays ou dans des écosystèmes similaires) et si ces valeurs sont jugées fiables (extraites de publication à comité de lecture ou de travaux de recherche universitaire revus par des pairs), alors il est de bonne pratique de les utiliser. Ces valeurs sont alors dites de tier 2.

Dans le NIR 2019 / BURi 2023 de la Guinée (MEDD, 2023a), il y a peu de détails sur les facteurs d'émission retenus. Il est simplement indiqué que « le logiciel IPCC 2.691 propose des paramètres de calcul tirés directement par défaut de la base des données des facteurs d'émission du GIEC » et que de telles valeurs par défaut ont été extraites « des tableaux 4.4, 4.9, 4.10 et 4.12 (voir V4\_04\_Ch4\_Forest\_Land, des lignes directrices du GIEC 2006) ».

Nous avons extrait ces valeurs par défaut utilisées dans le NIR 2019 / BURi 2023 et les avons comparées avec celles que nous utilisons dans le présent rapport, ce qui permet d'identifier des écarts parfois notables, comme le montre la figure ci-après.

Variable	Unité	BUR1			Source	Auteurs			Diff. valeurs BUR1 vs Auteurs	
		Valeur	Incert.	Application		Valeur	Incert.	Application		Source
AGB = Biomasse aérienne	tdm/ha	300	n/a	Forêt tropicale humide (TW) / Naturelle	G2006 V4 Ch4 - Table 4.12 p63	226,2	71,9 (SD)	111 Forêts denses (d ≥ 70%)	Onglet "Biomasse"	-33 %
						41,0	35,9 (SD)	112 Forêts claires (30% ≤ d ≤ 70%)		-632 %
						59,3	44,1 (SD)	113 Forêts galeries		-406 %
						40,3	32,4 (SD)	114 Mangroves		-644 %
						120,6	140,0 (SD)	115 Forêts marécageuses		-149 %
						120,4	69,7 (SD)	116 Forêts dégradées, secondaires		-149 %
						50,2	43,8 (SD)	118 Savane arborée 10% ≤ d ≤ 30%)		-498 %
						81,0	61,0 (SD)	225 Agroforêts et autres asso. de cultures		-270 %
						118,7	66,1 (SD)	117 Plantations forestières et reboisements		-26 %
						84,2	41,6 (SD)	224 Anacardiés		-78 %
						158,4	81,2 (SD)	111 Forêts denses (d ≥ 70%)		-14 %
						40,9	35,5 (SD)	112 Forêts claires (30% ≤ d ≤ 70%)		-341 %
						33,9	32,2 (SD)	113 Forêts galeries		-431 %
						59,0	33,9 (SD)	114 Mangroves		-205 %
						42,1	49,7 (SD)	115 Forêts marécageuses		-327 %
						96,7	61,4 (SD)	116 Forêts dégradées, secondaires		-86 %
27,9	31,3 (SD)	118 Savane arborée 10% ≤ d ≤ 30%)	-546 %							
47,3	48,5 (SD)	225 Agroforêts et autres asso. de cultures	-280 %							
120	n/a	Forêt tropicale mésophile (TM) / Plantation	81,3	82,2 (SD)	117 Plantations forestières et reboisements	-48 %				
			20,2	21,4 (SD)	224 Anacardiés	-494 %				
G = accroissement annuel de AGB	tdm/ha/an	3,1	2,3 - 3,8	Forêt tropicale humide (TW) / Afrique / > 20 ans	G2006 V4 Ch4 - Table 4.9 p57	3,5	3,3 (SD)	Forêt tropicale humide (TW) / Afrique / Secondaire / > 20 ans	G2019 V4 Ch4 - Table 4.9 p34	11 %
		1,30	n/a	Forêt tropicale mésophile (TM) / Afrique / > 20 ans		0,9	0,7 (SD)	Forêt tropicale mésophile (TM) / Afrique / Secondaire / > 20 ans		-44 %
		6	5-8	Forêt tropicale humide (TW) / Afrique / Autres / < 20 ans	G2006 V4 Ch4 - Table 4.10 p59	6	5-8	Forêt tropicale humide (TW) / Afrique / Autres / < 20 ans	G2019 V4 Ch4 - Table 4.9 p39	-
		9,00	3-15	Forêt tropicale mésophile (TM) / Afrique / Autres / < 20 ans		9,00	3-15	Forêt tropicale mésophile (TM) / Afrique / Autres / < 20 ans		-
R = Shoot-to-Root ratio	sans dimension	0,37	n/a	Forêt tropicale humide (TW)	G2006 V4 Ch4 - Table 4.4 p49	0,825	+/-90%	Forêt tropicale humide (TW) / Afrique / Naturelle / < 125 tdm/ha	G2019 V4 Ch4 - Table 4.4 p18	55 %
		0,20	0,09 - 0,25	Forêt tropicale mésophile (TM) / < 125 tdm/ha		0,532	+/-90%	Forêt tropicale humide (TW) / Afrique / Naturelle / > 125 tdm/ha		30 %
		0,24	0,22 - 0,33	Forêt tropicale mésophile (TM) / > 125 tdm/ha		0,232	+/-90%	Forêt tropicale mésophile (TM) / Afrique / Naturelle / < 125 tdm/ha		14 %
						0,232	+/-90%	Forêt tropicale mésophile (TM) / Afrique / Naturelle / > 125 tdm/ha		-3 %

Figure 13 - Comparaison des EF utilisés dans le NIR 2019 / BURi 2023 vs dans le présent rapport (auteurs, 2024 ; MEDD, 2023a)

Par ailleurs, nous n'avons pas trouvé mention dans le NIR 2019 / BURi 2023 de l'approche utilisée pour estimer un facteur d'émission clef, le facteur de conversion et d'expansion de la biomasse (*Biomass Conversion and Expansion Factor* – BCEF, exprimé en t<sub>dm</sub>/m<sup>3</sup>), ni a fortiori des valeurs retenues pour le BCEF des classes forestières mentionnées dans le NIR 2029.

Le *Climate Change Initiative Biomass project (CCI Biomass)*<sup>22</sup> fournit une estimation directe de l'AGB mais ne permet pas d'obtenir une estimation du stock sur pied (Growing Stock – GS, exprimé en m<sup>3</sup>/ha), nécessaire pour se positionner dans la table 4.5 de l'IPCC (G2006 V4 Ch4 p52) et sélectionner un BCEF approprié.

Pour déterminer la valeur du BCEF de chacune de nos classes forestières de manière adaptée, nous avons donc adopté une démarche à rebours : pour chaque classe de BCEF disponible dans la table 4.5 précitée, nous avons calculé un GS hypothétique en divisant l'AGB

<sup>22</sup> <https://climate.esa.int/en/projects/biomass/>

de chaque classe par le BCEF correspondant. Ce GS estimé est ensuite comparé aux plages définies dans la table 4.5 afin de vérifier s'il se situe dans l'intervalle attendu. Si plusieurs valeurs de BCEF étaient compatibles, nous avons retenu la plus faible, dans une approche conservatrice.

Conformément aux notes de l'IPCC pour l'utilisation de cette table 4.5, nous avons utilisé les valeurs basses des intervalles de BCEF car l'estimation de l'AGB fournie par le *CCI Biomass* représente la totalité de la biomasse aérienne (tronc, branches et feuillage). Le détail des calculs est fourni dans l'onglet BCEF du fichier Excel joint au présent rapport.

#### 1.3.4 Données relatives aux feux

Les forêts peuvent être touchées par des perturbations biotiques (ravageurs et maladies) et abiotiques (tempêtes, feux, etc.).

Mis à part le cas des feux, le bois endommagé est récupérable en tant que bois de feu par les populations locales, et les pertes de carbone associées à ces perturbations peuvent être incluses de façon conservatrice dans l'estimation des pertes de carbone dues à la récolte de bois (Cf. partie 1.3.5 et partie 2.1.1 infra).

Les feux sont non seulement courants en Guinée (agriculture sur abattis-brûlis, régénération des pâtures, rabattage du gibier par les flammes lors des chasses de saison sèche, etc.), mais aussi très émetteurs en GES, que ce soit du CO<sub>2</sub> ou des GES autres que le CO<sub>2</sub> - notamment du N<sub>2</sub>O et du CH<sub>4</sub> - aux Pouvoirs de réchauffement globaux (PRG) plus importants que le CO<sub>2</sub>.

Il est donc important d'estimer les flux de GES, CO<sub>2</sub> et non-CO<sub>2</sub>, dus à ces feux. Pour ce faire, nous avons analysé deux jeux de données, tous deux générés à partir de MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* - Spectroradiomètre à résolution modérée) :

- Données dites « FIRMS » : Système d'information sur les incendies pour la gestion des ressources (*Fire Information for Resource Management System* - FIRMS) de l'Agence nationale (étasunienne) de l'aéronautique et de l'espace (*National Aeronautics and Space Administration* – NASA)<sup>23</sup> ;
- Données dites « FireCCI » : Initiative sur le changement climatique (*Climate Change Initiative* – CCI) de l'Agence spatiale européenne (*European Space Agency* - ESA)<sup>24</sup>

Pour chacun des jeux de données, FIRMS et FireCCI, nous avons extrait les estimations de surface suivantes (NB : en distinguant à chaque fois les surfaces respectives sous TW et TM) :

- Pour chaque *Land Use* stable entre 2015 et 2020 (Cf. partie 2.1. Par ex, classe 111 Forêts denses en 2015 restant 111 en 2020) : surface totale cumulée de feux pour ladite classe (en considérant qu'un pixel donné ne peut être classé qu'une fois en surface brûlée sur la période 2015-2020, afin de ne pas surestimer l'impact GES des feux), puis division par 5 pour avoir la surface annuelle moyenne des feux pour cette classe. Ces données d'activité sont ensuite utilisées pour estimer les émissions de CO<sub>2</sub> et des autres GES non-CO<sub>2</sub> ;
- Pour chaque *Land Use Change* entre 2015 et 2020 : surface totale cumulée de feux ayant touché la classe d'origine (Cf. parties 2.2 et 2.3. Par ex, si le LUC concerne le passage de 111 Forêts denses à 211 Cultures pluviales, savoir quelle surface de la classe 111 a été touchée par les feux avant de finir en classe 211. Là encore, un même pixel ne peut être classé qu'une fois en surface brûlée), puis division par 5 pour avoir la surface annuelle moyenne des feux pour le changement de classe considéré. Ces données d'activité sont utilisées pour estimer les seules émissions de GES non-CO<sub>2</sub> : les émissions de CO<sub>2</sub> sont en effet déjà estimées par la méthode « gain/perte » (Cf. Partie 1.2.2 Estimation des EF).

---

<sup>23</sup> <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>

<sup>24</sup> <https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/58f00d8814064b79a0c49662ad3af537/>

L'analyse des données de feux amène les constats suivants :

- L'estimation totale des surfaces brûlées est 20% supérieure pour FireCCI par rapport à FIRMS. L'analyse de la littérature ne nous ayant pas amené à identifier des faiblesses flagrantes pour l'un ou l'autre des jeux de données, et donc à privilégier l'un plutôt que l'autre, nous avons décidé d'utiliser la moyenne des surfaces estimées avec les deux jeux de données ;
- Les tendances entre les deux jeux de données sont assez similaires, tant en termes de répartition des feux entre les différents LU et LUC, qu'en termes d'occurrence des départs de feux chaque année. Sur ce dernier point, on constate que l'essentiel des feux se produit entre J300 (début novembre) et J60 (fin février), ce qui correspond grosso modo au début et au milieu de la saison sèche. En effet, la période de saison sèche varie légèrement selon les grandes zones écologiques, mais elle s'étend, en moyenne, de novembre à mai.

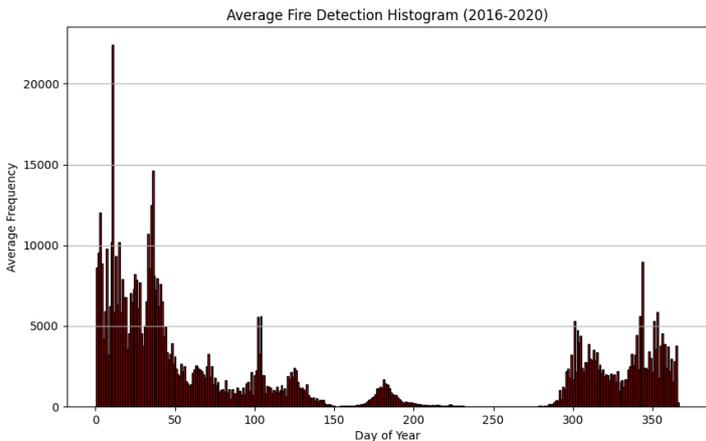


Figure 14 - Histogramme des départs de feu dans l'année, période 2016-2020 (auteurs, 2024 ; FIRMS, 2024)

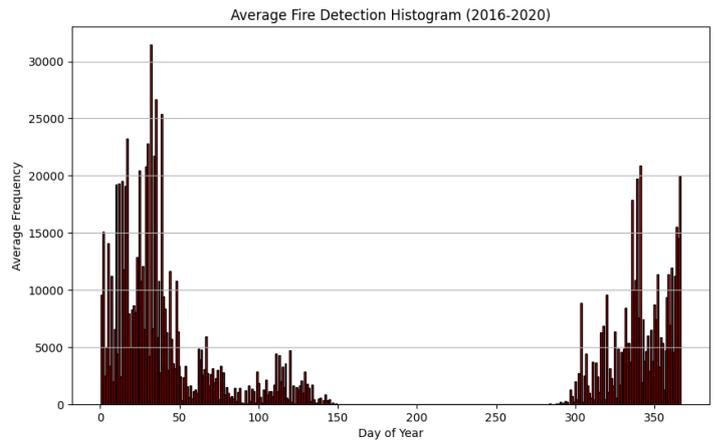


Figure 15 - Histogramme des départs de feu dans l'année, période 2016-2020 (auteurs, 2024 ; FirceCCI, 2024)

Il faut souligner que nos estimations des surfaces forestières brûlées actualisent totalement celles faites dans le NIR 2019 / BURi 2023 (MEDD, 2023a) : dans ce dernier document, on ne rapporte aucune surface forestière brûlée, alors notre estimation de surface forestière brûlée est de 1 127 010 ha/an sur 2015-2020.

Dans le tableau 49, p76 du BURi, on indique que les « savanes arborées /arbustives » (en différenciant les savanes sur sols argileux à haute activité cationique (*Highly Active Clay soils* - HAC) et des sols argileux à faible activité cationique (*Lowly Active Clay soils* - LAC) sont classées en « prairies » et on indique les surfaces brûlées suivantes :

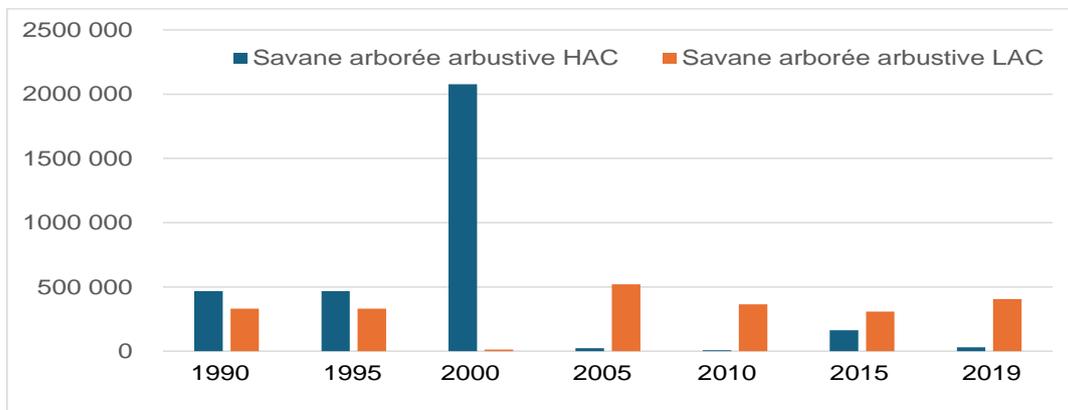


Figure 16 - Estimations des surfaces de savanes brûlées (en ha/an) entre 1990 et 2019 (MEDD, 2023a)

Outre le fait que ces surfaces de savanes brûlées auraient peut-être pu être rapportées sous les catégories prairies et forêts (en distinguant plus précisément les savanes avec < 10% de couvert arboré et classables en prairies, des savanes avec > 10% de couvert arboré et classables en forêts), les estimations des surfaces sont questionnables (forte hétérogénéité des valeurs dans le temps, avec notamment un pic élevé en 2000 ?).

Surtout, elles paraissent fortement sous-estimées : d'après le BURi, la surface de prairies brûlées (en ha/an, moyenne des 3 années documentées : 2015, 2018 et 2019) est de 420 000 ha. D'après nos estimations (en ha/an, moyenne des données FIRMS et FireCCI sur 5 ans, 2015 à 2020), la surface de prairies brûlées est trois fois supérieure (1 184 000 ha). Globalement, notre estimation de surface de prairies et forêts brûlées est six fois supérieure (2 650 000 ha/an) à la surface de prairies et forêts brûlées rapportée dans le BURi (NB : pas de surface de forêts brûlées rapportée dans le BURi).

### 1.3.5 Données relatives à la récolte de bois

D'après les données de production de bois 2015-2020 en Guinée, consultées sur FAOSTAT<sup>25</sup> et détaillées dans l'onglet « P° bois » du fichier Excel joint au présent rapport, la récolte s'élèverait à 18,2 Mm<sup>3</sup>/an et la quasi-totalité de la récolte (96%) serait du bois de feu.

Production de bois	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Moy 2015-2020
Bois de feu (m3/an - sous écorce)	12 231 215	12 266 165	12 302 556	12 340 396	12 379 696	12 420 467	12 323 416
Charbon (t/an)	388 320	395 907	403 642	411 528	419 569	427 766	407 789
Charbon* (m3/an - sous écorce)	2 718 240	2 771 349	2 825 494	2 880 696	2 936 983	2 994 362	2 854 521
Bois d'œuvre (m3/an - sous écorce)	651 000	651 000	651 000	651 000	651 000	651 000	651 000
TOTAL (m3/an - sous écorce)	15 600 455	15 688 514	15 779 050	15 872 092	15 967 679	16 065 829	15 828 937
TOTAL** (m3/an - sur écorce)	17 940 523	18 041 791	18 145 908	18 252 906	18 362 831	18 475 703	18 203 277
% de bois énergie	96 %	96 %	96 %	96 %	96 %	96 %	96 %
* Facteur de conversion m3 de bois sous écorce / t de charbon (FAO, 1983) : 7							
** Facteur de conversion bois sous vs sur écorce (G2006, Chap2, p17) : 1,15							

Figure 17 - Estimation de la récolte de bois en Guinée sur 2015-2020 (auteurs, 2024 ; FAOSTAT, 2024)

NB1 : Par bois de feu, nous englobons le bois collecté et utilisé pour les besoins de cuisson (i) soit en l'état, ce qui est le cas général en milieu rural enclavé, (ii) soit transformé en charbon, ce qui est le cas général en milieu urbain, voire chez certaines catégories de population en milieu rural (par ex, forgerons, restauratrices, etc.).

NB2 : les volumes de bois sous écorce ont été convertis en volumes de bois sur écorce en utilisant le facteur de conversion par défaut de 1,15 (G2006, Chap2, p17). Les volumes de charbon, exprimés en t, ont été convertis en m<sup>3</sup>, en utilisant un facteur de conversion usuel en Afrique de l'Ouest, de 7 m<sup>3</sup> de bois sous écorce pour 1 t de charbon (FAO, 1983)<sup>26</sup>.

D'après les projections de la Banque mondiale dans le cadre du programme « Perspective monde »<sup>27</sup>, la population guinéenne était estimée à 13 205 000 habitants en 2020. On peut sur cette base estimer la consommation de bois de feu (bois "brut" et charbon) à 1,38 m<sup>3</sup> (sur écorce) par an et par habitant, ce qui est cohérent avec les données estimées en Afrique de l'Ouest : « on peut évaluer les besoins énergétiques minimum pour la cuisson de la nourriture et le chauffage de l'eau à 6 à 10 GJ par personne et par an, soit de 0,5 à 1 m<sup>3</sup> de bois de feu [sous écorce, soit de 0,58 et 1,15 m<sup>3</sup> de bois de feu sur écorce] » (FAO, 1983).

A noter : l'estimation de récolte utilisée dans le BURi (MEDD, 2023a) est 10 fois moindre (1 868 772 vs 18 203 277 m<sup>3</sup>/an) que celle de FAOSTAT et utilisée dans le présent rapport.

<sup>25</sup> <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/FO>

<sup>26</sup> FAO, 1983. Techniques simples de carbonisation. Rome – FAO. Version en ligne : <https://www.fao.org/4/X5328f/x5328f00.htm#Contents>

<sup>27</sup>

<https://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMTendanceStatPays?codePays=GIN&codeStat=SP.POP.TOTL>

Faute d'avoir des données précises sur la récolte de bois de feu, nous nous sommes basés sur notre connaissance des pratiques locales en termes d'abattis, de récupération des bois après abattis et de collecte de bois hors abattis. On estime ainsi que le bois provient :

- En partie des terres cultivées [10,1% de la surface du pays, distribuée entre quatre classes : 211 - Cultures pluviales et jachères / 212 - Cultures pluviales sous couvert arboré / 221 - Vergers arboricultures / 222 - Palmeraies et palmiers naturels] et des savanes arbustives avec < 10% d'arbres [classe 50, 41,6% de la surface du pays].

Pour estimer la part de bois provenant de ces terres cultivées et des savanes arbustives, on peut raisonner par analogie avec le constat fait par le projet « Forêts naturelles et bois énergie au Sahel » (FONABES), mis en œuvre au Burkina Faso, Mali et Niger par le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD).

Ainsi, dans le cadre de l'élaboration du Schéma directeur d'approvisionnement en combustibles domestiques (SDACD) de Bamako, il a été estimé que le bassin d'approvisionnement (150 km de rayon) était constitué de savane arbustive qui occupent 48% des surfaces et représentent 48% de l'approvisionnement ; de surfaces agricoles qui occupent 30% des surfaces et représentent 24% de l'approvisionnement (CIRAD, 2017)<sup>28</sup>

Par analogie avec la SDACD de Bamako, on peut estimer que la part de biomasse récoltée est grosso modo équivalente aux surfaces des terres cultivées et savanes arbustives (10,1% + 41,6% = 51,7%), soit 9,4 Mm<sup>3</sup>/an sur un total de 18,2 Mm<sup>3</sup>/an de bois récolté.

- En partie des défrichements à vocation agricole. De façon générale, les paysans éliminent la plupart des arbres, soit en les abattant à la hache pour les diamètres petits à moyens, soit en les annelant pour les plus gros diamètres. Quelques arbres, trop difficiles à abattre ou jugés utiles peuvent subsister. Le but est de limiter la concurrence entre arbres et cultures pour l'accès à la lumière, à l'eau et aux nutriments (NB : on décrit ici les pratiques locales, sans jugement sur l'intérêt agronomique de cultiver avec ou sans couvert arboré).

Une partie de la biomasse au sol (houppiers et troncs trop larges pour être débités, le tout mélangé aux herbes et arbustes coupés) est brûlée sur place (pour apporter un flash de fertilité, en libérant rapidement des éléments minéraux), l'autre partie est récupérée en bois de feu (soit carbonisée sur place, dans une meule traditionnelle, s'il y a suffisamment de bois et transportée par sac ; soit transportée en l'état, après mise en fagot).

Faute d'avoir des données d'enquête permettant d'estimer la proportion de bois brûlée sur place vs récupérée, on fait l'hypothèse que cette proportion est de 50/50. En tenant compte des surfaces défrichées chaque année en forêts claires (30% ≤ d ≤ 70%. Classe 112) et en savane arborée (10% ≤ d ≤ 30%. Classe 118) et des stocks sur pied sur chacune de ces classes, on estime que ces défrichements génèrent 3,9 Mm<sup>3</sup>/an (21,4% du bois récolté).

- Pour le reste, des prélèvements sur les forêts restant forêts. La plupart des forêts (y compris celles faisant théoriquement l'objet de protection, telles les forêts classées ou les réserves naturelles) sont dégradées par la collecte de bois de feu. On peut estimer que le bois de feu qui n'est pas récolté dans les espaces non forestiers ou suite à des défrichements est prélevé dans les forêts restant forêts, en appliquant un taux de prélèvement au prorata de l'AGB de chaque classe forestière, faute d'avoir des données plus précises sur les taux de prélèvement dans chaque strate.

NB : Les émissions de GES autres que le CO<sub>2</sub> provenant de la combustion du bois de feu sont rapportées dans le secteur « Énergie » du NIR, car elles résultent de la combustion de la biomasse pour la production d'énergie. Elles ne doivent donc pas être prises en compte dans le secteur « LULUCF » du NIR.

---

<sup>28</sup> CIRAD, 2017. Gestion des forêts naturelles et approvisionnement durable en bois-énergie des villes du Sahel. Schéma directeur d'approvisionnement en combustibles domestiques de Bamako. Montpellier – CIRAD. 212p

## 2 Calculs et résultats

### 2.1 Calculs

#### 2.1.1 Emissions/absorptions de CO<sub>2</sub> si classe forestière stable

Neuf classes forestières sont concernées : 111 - Forêts denses ( $d \geq 70\%$ ) ; 112 - Forêts claires ( $30\% \leq d \leq 70\%$ ) ; 113 - Forêts galeries ; 114 - Mangroves ; 116 - Forêts dégradées, secondaires / de transition ; 117 - Plantations forestières ; 118 - Savane arborée  $10\% \leq d \leq 30\%$  ; 224 – Anacardiés ; 225 - Agroforêts et autres associations de cultures.

On utilise la méthode « *gain-perte* » décrite dans la section 4.2.1.4 (G2006 / Chap4 / p17) et décomposée en sept étapes (E) de calcul.

**E1** – Estimer les surfaces de la classe forestière considérée pour chacune des deux zones climatiques, *Tropical Moist* (TM) et *Tropical Wet* (TW).

**E2** – Estimer le gain de carbone ( $\Delta C_G$ ) pour chacune des 2 strates  $i$  de la classe forestière considérée (TM et TW) avec les Equations 2.9 et 2.10 (G2006 / Chap2 / p15) :  $\Delta C_{Gi} = A_i \times G_i \times (1 + R) \times CF$ , avec  $\Delta C_{Gi}$  = gain de C dans la strate  $i$  due à la croissance (en tC/an),  $G_i$  = accroissement annuel moyen de AGB dans la strate  $i$  (en  $t_{dm}/ha/an$ ),  $R$  = *Shoot-to-Root ratio* (sans unité) et  $CF$  = *Carbon Fraction* / fraction C de la biomasse sèche (en  $tC/t_{dm}$ )

Valeurs tier 1 pour  $G_i$  en forêts naturelles : Table 4.9 (G2019 / Chap4 / pp34-38)

Valeurs tier 1 pour  $G_i$  en plantations : Table 4.10 (G2019 / Chap4 / pp39-41)

Valeurs tier 1 pour  $R$  : Table 4.4 (G2019 / Chap4 / pp18-21)

Valeurs tier 1 pour  $CF$  : Table 4.3 (G2006 / Chap4 / p48)

**E3&4** (NB1 : on fusionne ces deux étapes car la récolte de bois d'œuvre et de bois de feu sont confondues. Cf. Partie 1.3.5 supra) – Estimer la perte de biomasse due à la récolte de bois ( $L_{wr}$ ) avec l'Equation 2.12 (G2006 / Chap2 / p17) :  $L_{wr} = H \times BCEF_R \times (1 + R) \times CF$ , avec  $H$  = récolte annuelle de bois (en  $m^3/an$ ),  $BCEF_R$  = facteur de conversion de la biomasse commerciale sur écorce en biomasse totale (en  $t_{dm}/m^3_{dm}$ ),  $R$  = *Shoot-to-Root ratio* (sans unité) et  $CF$  = fraction C de la biomasse sèche (en  $tC/t_{dm}$ )

Valeurs tier 1 pour  $BCEF_R$  : Table 4.5 (G2006 / Chap 4 / pp50-52)

Valeurs tier 2 pour  $H$  : nos estimations faites à partir des données FAOSTAT

**E5** (NB : on se focaliser sur les feux (Cf. Partie 1.3.4 supra). On utilise donc l'Equation 2.27, spécifique aux feux, plutôt que l'Equation 2.14, utilisée pour tous les types de perturbations) - Estimer les émissions de CO<sub>2</sub> dus aux feux avec l'Equation 2.27 (G2006 / Chap2 / p42) :  $L_{fire} = A \times M_b \times C_f \times G_{ef} / 1\ 000$ , avec  $A$  = Surface brûlée (en ha),  $M_b$  = Masse de biomasse brûlable (en  $t_{dm}/ha$ ),  $C_f$  = facteur de combustion (sans dimension),  $G_{ef}$  = facteur d'émission (en  $g/kg_{dm}$ ). NB : il faut bien penser à inclure seulement le CO<sub>2</sub> des GES considérés dans cette équation.

Valeurs tier 2 pour  $A$  : nos estimations faites à partir des données FIRMS et FireCCI

Valeurs tier 1 pour  $C_f$  : Table 2.6 (G2019 / Chap2 / pp55-56)

Valeurs tier 1 pour  $G_{ef}$  : Table 2.5 (G2019 / Chap2 / p54)

**E6** – Estimer la perte de carbone ( $\Delta C_L$ ) avec l'Equation 2.11 (G2006 / Chap2 / p16) :  $\Delta C_L = L_{roundwood} + L_{firewood} + L_{disturbance}$ .  $L_{roundwood} + L_{firewood}$  ont été estimés conjointement à l'étape 3&4. Quant à la perte de carbone due à  $L_{disturbance}$ , elle est incluse dans l'estimation des émissions de CO<sub>2</sub> dues faux feux.

**E7** – Estimer le changement de stock de carbone ( $\Delta C_B$ ) avec l'Equation 2.7 (G2006 / Chap2 / p12) :  $\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$ , avec  $\Delta C_B$  = changement annuel de stock de C dans AGB + BGB (en

tC/an),  $\Delta C_G$  = hausse du stock de C due à la croissance (en tC/an),  $\Delta C_L$  = baisse du stock de C due à la récolte (en tC/an).

### 2.1.2 Emissions/absorptions de CO2 si changement de classe

Cinq changements de classe sont concernés :

- Déforestation : 112 - Forêts claires (30% ≤ d ≤ 70%) ==> 211 - Cultures pluviales et jachères ; 118 - Savane arborée 10% ≤ d ≤ 30%) ==> 211 - Cultures pluviales et jachères ; 112 - Forêts claires (30% ≤ d ≤ 70%) ==> 50 - Formations arbustives (< 10% d'arbres) ; 118 - Savane arborée 10% ≤ d ≤ 30%) ==> 50 - Formations arbustives (< 10% d'arbres) ;
- Reforestation : 50 - Formations arbustives (< 10% d'arbres) ==> 118 - Savane arborée 10% ≤ d ≤ 30%)

On utilise la méthode « *changement de stock* » et l'Equation 2.16 décrite dans la section 2.3.1.2 (G2006 / Chap2 / p20) comme suit :

$\Delta C_{\text{Conversion}} = A_i \times (B_{\text{After}} - B_{\text{Before}}) \times CF$ , avec

$\Delta C_{\text{Conversion}}$  = perte de C due à la conversion (en tC),  $A_i$  = surface convertie (en ha/an),  $B$  = biomasse [dans nos calculs, pour les classes forestières seulement : AGB (en t<sub>dm</sub>/ha) x (1 + R) pour estimer AGD+BGB, avec R = Shoot-to-Root ratio (sans unité)] et CF = fraction C de la biomasse sèche (en tC/t<sub>dm</sub>)

Valeurs tier 2 pour AGB : nos estimations faites à partir des données ESA-CCI

Valeur tier 1 pour R : Table 4.4 (G2019 / Chap4 / pp18-21)

Valeurs tier 1 pour CF : Table 4.3 (G2006 / Chap 4 / p48)

### 2.1.3 Emissions de GES non-CO2 dues aux feux de forêt

On estime les émissions de GES autres que le CO<sub>2</sub> dues aux feux avec l'Equation 2.27 (G2006 / Chap2 / p42) :  $L_{\text{fire}} = A \times M_b \times C_f \times G_{\text{ef}} / 1\,000$ , avec  $A$  = Surface brûlée (en ha),  $M_b$  = Masse de biomasse brûlable (en t<sub>dm</sub>/ha),  $C_f$  = facteur de combustion (sans dimension),  $G_{\text{ef}}$  = facteur d'émission (en g/kg<sub>dm</sub>). NB : il faut bien penser à inclure seulement les GES autres que le CO<sub>2</sub> pour éviter tout double compte avec les émissions de CO<sub>2</sub> dues aux feux et précédemment estimées (Cf. Partie 2.1.1 supra).

Valeurs tier 2 pour  $A$  : nos estimations faites à partir des données FIRMS et FireCCI

Valeurs tier 1 pour  $C_f$  : Table 2.6 (G2019 / Chap2 / pp55-56)

Valeurs tier 1 pour  $G_{\text{ef}}$  : Table 2.5 (G2019 / Chap2 / pp54)

## 2.2 Résultats

### 2.2.1 Emissions/absorptions de CO2 si classe forestière stable

On présente ici les résultats détaillés pour 111 - Forêts denses (d ≥70%) restant 111. Les résultats détaillés pour les huit autres classes forestières stables sont disponibles dans le fichier Excel joint au présent rapport.

Estimer le gain de carbone ( $\Delta C_G$ ) avec les Equations 2.9 et 2.10 (G2006 V4 Ch2 p15) :  $\Delta C_{G_i} = A_i \times G_i \times (1 + R) \times CF$ , avec  $\Delta C_{G_i}$  = gain de C dans la strate  $i$  due à la croissance (en tC/an),  $G_i$  = accroissement annuel moyen de AGB dans la strate  $i$  (en t<sub>dm</sub>/ha/an),  $R$  = Shoot-to-Root ratio (sans dimension) et  $CF$  = fraction C de la biomasse sèche (en tC/t<sub>dm</sub>)

	TW		TM	
Valeur $A_i$ : Onglets "Wet" et "Moist"	Valeur	Unité	Valeur	Unité
Valeurs tier 1 pour $G_i$ forêts nat. : Table 4.9 (G2019 V4 Ch4 p34)	89 282	ha	44 148	ha
Valeurs tier 1 pour $R$ : Table 4.4 (G2019 V4 Ch4 p18)	3,5	tdm/ha/an	0,9	tdm/ha/an
Valeurs tier 1 pour $CF$ : Table 4.3 (G2006 V4 Ch4 p48)	0,532	sans dim.	0,232	sans dim.
	0,47	tC/tdm	0,47	tC/tdm

**Valeur  $\Delta C_{gi}$  : Calculs - 825 008 tCO<sub>2</sub>/an - 84 359 tCO<sub>2</sub>/an**

Estimer la perte de biomasse due à la récolte de bois ( $L_{wr}$ ) avec l'Equation 2.12 (G2006 V4 Ch2 p17) :  $L_{wr} = H \times BCEF_R \times (1 + R) \times CF$ , avec  $H$  = récolte annuelle de bois (en m<sup>3</sup>/an),  $BCEF_R$  = facteur de conversion de la biomasse commerciale sous écorce en biomasse totale (en t<sub>dm</sub>/m<sup>3</sup><sub>dm</sub>),  $R$  = *Shoot-to-Root ratio* (sans unité) et  $CF$  = *Carbon Fraction* / fraction C de la biomasse sèche (en tC/t<sub>dm</sub>)

	TW		TM	
	Valeur	Unité	Valeur	Unité
Valeur $H_i$ : onglet "P° bois"	506 657	m3/an	81 877	m3/an
Valeurs tier 1 pour $BCEF_{R_i}$ en forêts naturelles : onglet "BCEFR"	0,78	tdm/m3	0,78	tdm/m3
Valeurs tier 1 pour $R$ : Table 4.4 (G2019 V4 Ch4 p18)	0,532	sans dim.	0,232	sans dim.
Valeurs tier 1 pour $CF$ : Table 4.3 (G2006 V4 Ch4 p48)	0,47	tC/tdm	0,47	tC/tdm
<b>Valeur <math>L_{wr}</math> : Calculs</b>	<b>1 040 393</b>	<b>tCO<sub>2</sub>/an</b>	<b>135 207</b>	<b>tCO<sub>2</sub>/an</b>

Estimer les émissions de CO<sub>2</sub> dus aux feux avec l'Equation 2.27 (G2006 V4 Ch2 p42) :  $L_{fire} = A \times M_b \times C_f \times G_{ef} / 1\ 000$ , avec  $A$  = Surface brûlée (en ha),  $M_b$  = Masse de biomasse brûlable (en t<sub>dm</sub>/ha),  $C_f$  = facteur de combustion (sans dimension),  $G_{ef}$  = facteur d'émission (en g/kg<sub>dm</sub>). NB : il faut bien penser à inclure seulement le CO<sub>2</sub> des GES considérés dans cette équation.

	TW		TM	
	Valeur	Unité	Valeur	Unité
Valeur $A_i$ : Onglets "Feux", "Wet" et "Moist"	424	ha	2 814	ha
Valeurs tier 2 pour $M_b$ : onglet "Biomasse"	221,8	tdm/ha	157,0	tdm/ha
Valeurs tier 1 pour $C_f$ : Table 2.6 (G2019 V4 Ch2 p55)	0,55	sans dim.	0,55	sans dim.
Valeurs tier 1 pour $G_{ef}$ : Table 2.5 (G2019 V4 Ch2 p54)	1 580	gCO <sub>2</sub> /kgdm	1 580	gCO <sub>2</sub> /kgdm
<b>Valeur <math>L_{fire}</math> : Calculs</b>	<b>81 801</b>	<b>tCO<sub>2</sub>/an</b>	<b>383 973</b>	<b>tCO<sub>2</sub>/an</b>

Estimer la perte de carbone ( $\Delta C_L$ ) avec l'Equation 2.11 (G2006 V4 Ch2 p16) :  $\Delta C_L = L_{roundwood} + L_{firewood} + L_{disturbance}$ .  $L_{roundwood} + L_{firewood}$  ont été estimés conjointement à l'étape 3&4. Quant à la perte de carbone due à  $L_{disturbance}$ , elle est incluse dans l'estimation des émissions de CO<sub>2</sub> dues faux feux

	TW		TM	
	Valeur	Unité	Valeur	Unité
<b>Valeur <math>\Delta C_L</math> : Calculs</b>	<b>1 122 194</b>	<b>tCO<sub>2</sub>/an</b>	<b>519 180</b>	<b>tCO<sub>2</sub>/an</b>

Estimer le changement de stock de carbone ( $\Delta C_B$ ) avec l'Equation 2.7 (G2006 V4 Ch2 p12) :  $\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$ , avec  $\Delta C_B$  = changement annuel de stock de C dans AGB + BGB (en tC/an),  $\Delta C_G$  = hausse du stock de C due à la croissance (en tC/an),  $\Delta C_L$  = baisse du stock de C due à la récolte (en tC/an).

	TW		TM	
	Valeur	Unité	Valeur	Unité
<b>Bilan total : Calculs</b>	<b>297 186</b>	<b>tCO<sub>2</sub>/an</b>	<b>434 820</b>	<b>tCO<sub>2</sub>/an</b>

## 2.2.2 Emissions/absorptions de CO<sub>2</sub> si changement de classe

On présente ici les résultats détaillés pour 112 - Forêts claires (30% ≤ d ≤ 70%) ==> 211 - Cultures pluviales et jachères. Les résultats détaillés pour les quatre autres changements de classe sont disponibles dans le fichier Excel joint au présent rapport.

$\Delta C_{Conversion} = A_i \times (B_{After} - B_{Before}) \times CF$ , avec  $A_i$  = surface convertie (en ha/an),  $\Delta C_{Conversion}$  = perte de C due à la conversion (en tC/an),  $B$  = biomasse [dans nos calculs, pour les classes forestières seulement : AGB (en t<sub>dm</sub>/ha/an) × (1 + R) pour estimer AGD+BGB, avec R = Shoot-to-Root ratio (sans unité)] et  $CF$  = fraction C de la biomasse sèche (en tC/t<sub>dm</sub>)

	TW		TM	
	Valeur	Unité	Valeur	Unité
Valeur $A_i$ : Onglets "Wet" et "Moist"	1 012	ha/an	97 011	ha/an
Valeurs tier 2 pour AGB – 112 : Onglet "Biomasse"	41,0	tdm/ha	40,9	tdm/ha
Valeurs tier 2 pour AGB – 211 : Onglet "Biomasse"	32,7	tdm/ha	11,1	tdm/ha
Valeurs tier 1 pour $R$ : Table 4.4 (G2019 V4 Ch4 p18)	0,825	sans dim.	0,232	sans dim.
Valeurs tier 1 pour $CF$ : Table 4.3 (G2006 V4 Ch4 p48)	0,47	tC/tdm	0,47	tC/tdm
<b>Valeur <math>\Delta C_{Conversion}</math> : Calculs</b>	<b>73 387</b>	<b>tCO<sub>2</sub>/an</b>	<b>6 562 893</b>	<b>tCO<sub>2</sub>/an</b>

## 2.2.3 Emissions de GES non-CO<sub>2</sub> dues aux feux

$L_{fire} = A \times M_b \times C_f \times G_{ef} / 1\ 000$ , avec  $A$  = Surface brûlée (en ha),  $M_b$  = Masse de biomasse brûlable (en t<sub>dm</sub>/ha),  $C_f$  = facteur de combustion (sans dimension),  $G_{ef}$  = facteur d'émission (en g/kg<sub>dm</sub>). NB : il faut bien penser à inclure seulement les GES autres que le CO<sub>2</sub> pour éviter tout

double compte avec les émissions de CO<sub>2</sub> dues aux feux et précédemment estimées (Cf. Partie 2.1.1 supra).

Valeurs tier 2 pour A : nos estimations faites à partir des données FIRMS et FireCCI

	Valeur	Unité
Valeurs tier 1 pour Cf : Table 2.6 (G2019 V4 Ch2 p55)		
Savane arborée / Feux de début & milieu de saison sèche	0,40	sans dim.
Toutes forêts tropicales secondaires	0,55	sans dim.
Valeurs tier 1 pour Gef : Table 2.5 (G2019 V4 Ch2 p54)		
Savane et prairie - CH4	2,3	g/kgdm
Savane et prairie - N2O	0,21	g/kgdm
Forêt tropicale - CH4	6,8	g/kgdm
Forêt tropicale - N2O	0,2	g/kgdm
Valeurs de PRG à 100 ans : Table 7.15 (AR6-2021 WG1 Ch7 p95)		
CH4 (non fossile)	27	tCO2/tCH4
N2O	273	tCO2/tN2O

LU / LUC	A TW (ha)	A TM (ha)	Mb TW (tdm/ha)	Mb TM (tdm/ha)	Emissions non-CO2 (teqCO2/an)	Comm
111 <sup>2</sup>	424	2 814	221,8	157,0	70 220	Statut : Forêt tropicale
112 <sup>2</sup>	1 163	198 783	39,8	40,1	383 143	Statut : Savane et prairie
113 <sup>2</sup>	977	43 254	55,6	33,3	71 369	Statut : Savane et prairie
114 <sup>2</sup>	114	-	38,7	58,1	580	Statut : Forêt tropicale
116 <sup>2</sup>	1 199	11 755	114,9	95,5	120 040	Statut : Savane et prairie
117 <sup>2</sup>	176	4 480	116,9	80,3	36 226	Statut : Savane et prairie
118 <sup>2</sup>	5 429	535 588	49,4	27,0	703 004	Statut : Savane et prairie
224 <sup>2</sup>	13	3 250	83,5	19,2	6 035	Statut : Savane et prairie
225 <sup>2</sup>	1 803	4 742	74,8	46,4	33 833	Statut : Savane et prairie
112-211	15	11 951	41,0	40,9	46 581	Statut : Savane et prairie
118-211	74	37 225	50,2	27,9	99 246	Statut : Savane et prairie
112-50	-	2 450	41,0	40,9	9 536	Statut : Savane et prairie
118-50	62	7 570	50,2	27,9	20 406	Statut : Savane et prairie
50-118	3 723	3 723	29,2	18,3	8 460	Statut : Savane et prairie
				<b>TOTAL</b>	<b>1 608 679</b>	

## 2.2.4 Bilan global

Les estimations d'absorptions de CO<sub>2</sub> (en vert) et d'émissions de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O (en rouge) sont récapitulées ci-dessous, pour chaque LU / LUC et chaque poste d'émission/absorption :

Bilan GES (en teqCO <sub>2</sub> /an)		Absorptions de CO <sub>2</sub> due à l'accroissement	Absorptions de CO <sub>2</sub> due à la reforestation	Emissions de CO <sub>2</sub> due à la récolte de bois	Emissions de CO <sub>2</sub> dues aux feux	Emissions de GES non-CO <sub>2</sub> dues aux feux	Emissions de CO <sub>2</sub> dues à la déforestation	TOTAUX
111 <sup>2</sup>	Forêts denses (d ≥70%)	-909 367		1 175 600	465 774	70 220		802 226
112 <sup>2</sup>	Forêts claires (30% ≤ d ≤ 70%)	-4 479 417		3 472 558	5 174 664	383 143		4 550 948
113 <sup>2</sup>	Forêts galeries	-1 047 310		767 363	963 896	71 369		755 318
114 <sup>2</sup>	Mangroves	-601 330		279 585	3 846	580		-317 319
116 <sup>2</sup>	Forêts dégradées / de transition	-860 829		1 319 345	812 867	120 040		1 391 423
117 <sup>2</sup>	Plantations forestières	-1 426 381		305 828	245 311	36 226		-839 015
118 <sup>2</sup>	Savane arborée (10% ≤ d ≤ 30%)	-13 940 883		11 798 297	9 494 642	703 004		8 055 060
224 <sup>2</sup>	Anacardiés	-1 993 262		234 672	40 864	6 035		-1 711 691
225 <sup>2</sup>	Agroforêts et asso. culturales	-945 861		1 542 016	229 103	33 833		859 090
112-211	Forêts claires ==> Cultures pluviales					46 581	6 636 280	6 682 861
118-211	Savane arborée ==> Cultures pluviales					99 246	14 467 555	14 566 802
112-50	Forêts claires ==> Formations arbustives					9 536	1 245 131	1 254 667
118-50	Savane arborée ==> Formations arbustives					20 406	2 428 840	2 449 245
50-118	Formations arbustives ==> Savane arborée		-816 577			8 460		-808 117
<b>TOTAUX</b>		<b>-26 204 640</b>	<b>-816 577</b>	<b>20 895 264</b>	<b>17 430 966</b>	<b>1 608 679</b>	<b>24 777 806</b>	<b>37 691 498</b>

Figure 18 – Estimations (en teqCO<sub>2</sub>/an) des émissions/absorptions de GES pour chaque LU / LUC (auteurs, 2024)

On additionne maintenant les valeurs absolues de toutes ces estimations afin de calculer les pourcentages respectifs de chaque LU /LUC et chaque poste d'émission/absorption dans le bilan GES total :

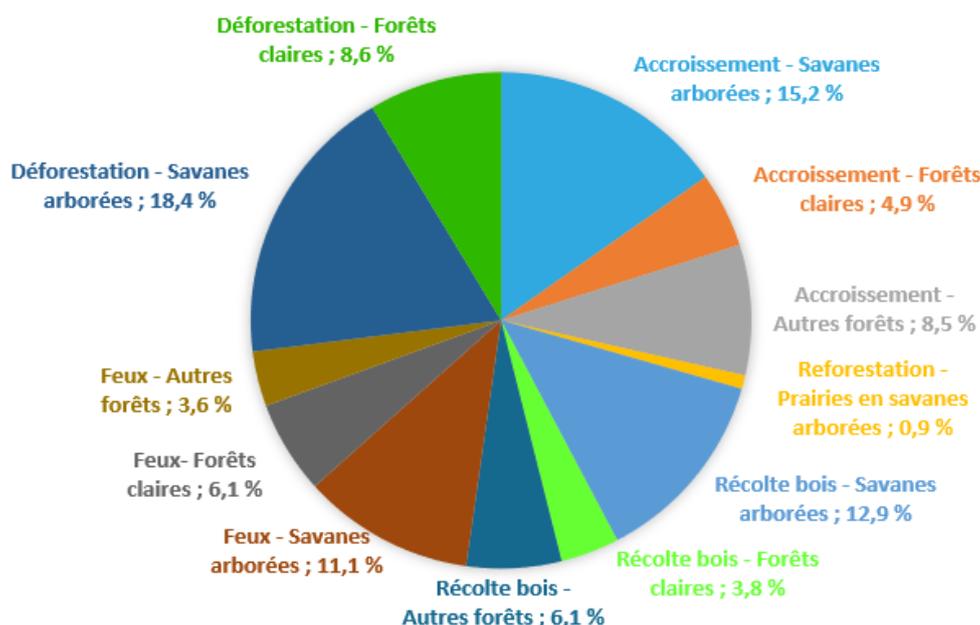


Figure 19 - Estimations (en %) des émissions/absorptions de GES pour chaque LU / LUC (auteurs, 2024)

Les émissions des GES sont principalement dues à la déforestation (27% du bilan), à la récolte de bois (23%) et aux feux (20%), et constituent globalement 70% du bilan.

Les absorptions sont principalement dues à l'accroissement des forêts (29% du bilan) - marginalement à la reforestation (1%) - et constituent globalement 30% du bilan.

Les estimations diffèrent considérablement de celles faites dans le NIR 2019 / BURi 2023 : le secteur forestier est globalement une source notable de GES (37,7 MteCO<sub>2</sub>/an) alors qu'il était présenté comme un puits de GES (-12,5 MteqCO<sub>2</sub>/an) dans le NIR 2019.

<b>Bilan GES (en teqCO<sub>2</sub>/an)</b>	<b>NIR 2019 / BURi 2023</b>	<b>Auteurs 2024</b>
<b>3.B.1 - Terres forestières</b>	<b>-12 545 809</b>	<b>11 305 013</b>
<b>3.B.1.a - Terres forestières restant terres forestières</b>	<b>-12 535 092</b>	<b>12 121 591</b>
<b>3.B.1.b - Terres converties en terres forestières</b>	<b>-10 717</b>	<b>-816 577</b>
3.B.1.b.i - Terres cultivées converties en terres forestières		
3.B.1.b.ii - Prairies converties en terres forestières	-10 717	-816 577
3.B.1.b.iii - Zones humides converties en terres forestières		
3.B.1.b.iv - Etablissements convertis en terres forestières		
3.B.1.b.v - Autres terres converties en terres forestières		
<b>3.B.2 - Terres cultivées</b>	<b>23 626</b>	<b>21 103 835</b>
<b>3.B.2.a - Terres cultivées restant terres cultivées</b>		
<b>3.B.2.b - Terres converties en terres cultivées</b>	<b>23 626</b>	<b>21 103 835</b>
3.B.2.b.i - Terres forestières converties en terres cultivées	23 626	21 103 835
3.B.2.b.ii - Prairies converties en terres cultivées		
3.B.2.b.iii - Zos humides converties en terres cultivées		
3.B.2.b.iv - Etablissements convertis en terres cultivées		
3.B.2.b.v - Autres terres converties en terres cultivées		
<b>3.B.3 - Prairies</b>		<b>3 673 970</b>
<b>3.B.3.a - Prairies restant prairies</b>		
<b>3.B.3.b - Terres converties en prairies</b>		<b>3 673 970</b>
3.B.3.b.i - Terres forestières converties en prairies		3 673 970
3.B.3.b.ii - Terres cultivées converties en prairies		
3.B.3.b.iii - Zones humides converties en prairies		
3.B.3.b.iv - Etablissements convertis en prairies		
3.B.3.b.v - Autres terres converties en prairies		
<b>3.C.1 - Emissions non-CO<sub>2</sub> / biomasse</b>	<b>50 810</b>	<b>1 608 679</b>
<b>3.C.1.a - Brûlage de biomasse dans les terres forestières</b>		<b>1 608 679</b>
<b>3.C.1.b - Brûlage de biomasse dans les terres cultivées</b>		
<b>3.C.1.c - Brûlage de biomasse dans les prairies</b>	<b>50 810</b>	
<b>3.C.1.d - Brûlage de biomasse dans les autres terres</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>-12 471 373</b>	<b>37 691 498</b>

Figure 20 – Comparaison du NIR 2019 / BURi 2023 et du NIR 2015-2020 révisé (MEDD, 2023a ; auteurs, 2024)

Ceci s'explique par plusieurs raisons principales si on analyse le tableau récapitulatif du NIR :

- 3.B.1 Terres forestières : La récolte de bois est très sous-estimée dans le NIR 2019 (facteur 1 à 10 avec les données FAOSTAT), ce qui conduit à conclure sur l'existence d'un puits (-12,5 MteqCO<sub>2</sub>/an) alors que les forêts guinéennes sont globalement surexploitées et dégradées, d'où le fait que le secteur 3.B.1 est une source notable (11,3 MteqCO<sub>2</sub>/an).
- 3.B.2 Terres cultivées : les données de déforestation utilisées dans le NIR 2019 sont très faibles et les feux de forêts y sont considérés comme nuls ce qui conduit à estimer des émissions marginales dues aux défrichements agricoles (0,02 MteqCO<sub>2</sub>/an). Nos estimations des surfaces déforestées et incendiées nous amènent à revoir complètement ces estimations et à conclure sur le fait que le secteur 3.B.2 est une source importante (21,1 MteqCO<sub>2</sub>/an, soit près de 900 fois l'estimation faite dans le NIR 2019) ;
- 3.B.3 Prairies : comme expliqué précédemment, nos estimations des surfaces déforestées et incendiées nous amènent à revoir complètement ces estimations et à conclure sur le fait que le secteur 3.B.3 est une source (3,7 MteqCO<sub>2</sub>/an vs 0 dans le NIR 2019) ;
- 3.C.1 Emissions non-CO<sub>2</sub> dues à la biomasse : Les feux sont globalement très sous-estimés dans le NIR 2019 et il est de surcroît considéré que ces feux ne touchent que les prairies et pas les forêts. Là encore, nos estimations des surfaces incendiées nous amènent à revoir complètement ces estimations et à conclure sur le fait que le secteur 3.C.1 est une source (1,6 MteqCO<sub>2</sub>/an vs 0 dans le NIR 2019) ;

### 2.2.5 Calcul des incertitudes

Nous avons calculé les incertitudes sur les 6 principales catégories-clefs du bilan GES global. Ci-dessous sont présentés pour illustration les calculs d'incertitudes liés à l'accroissement / à la récolte de bois / aux feux concernant la classe 118 - Savanes arborées (Cf. fichier Excel joint au présent rapport pour le détail) :

Mise en place du SNSF en République de Guinée – D2.3 - Rapport sur l'estimation préliminaire des émissions/absorptions de gaz à effet de serre (GES) du secteur forestier en Guinée

Estimer le gain de carbone ( $\Delta C_G$ ) avec les Equations 2.9 et 2.10 (G2006 V4 Ch2 p15) :  $\Delta C_{Gi} = A_i \times G_i \times (1 + R) \times CF$ , avec  $\Delta C_{Gi}$  = gain de C dans la strate  $i$  due à la croissance (en tC/an),  $G_i$  = accroissement annuel moyen de AGB dans la strate  $i$  (en t<sub>dm</sub>/ha/an),  $R$  = Shoot-to-Root ratio (sans dimension) et  $CF$  = fraction C de la biomasse sèche (en tC/t<sub>dm</sub>)

	TW				TM				
	Valeur	Unité	Incert.	Incert. Rev	Valeur	Unité	Incert.	Incert. Rev	
Valeur $A_i$ : Onglets "Wet" et "Moist"	260 243	ha	26 %	26 %	5 796 520	ha	4 %	4 %	
Valeurs tier 1 pour $G_i$ en forêts naturelles : Table 4.9 (G2019 V4 Ch4 p34)	3,5	tdm/ha/an	3,3 (SD)	94 %	0,9	tdm/ha/an	0,7 (SD)	78 %	
Valeurs tier 1 pour $R$ : Table 4.4 (G2019 V4 Ch4 p18)	0,825	sans dim.	+/-90%	90 %	0,232	sans dim.	+/-90%	90 %	
Valeurs tier 1 pour $CF$ : Table 4.3 (G2006 V4 Ch4 p48)	0,47	tC/tdm	0,44-0,49	5 %	0,47	tC/tdm	0,44-0,49	5 %	
Valeur $\Delta C_{Gi}$ : Calculs	- 2 864 706	tCO2/an			- 11 076 177	tCO2/an			
Incertitude à estimer : $B4*(B5+B5*B6)*B7*44/12$ Pour TW				Pour TM					
Incertitude $B5*B6$				130 %	119 %				
Incertitude $B5+B5*B6$				78 %	67 %				
Incertitude $B4*(B5+B5*B6)*B7$				83 %	67 %				
Incertitude pour TW + TM				56 %					

Estimer la perte de biomasse due à la récolte de bois ( $L_{wr}$ ) avec l'Equation 2.12 (G2006 V4 Ch2 p17) :  $L_{wr} = H \times BCEF_R \times (1 + R) \times CF$ , avec  $H$  = récolte annuelle de bois (en m<sup>3</sup>/an),  $BCEF_R$  = facteur de conversion de la biomasse commerciale sous écorce en biomasse totale (en t<sub>dm</sub>/m<sup>3</sup><sub>dm</sub>),  $R$  = Shoot-to-Root ratio (sans unité) et  $CF$  = Carbon Fraction / fraction C de la biomasse sèche (en tC/t<sub>dm</sub>)

	TW				TM				
	Valeur	Unité	Incert.	Incert. Rev	Valeur	Unité	Incert.	Incert. Rev	
Valeur $H_i$ : onglet "P° bois"	152 825	m3/an		50 %	1 891 851	m3/an		50 %	
Valeurs tier 1 pour $BCEF_R$ en forêts naturelles : onglet "BCEF"	1,33	tdm/m3	n/a	50 %	2,78	tdm/m3	n/a	50 %	
Valeurs tier 1 pour $R$ : Table 4.4 (G2019 V4 Ch4 p18)	0,825	sans dim.	+/-90%	90 %	0,232	sans dim.	+/-90%	90 %	
Valeurs tier 1 pour $CF$ : Table 4.3 (G2006 V4 Ch4 p48)	0,47	tC/tdm	0,44-0,49	5 %	0,47	tC/tdm	0,44-0,49	5 %	
Valeur $L_{wr}$ : Calculs	640 862	tCO2/an			11 157 435	tCO2/an			
Incertitude à estimer : $B19*(B20+B20*B21)*B22*44/12$ Pour TW				Pour TM					
Incertitude $B20*B21$				103 %	103 %				
Incertitude $B20+B20*B21$				54 %	45 %				
Incertitude $B19*(B20+B20*B21)*B22$				74 %	67 %				
Incertitude pour TW + TM				64 %					

Estimer les émissions de CO<sub>2</sub> dus aux feux avec l'Equation 2.27 (G2006 / Chap2 / p42) :  $L_{fire} = A \times M_b \times C_f \times G_{ef} / 1 000$ , avec  $A$  = Surface brûlée (en ha),  $M_b$  = Masse de biomasse brûlable (en t<sub>dm</sub>/ha),  $C_f$  = facteur de combustion (sans dimension),  $G_{ef}$  = facteur d'émission (en g/kg<sub>dm</sub>). NB : il faut bien penser à inclure seulement le CO<sub>2</sub> des GES considérés dans cette équation.

	TW				TM				
	Valeur	Unité	Incert.	Incert. Rev	Valeur	Unité	Incert.	Incert. Rev	
Valeur $A_i$ : Onglets "Feux", "Wet" et "Moist"	5 429	ha		50 %	535 588	ha		50 %	
Valeurs tier 2 pour $M_b$ : onglet "Biomasse"	49,4	tdm/ha	43,8 (STD)	89 %	27,0	tdm/ha	31,3 (STD)	116 %	
Valeurs tier 1 pour $C_f$ : Table 2.6 (G2019 V4 Ch2 p56)	0,40	sans dim.	0,22 (SD)	55 %	0,40	sans dim.	0,22 (SD)	55 %	
Valeurs tier 1 pour $G_{ef}$ : Table 2.5 (G2019 V4 Ch2 p54)	1 613	gCO2/kgdm	+/-95	95 %	1 613	gCO2/kgdm	+/-95	95 %	
Valeur $L_{fire}$ : Calculs	172 987	tCO2/an			9 321 656	tCO2/an			
Incertitude à estimer : $B34*B35*B36*B37$ Pour TW				Pour TM					
Incertitude pour TW + TM				150 %	167 %				
Incertitude pour TW + TM				164 %					

Figure 21 - Calculs d'incertitudes liés à l'accroissement / à la récolte / aux feux - Classe 118 (auteurs, 2024)

Globalement - et en toute logique étant donné que nous avons principalement utilisé des données de tier 1 pour les facteurs d'émission et également été obligé d'attribuer des taux d'incertitude conservatifs de 50% sur certains facteurs d'émission et données d'activité, les taux d'incertitude sont élevés.

Catégorie (LULUC et poste d'émission/absorption)		Bilan GES (teqCO2/an)	Incertitude
118-211	Savanes arborées ==> Cultures pluviales / Déforestation	14 467 555	82,1 %
118 <sup>2</sup>	Savanes arborées / Accroissement	-13 940 883	56,1 %
118 <sup>2</sup>	Savanes arborées / Récolte de bois	11 798 297	63,9 %
118 <sup>2</sup>	Savanes arborées / Feux	9 494 642	164,3 %
112-50	Forêts claires ==> Cultures pluviales / Déforestation	6 682 861	67,5 %
112 <sup>2</sup>	Forêts claires / Feux	5 174 664	148,7 %
		<b>Incertitude sur la somme</b>	<b>71,6 %</b>

Figure 22 - Taux d'incertitude sur les 6 principales catégories-clefs du bilan GES global (auteurs, 2024)

## Annexe 1 - Détails des classes d'utilisation des terres

On présente ici les classes d'utilisation des terres utilisées dans le présent rapport, pour 3 des 6 grands catégories GIEC (**1 FORET, 2 CULTURES, 5 PRAIRIES**. Les autres catégories 3 Zones humides, 4 Infrastructures, 6 Autres nous importent moins). Chaque classe est identifiée par un code niveau 2 ERP, auquel correspond un ou plusieurs codes ZAEG.

### **1 FORET**

#### **111 Forêts denses (ZAEG : 311)**



Formation arborée fermée avec des arbres ayant un recouvrement > 70 % et des hauteurs supérieures à 5m. Les cimes sont relativement jointives, l'ensemble du couvert demeurant dense. En Guinée, la forêt dense sera réservée principalement aux Forêts sacrées et certaines forêts classées dont les formations arborées ne seront pas ou très peu dégradées

#### **112 Forêts claires (ZAEG : 312)**



Peuplements plus ou moins fermé avec des arbres ayant un recouvrement > 30 % mais inférieur à 70 %. La cime des arbres n'est pas jointive. La strate graminéenne parfois peu dense ou en mélange avec une autre végétation herbacée peut être présente notamment à partir du domaine nord Guinéen. Les forêts claires sont principalement présentes au Centre et Nord de la Guinée.

#### **113 Forêts galeries (ZAEG : 313)**



Toute formation forestière tributaire de cours d'eau : cordons arborés le long des cours d'eau à écoulement temporaire ou permanent et galeries forestières semi décidues. Souvent associées aux zones inondables. Pas de difficulté majeure pour identifier cette classe.

### 114 Mangrove (ZAEG : 314)



La mangrove se développe sur le littoral dans des zones calmes et peu profondes. Elle correspond à une formation arborée basse halophile implantée dans les vasières de la zone de balancement des marées. Les mangroves de Guinée sont dominées par deux espèces de palétuvier, il s'agit du palétuvier (*Rhizophora sp.*) en front de mer et en bordure des chenaux et à l'arrière du palétuvier (*Avicennia sp.*). Les mangroves et les arrières mangroves sont incluses dans cette classe.

### 115 Forêt marécageuse (ZAEG : 315)



Formation naturelle et semi-naturelle arborée et arbustive (hauteur supérieure à 5m et une densité >30%) se développant sur des sols en permanence ou temporairement saturés par de l'eau stagnante une grande majorité de l'année. La composition floristique sera constituée de ligneux pouvant être souvent associés à des palmiers naturels, l'ensemble se développant dans des conditions hydromorphe. Les forêts de bambou sont incluses dans cette classe.

### 116 Forêt dégradée / secondaire / forêt de transition (ZAEG : 323)



Formation d'une hauteur supérieure à 5m et d'une densité >30% mais < 70%, résultant souvent d'une dégradation d'une forêt naturelle ou d'une régénération vers un stade forestier. Les houppiers de la strate arborée ne sont plus jointifs mais restent encore importants et sont encore constitués d'espèces arborées naturelles locales (endémiques). Cette classe est présente dans certain cas particulier proche des grands massifs forestiers en Guinée forestière. Très vite en remontant vers le Nord de la Guinée, ces formations arborées disparaissent et sont remplacées par les formations de savane. Les forêts secondaires, les forêts dégradées sont incluses dans cette classe.

### 117 Plantations forestières (ZAEG : 318)



Les grandes plantations mono-spécifiques forestières sont incluses dans cette classe tels que *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, *Acacia sp.*, *Eucalyptus sp.*, *Pinus sp.*, etc.).

### 118 Savanes boisées et arborées (ZAEG : 323)



Cette classe se caractérise par une strate arborée et arbustive disséminée parmi le tapis herbacé continu et des hauteurs d'arbres variables mais toujours  $\geq$  à 5m. On considère que la strate arborée doit être supérieure à 10% mais inférieure à 30%. Cette formation arborée et arbustive comporte une strate graminéenne continue d'au moins 80 cm de hauteur.

L'analyse du contexte biogéographique et la connaissance terrain permettent généralement une bonne identification des savanes. La savane a différents aspects sur les images satellite car cela dépend du socle géologique, des conditions édaphiques mais surtout de la densité du couvert végétal et de sa phénologie. On y retrouve des espèces végétales sempervirentes, décidues et semi-décidues ce qui peut rendre l'appréciation de la strate arborée plus délicate en saison sèche. Les zones incendiées rencontrées dans les formations de savane sont classées en savane.

## 2 CULTURES

### 211 Cultures annuelles sans couvert arboré (ZAEG : 211 / 212 / 213 / 214))



Cultures pluviales et jachères (ZAEG : 211) (céréales, légumineuses, cultures fourragères, plantes sarclées et jachères). Ce sont des surfaces cultivées, régulièrement labourées et généralement incluses dans un assolement. Les jeunes jachères sont regroupées dans cette classe lorsque l'image permet d'identifier encore le parcellaire et sa forme géométrique. Les cultures dominantes incluses dans cette catégorie comprennent le riz pluvial, le manioc, le fonio, la patate douce...



Cultures de bas fond (ZAEG : 212). Elles se situent dans des dépressions.



Cultures de plaine d'eau douce (ZAEG : 213). On y retrouve essentiellement des cultures de riz inondées. Ces surfaces de cultures se localisent le long des grands cours d'eau et généralement suivent le lit majeur ou la zone inondable. Attention à ne pas confondre au niveau des estuaires avec une interface continentale océanique avec la classe cultures de plaine de mangroves.



Cultures de plaine de mangroves (ZAEG : 214). Culture se situant proche du littoral dans les îlots de mangrove. On y cultive du riz de mangrove, appelé « Bora Malé ». Cette variété de riz est résistante au sel. Ces zones se trouvent à proximité du littoral, dans les plaines, les îles et les estuaires inférieurs.

## 212 Cultures pluviales et jachères sous couvert arborée (ZAEG : 243)



Cultures pluviales et jachères sous couvert arboré composé d'espèces forestières. L'ensemble de la couverture arborée doit dépasser 10%-15% de la surface totale. Cette classe comprend aussi un mélange d'espèces forestières (par ex *Acacia sp.*) et d'espèces fruitières à condition que ces dernières ne représentent pas plus de 25% des espèces arborées. Les formes géométriques des cultures sont bien identifiables sous le couvert arboré.

### 221 Vergers arboricultures (ZAEG : 221)



Parcelles plantées d'arbres fruitiers ; cultures pures ou mélange d'espèces fruitières, arbres fruitiers en association avec des surfaces toujours en herbes. Les images satellite se prêtent très bien à la reconnaissance des vergers et des plantations fruitières surtout la très haute résolution. Les couleurs sont rouge vif /orange avec généralement une structure ordonnée des plantations.

### 222 Palmeraies (ZAEG : 222 / 316)



Palmeraies plantées (ZAEG : 222). Les cultures pures ou mélange d'espèces de palmiers sont incluses dans cette classe. Les images satellite à très haute résolution se prêtent bien à la reconnaissance des palmeraies mais une confirmation de leur forme étoilée par de la très haute résolution est conseillée notamment dans des paysages composites. Les anciennes plantations de palmiers en jachère sont incluses dans cette classe, tout comme les cocoteraies.



Palmeraies naturelles (ZAEG : 316). On retrouve une dominance de ces paysages en Guinée Maritime. Cette classe ne comprend pas les plantations de palmiers avec une forme géométrique (facilement identifiables grâce à la structure étoilée du houppier à partir des images Google earth).

### 223 Hévéa (ZAEG : 223)



Parcelles  $\geq 1$  ha. Structure souvent homogène (arbres de même classe d'âge).

### 224 Anacardier (ZAEG : 224)



Parcelles  $\geq 1$  ha. Les plantations d'anacardes s'identifient très bien sur les images satellites par leur couleur particulière jaune orangé et sur les images en couleur naturelle par une teinte vert pâle. Les jeunes plantations sont incluses dans cette classe. Les alignements des plantations deviennent parfois difficiles à observer à leur taille adulte et les houppiers finissent par se joindre formant un tapis homogène mousseux.

### 225 Agroforêts et autres asso. de cultures( ZAEG : 241 / 242)



Agroforêts (ZAEG : 241). Ce sont des systèmes agroforestiers complexes qui ont l'apparence de forêts naturelles (primaires ou dégradées) associant une ou plusieurs cultures pérennes (caféier, cacaoyer, colatier, fruitiers) et un grand nombre de composants (arbres, plantules, arbustes, lianes, herbacées) aux usages multiples » (de Foresta, 1996). L'ensemble de la couverture arborée ne doit pas dépasser les 70% de la surface totale. La plupart du temps, elle concerne de petite étendue avec des signatures spectrales variables (diversité des espèces forestières, ainsi que de la densité des arbres et des types de sol. On la trouve essentiellement autour des villages.



Associations culturelles complexes (ZAEG : 242). Juxtaposition de petites parcelles de cultures annuelles diversifiées et/ou de petites cultures permanentes inférieures à 1ha. L'ensemble se caractérisant par une petite mosaïque de cultures intégrant de l'habitat et formant un paysage propre. Sur les images satellites, cette classe présente toujours une texture très fine et un parcellaire agricole facilement reconnaissable. On classe sous ce code les unités paysagères repérables par des réponses spectrales caractéristiques et composées de petites parcelles de cultures annuelles diversifiées et/ou de cultures permanentes, à la condition qu'aucun ensemble  $> 1$  ha ne puisse être isolé. Bien souvent ces ensembles paysagers sont constitués par des enclos arborés d'espèces fruitières ou forestières contenant un ou des hameaux centraux et des petites cultures pluviales.

## 5 PRAIRIES

### 50 Savanes herbeuses, arbustives et de transition (ZAEG : 321 / 322 / 324)



Savanes herbeuses (ZAEG : 321). Formation herbeuse comportant une strate graminéenne continue d'au moins 80 cm de hauteur. Arbres et arbustes ordinairement absents (l'ensemble arbres et arbustes ayant un recouvrement inférieur à 10%). Les savanes herbeuses sont facilement identifiables de par leur structure lisse et homogène. Quelques confusions peuvent parfois avoir lieu avec les sols nus et des contrôles avec des données à très haute résolution seront parfois nécessaires pour les distinguer.



Savanes arbustives (ZAEG : 322). Formation végétale constituée uniquement d'arbustes disséminée parmi le tapis herbacé avec un recouvrement compris entre 10 et 50% et une strate arborée inférieure à 10%. Les savanes arbustives sont facilement identifiables de par les picots de végétation. Quelques confusions peuvent parfois avoir lieu avec les savanes boisées et arborées et des contrôles avec des données à très haute résolution sont nécessaires pour les distinguer.



Savanes de transition (ZAEG : 324). Formation arbustive naturelle dense de transition avec quelques arbres épars ou non. L'ensemble de la formation a une hauteur moyenne inférieure à 5m et un recouvrement supérieur à 70%. Cette formation arbustive de transition résulte d'un abandon de cultures correspondant à de vieilles jachères (>3ans) dont la géométrie des parcelles n'est plus visible sur l'image satellite. Cette classe est présente dans certain cas particulier et la couverture des arbres ne doit pas excéder 5-10%.

Peuplement fermé formé uniquement d'arbustes et de plantes suffrutescentes à feuillage sempervirent ou décidu, généralement difficile à pénétrer, sans tapis graminée ou avec quelques touffes isolées. La réflectance de ces formations est similaire à des formations arbustives et seul une analyse du contexte biogéographique et une bonne connaissance du terrain permettent une identification à partir d'images satellite.

## Annexe 2 -Bibliographie

BOULVERT et al., 2005. *Carte morpho-pédologique interactive de la République de Guinée à 1:200 000ème – Cartes et notices. CD n°115.* Montpellier – IRD.

CCNUCC, 2003. Décision 13/CP9 : Guide des bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie aux fins de l'établissement des inventaires nationaux de gaz à effet de serre en application de la Convention. 21p

CIRAD, 2017. Gestion des forêts naturelles et approvisionnement durable en bois-énergie des villes du Sahel. Schéma directeur d'approvisionnement en combustibles domestiques de Bamako. Montpellier – CIRAD. 212p

FAO, 1983. Techniques simples de carbonisation. Rome – FAO. Version en ligne : <https://www.fao.org/4/X5328f/x5328f00.htm#Contents>

FAO, 2020. Rapport de la Guinée - Evaluation des ressources forestières mondiales. Rome – FAO. 58p

IGN-FI et CIRAD, 2023. Guide technique. Projet de zonage agroécologique en Guinée. Paris – IGN-FI. 56p

IPCC, 2006a. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories. 59p

IPCC, 2006b. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 3: Consistent Representation of Lands. 42p

IPCC, 2006c. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 4: Forest Land. 83p

IPCC, 2006d. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 5: Cropland. 66p

IPCC, 2006e. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 1 - General Guidance and Reporting. Chapter 3: Uncertainties. 66p

IPCC, 2019a. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories. 96p

IPCC, 2019b. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 3: Consistent Representation of Lands. 55p

IPCC, 2019c. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 4: Forest Land. 71p

IPCC, 2019d. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 5: Cropland. 102p

IPCC, 2019e. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 1 - General Guidance and Reporting. Chapter 3: Uncertainties. 47p

IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC. The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity. 132p

MEDD, 2023a. Rapport biennal actualisé initial (BURI) sur les changements climatiques. Rapport d'inventaire des gaz à effet de serre 2019. Conakry – MEDD. 146p

MEDD, 2023b. Méthodologie de l'inventaire des GES du secteur AFAT. Conakry – MEDD. 4p

<https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/58f00d8814064b79a0c49662ad3af537/>

<https://climate.esa.int/en/data/#/dashboard>

<https://climate.esa.int/en/projects/biomass/>

<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>

<https://perspective.usherbrooke.ca/bilan/servlet/BMTendanceStatPays?codePays=GIN&codeStat=SP.POP.TOTL>

<https://www.fao.org/faostat/fr/#data/FO>

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/corrigenda1.html>

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>