



**Commission des forêts d'Afrique Centrale**

*Une dimension régionale pour la conservation  
et la gestion durable des écosystèmes forestiers*

# **GUIDE SOUS-REGIONAL D'INVENTAIRE ET DE SURVEILLANCE DES FORETS**



**SERIE POLITIQUE N° 14**

Photos de couverture :©JICA

Copyright © Secrétariat Exécutif de la COMIFAC juillet 2019

Pour plus d'informations, contacter l'adresse suivante :

B.P : 20818 Yaoundé Cameroun

Tél.: +237 222 21 35 11 / Fax : +237 222 21 35 12

Email : [comifac@comifac.org](mailto:comifac@comifac.org) / Web : [www.comifac.org](http://www.comifac.org)

Facebook : Comifac - Commission des Forêts d'Afrique Centrale

Twitter : COMIFAC-Commission des Forêts d'Afrique Centrale

YOU TUBE :

[https://www.youtube.com/channel/UC\\_T8y94Bg4TSJLPFTeD20YQ/  
videos?shelf\\_id=1&sort=dd&view=0](https://www.youtube.com/channel/UC_T8y94Bg4TSJLPFTeD20YQ/videos?shelf_id=1&sort=dd&view=0)

# Sommaire

|  |    |
|--|----|
| Préambule.....   | i  |
| 1 Télédétection.....   | 1  |
| 1.1 Définition des types de forêts .....   | 5  |
| 1.2 Sélection des images satellitaires.....  | 9  |
| 1.3 Vérité-terrain (VT).....   | 12 |
| 1.4 Classification des images.....   | 14 |
| 1.5 Vérification de la précision de la carte de la répartition des forêts<br>.....   | 15 |
| 2 Inventaire forestier.....  | 18 |
| 2.1 Types d'études des forêts.....   | 18 |
| 2.2 Méthodes d'inventaire forestier.....   | 21 |
| 2.3 Nombre de placettes de sondage et leur mise en place.....  | 22 |
| 2.4 Surface et forme des placettes .....   | 24 |
| 2.5 Méthode de calcul des FE.....  | 27 |
| 3 Rédaction des Rapports .....   | 29 |
| 3.1 Méthode Gains-pertes et méthode de différence des stocks .....   | 31 |
| 3.2 Tier (Niveau).....   | 33 |
| 3.3 Calcul en utilisant la méthode de différence des stocks.....   | 35 |
| 3.4 Calcul en utilisant la méthode gains-pertes .....  | 37 |
| Quelques mots de la part des éditeurs : Pour la réalisation d'une surveillance continue des forêts dans les pays membres de la COMIFAC ..... | 41 |
| Annexe 1. Exemples de types de forêts (types de couverts terrestres) et de la carte de la répartition des forêts .....                       | 43 |
| Annexe 2. Exemple de calcul du nombre de placettes à matérialiser  | 46 |
| Annexe 3. Simulation du calcul au moyen de la méthode de différence des stocks.....  | 49 |

|  |    |
|--|----|
| Annexe 4. Simulation du calcul au moyen de la méthode gains-pertes .....   | 54 |
| Accroissement des stocks de carbone dans la biomasse (incluant la biomasse des parties aériennes et souterraines)..... | 54 |
| Diminutions de carbone dues à de l'extraction de bois .....  | 60 |
| Diminutions de carbone dues à l'extraction de bois de chauffage.....   | 63 |
| Pertes de carbone dues à des perturbations.....  | 67 |
| Pertes annuelles de carbone de sols organiques drainés .....   | 70 |
| Annexe 5. Ressources matérielles et humaines, pouvant être mobilisées .....  | 72 |
| Références .....   | 77 |

## Acronymes

|         |  |
|---------|--|
| CCNUCC  | Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques   |
| COMIFAC | Commission des Forêts d’Afrique Centrale   |
| COP     | Conference of Parties (Conférence des parties)   |
| DA      | Données d’activité   |
| FAO     | United Nations Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)                         |
| FE      | Facteur d’émission   |
| FRA     | Forest Resources Assessment (Evaluation des ressources forestières)  |
| GES     | Gaz à effet de serre   |
| GIEC    | Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat   |
| GPS     | Global positioning system (Système de positionnement Mondial)  |
| JICA    | Japan International Cooperation Agency (Agence japonaise de coopération internationale)  |
| REDD+   | Reducing emissions from deforestation and forest degradation (Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts) |
| SIG     | Système d’Information Géographique   |



## Préambule

Dans le bassin du Congo, s'étend la deuxième plus grande forêt tropicale humide au monde après l'Amazonie. Son importance en tant que puits de carbone est reconnue à l'échelle internationale, du point de vue de la lutte contre les changements climatiques et de la biodiversité. Cependant, d'un autre côté, la surface de cette forêt tropicale humide couvrant plusieurs pays du bassin versant a tendance à diminuer, à cause des activités anthropiques telles que l'agriculture, l'exploitation forestière, l'exploitation minière, la forte migration, l'afflux massif des réfugiés et retournés due aux différentes crises politiques ou sociales, etc. La conservation de cette forêt constitue aujourd'hui un défi important à l'échelle de la planète.

Pour mettre en place une gestion forestière durable, il faut nécessairement cerner l'état actuel de la forêt. En outre, Il est aujourd'hui obligatoire de soumettre des rapports aux institutions internationales tels que les rapports de REDD+, rapports d'inventaire national de GES à la CCNUCC, rapports FRA etc. L'établissement d'un système de surveillance des forêts est donc un défi pressant.

C'est dans de telles circonstances que les pays du bassin du Congo ont créé la « Commission des Forêts de l'Afrique Centrale (COMIFAC) » en se basant sur la « déclaration de Yaoundé » signée en mars 1999. Depuis lors, des efforts continuels ont été déployés par le biais de cette Commission pour relever le défi mentionné ci-dessus, entre autres la réalisation de plusieurs projets visant le renforcement des capacités des pays membres en matière de surveillance des forêts.

Cependant, il a été rapporté à l'issue de « l'Etude sur l'état des lieux des systèmes de surveillance des ressources forestières des pays de la

COMIFAC » réalisée par la COMIFAC avec la JICA que bien que certains des pays membres envisagent déjà de développer un système de surveillance des forêts avec l'assistance d'institutions internationales et planifient la mise en œuvre d'un suivi, il semble qu'aucun d'eux n'est encore arrivé à établir et exploiter un système de façon satisfaisante. Certains considèrent que le manque d'appui des partenaires est une cause importante du non-aboutissement de tels engagements. Mais la dépendance vis-à-vis de l'appui fourni par les partenaires ne dégagera jamais une solution définitive pour établir et exploiter le système de surveillance des forêts.

Compte tenu de cette situation, le présent guide est élaboré pour servir de référence aux pays membres de la COMIFAC souhaitant établir un système permettant de mettre en œuvre continuellement une surveillance des forêts, sans dépendre de l'appui extérieur

En général, la surveillance des forêts se réalise par une combinaison de trois éléments à savoir : la télédétection, l'inventaire forestier (l'étude au sol) et la rédaction de rapports. Le présent guide est composé de trois chapitres portant sur chacun desdits éléments, et chaque chapitre est subdivisé en plusieurs sections présentant des approches devant être adoptées par les pays membres de la COMIFAC lorsque ceux-ci entreprennent les activités de surveillance des forêts, avec un minimum de coûts et tout en respectant la priorité accordée au développement.





Le présent guide est élaboré à l'intention du personnel qui conçoit le système, de celui qui l'opère, celui impliqué dans l'élaboration des rapports et de tout autre acteur concerné par l'établissement du système de surveillance des forêts.

Ce document se limite toutefois à décrire sommairement les méthodes de conception du système de surveillance des forêts. Pour des informations techniques plus détaillées, les lecteurs sont priés de se référer à des publications externes, entre autres « REDD-plus Cookbook (2017) » publié par Forestry and Forest Products Research Institute.



## 1 Télédétection

### Pour la réalisation continue de la cartographie de la répartition des forêts -

Pour réaliser la carte de la répartition des forêts au moyen de la télédétection, il est nécessaire de disposer, en plus d'une bonne compréhension de la télédétection, des données de télédétection et des capacités d'interprétation de celles-ci, ainsi que des logiciels de télédétection et des techniques d'utilisation de ceux-ci.

Généralement, les pays en développement font face aux difficultés énumérées dans le tableau 1.1, en plus du manque de personnels techniques ayant les capacités nécessaires citées ci-dessus, et il en est de même pour les pays membres de la COMIFAC. Pour réaliser constamment la cartographie, chacun de ceux-ci doit opter pour une solution en fonction de la situation qui lui est propre.

**Tableau 1.1 Exemples de difficultés entravant la réalisation constante de la cartographie de la répartition des forêts et des solutions possibles**

| Exemples de difficultés  | Exemples de solution  |
|--|---|
| Les capacités techniques peuvent être perdues (ne s'enracinent pas)<br>← On oublie, car le travail de cartographie n'est effectué qu'à plusieurs années d'intervalle | Répéter les formations<br>← pratiquer permanemment /<br>Maintenance du système                        |
| Les connaissances acquises grâce à la formation ne sont pas transmises à d'autres personnes  | Introduire des approches méthodologiques simplifiées pouvant être utilisées dans le travail quotidien |

| Exemples de difficultés   | Exemples de solution   |
|---|--|
| <p>← Parce que la compréhension des participants à la formation est insuffisante</p>  | <p>← maîtrise des techniques /<br/>Mise en place d'un système de transfert de connaissance</p>   |
| <p>Le personnels qui ont acquis des compétences techniques quittent leur poste ou sont affectés<br/>← Mutation du personnel etc.</p>        | <p>Transférer les techniques à plusieurs personnes (former plusieurs techniciens)<br/>← maîtrise des techniques /<br/>Mise en place d'un système de transfert de connaissance et actualisation des connaissances</p> |
| <p>Il n'y a pas d'ordinateur de haute performance<br/>← A cause de la situation économique et de l'état des infrastructures du pays.</p>    | <p>Choisir une approche appropriée à la situation économique et à l'état des infrastructures du pays.</p>  |
| <p>Les logiciels nécessaires ne sont pas disponibles<br/>← A cause de la situation économique et de l'état des infrastructures du pays.</p> | <p>adopter une approche ne nécessitant pas de logiciels coûteux</p>  |
| <p>La mise à jour de logiciels n'est pas possible<br/>← A cause de la situation économique et de l'état des infrastructures du pays.</p>    | <p>adopter une approche ne nécessitant pas de logiciels coûteux</p>  |

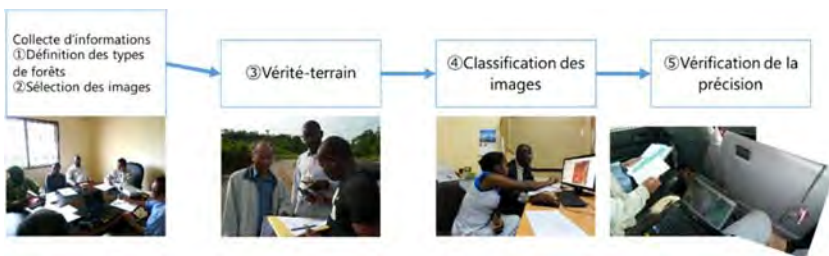
Dans le passé, dans la majorité des cas, on examinait l'introduction d'un ordinateur et des logiciels coûteux lorsque l'on entreprenait la création d'une carte de la répartition des forêts. Mais aujourd'hui, il est plus pertinent d'envisager l'utilisation du Cloud Computing. En effet grâce à l'évolution des technologies, il existe maintenant des services Cloud offrant des séries de données mondiales (ou Global data sets) à titre gratuit facilitant la production de cartes de répartition des forêts avec un budget limité. Pour permettre l'utilisation de tels systèmes, il est fort souhaitable que des efforts de la part de l'ensemble du gouvernement seront fournis pour l'aménagement d'un réseau internet qui est un préalable indispensable.

## Processus de création de la carte de répartition des forêts

Pour produire une nouvelle carte de la répartition des forêts, il faut suivre le processus suivant ;

- Définition des types de forêts
- Sélection des images satellitaires
- Vérité-terrain
- Classification des images
- Vérification de la précision

On trouvera ci-dessous des explications de chacun de ces procédés.



**Figure 1.1 Processus de création d'une nouvelle carte de la répartition des forêts**

## 1.1 Définition des types de forêts

**Définir de façon appropriée les types de forêts en vue de la création de la carte de la répartition des forêts au moyen de la télédétection, en prenant en considération les particularités de chaque cas et les contremesures possible**

La définition de la forêt varie selon un pays. Cependant, la FAO définit la forêt comme «Terres occupant une superficie de plus de 0,5 hectares avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à 5 mètres et un couvert forestier de plus de 10%, ou avec des arbres capables d’atteindre ces seuils in situ. Sont exclues les terres à vocation agricole ou urbaine prédominante ».

Une analyse a été faite, en référence à la FRA de la FAO (2015), sur les types des forêts existants dans les pays membres de la COMIFAC. Le tableau ci-après résume le résultat de cette analyse :

**Tableau 1.2 Nombre des types des forêts des pays membres de la COMIFAC**

| Pays                      | Année de l'évaluation de la superficie | Nombre de types de forêt |
|---------------------------|--|--------------------------|
| Burundi                   | 2013                                   | 4                        |
| Cameroun                  | 2004                                   | 9                        |
| République centrafricaine | 1999 (sud-est)                         | 1                        |
|                           | 1989 (sud-ouest)                       | 7                        |
|                           | 1994 (nord)                            | 1                        |
|                           | 1994 (centre)                          | 1                        |

| Pays                             | Année de l'évaluation de la superficie | Nombre de types de forêt |
|----------------------------------|--|--------------------------|
| Tchad                            | 2013                                   | 7                        |
| République du Congo              | 2012                                   | 6                        |
| Guinée équatoriale               | Bioko (1990)                           | 6                        |
|                                  | continental (1990)                     | 13                       |
|                                  | Bioko et continental (1998)            | 2                        |
| Gabon                            | 2015                                   | 4                        |
| République démocratique du Congo | 2005                                   | 10                       |
| Rwanda                           | 2012                                   | 2                        |
| Sao Tomé-et-Principe             | 1990                                   | 3                        |

Les modes de définition diffèrent d'un pays à l'autre. Ce qui est à éviter est de changer la désignation des types de forêt d'une année à l'autre car cela ne permet pas d'assurer la cohérence dans le cadre du suivi. Il n'est pas non plus recommandable de définir un nombre trop important de types de forêt car cela risque de susciter des erreurs dans la classification, toutefois, il est aussi à noter que définir un nombre trop limité de types peut entraîner une marge d'erreur importante lors de l'estimation des stocks de carbone.

Le tableau 1.3 indique des points à aborder et des mesures pouvant être prises lors de la définition des types de forêt.

**Tableau 1.3 Points à aborder et mesures pouvant être prises lors de la définition des types de forêt**



| Points à aborder  | Mesures possibles   |
|---|---|
| Les types de forêt diffèrent d'une région à l'autre             | Cela ne cause pas de problème dans la mesure où la classification est faite en utilisant continuellement la même définition des types de forêts.  |
| La désignation des types de forêt change d'une année à l'autre. | Intégrer des types de forêts plus nombreux dans les types de forêts moins nombreux, après une réflexion approfondie.  |
| Les types de forêt sont trop nombreux                           | <p>Pour les types de forêt dont le couvert terrestre présente un caractère mixte (par ex. « Forêt secondaire adulte et cultures”), on peut faire une classification à la fois par type de couvert terrestre et par type de forêt.</p> <p>Il convient de noter aussi que lorsque l'on diminue le nombre de types de forêt, il n'est plus nécessaire d'utiliser les données de télédétection à haute résolution. Il devient possible d'utiliser les données de télédétection à résolution moyenne qui sont disponibles gratuitement, ce qui permet de</p> |

| Points à aborder                 | Mesures possibles  |
|----------------------------------|--|
|                                  | réduire les coûts de production de la carte.   |
| Il n'y a que deux types de forêt | Examiner la possibilité de les subdiviser en d'autres catégories à un nombre raisonnable, comme par exemple « Forêt mature », « Forêt secondaire », « Forêt marécageuse » et « Mangrove ». |

Des exemples de types de forêt (types de couvert terrestre) et de la carte de la répartition des forêts sont présentés en Annexe 1.

## 1.2 Sélection des images satellitaires

**En vue de la création de la carte de la répartition des forêts, examiner d'abord l'utilisation du système de télédétection Cloud « Google Earth Engine », et l'utilisation des données satellitaires de LANDSAT8 pour la classification**

Comme capteurs de télédétection, il existe des capteurs optiques, radar et laser.

**Tableau 1.4 Capteurs de télédétection et leurs caractéristiques**

| Capteur de TÉLÉDÉTECTION | Caractéristiques   |
|--------------------------|--|
| Optique                  | Lors de la sélection des images, une attention doit être portée à l'état de l'archive, la possibilité de classer les types de forêt ciblés etc. Et lors la recherche des images, il faut prêter une attention particulière à la différence de l'apparence entre les images prises dans la saison pluvieuse et celles prises dans la saison sèche. En principe, le capteur optique a une difficulté de traverser les nuages. Cependant il existe la possibilité d'acquérir d'autres images pour résoudre ce problème. |
| Radar                    | Le radar à synthèse d'ouverture (RSO) transperce les nuages, ce qui permet de réaliser une cartographie sans nuage. Avec les données du radar RSO, on peut reconnaître la présence d'arbres, mais la classification des types de forêts est difficile.   |

| Capteur de<br>TÉLÉDÉTECTION | Caractéristiques   |
|-----------------------------|--|
| Laser (LIDAR)               | Le laser (LIDAR) permet de mesurer la hauteur de la canopée de la forêt. Toutefois il est difficile de faire la classification à partir des informations sur les hauteurs. |

Pour la création de la carte de la répartition des forêts, l'option la plus appropriée est l'utilisation des données optiques. Notamment les données à résolution moyenne (Landsat, Sentinel) sont efficaces du point de vue économique car elles sont disponibles gratuitement. En ce qui concerne les satellites, Landsat dont les images sont archivées sur une longue période devrait être le premier choix. Les images Landsat que l'on peut utiliser actuellement est celles de Landsat 8. Le tableau ci-dessous indique les sites de téléchargement de systèmes Cloud et de données satellitaires.

Les systèmes de télédétection Cloud permettent de traiter et même classifier les images sur le web sans les télécharger. Il est possible de télécharger aussi bien les images que les produits réalisés individuellement. Google Earth Engine offre plus de polyvalence en comparaison avec Open Foris et SEPAL.

Cependant, si l'on utilise Earth Explorer, il y a lieu de télécharger une scène entière d'images LANDSAT pour faire une classification sur un ordinateur autonome. Le téléchargement peut prendre plusieurs heures si la vitesse de connexion est lente, car une scène d'images fait une taille de 1GB. De plus, ce système requiert un ordinateur de haute spécification. Compte tenu de tout cela, l'utilisation d'un système de télédétection Cloud est une option pertinente pour les pays qui envisagent de créer un environnement informatique destiné à la production de cartes de répartition des forêts. Il

faut toutefois noter que les opérateurs du système doivent disposer des connaissances sur la télédétection et des compétences pour utiliser correctement l'environnement en JAVA, en Python, etc.

**Tableau 1.5 Systèmes de télédétection Cloud et sites de téléchargement de données**

| Système                      | URL   | Remarque  |
|------------------------------|---|---|
| Google Earth Engine (Google) | <a href="https://earthengine.google.com/">https://earthengine.google.com/</a> | Possible de télécharger et de classier des images LANDSAT et Sentinel |
| Open Foris (FAO)             | <a href="http://www.openforis.org/">http://www.openforis.org/</a>             | Possible de télécharger et de classier des images LANDSAT et Sentinel |
| SEPAL (FAO)                  | <a href="https://sepal.io/">https://sepal.io/</a>                             | Possible de télécharger et de classier des images LANDSAT et Sentinel |
| EarthExplorer (USGS)         | <a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a> | Possible de télécharger des images LANDSAT                            |

### 1.3 Vérité-terrain (VT)

**En cas de difficultés de réalisation de la VT sur une vaste surface, il est utile d'examiner la possibilité de demander aux structures locales appropriées la fourniture des données enregistrées sur le terrain, en leur communiquant les coordonnées géographiques des sites candidats pour la VT**

La VT consiste à collecter des informations sur le terrain pour les comparer avec l'imagerie satellitaire.

L'analyse des données de télédétection nécessite des compétences techniques en matière d'interprétation. Et pour l'interprétation des images, il est nécessaire de connaître l'état des sites et de savoir sous quelle forme celui-ci peut être visualisé sur l'écran. Les informations recueillies dans le cadre de la VT servent de références lors de la classification des images et sont aussi utilisées pour la vérification de la précision des données.

Pour déterminer l'itinéraire de la VT, il est souhaitable d'effectuer une interprétation préliminaire. Si la personne chargée de ce travail ne dispose pas suffisamment d'expériences en matière d'interprétation des images, il est recommandé que celle-ci soit accompagnée d'une personne expérimentée afin de faire avancer le travail en vérifiant au fur et à mesure les images de chaque type de forêt. Par la suite, on détermine l'itinéraire de la VT de manière à pouvoir obtenir suffisamment d'informations sur tous les types de couverts terrestres. Il faut prendre en considération le temps (et les coûts) nécessaires afin de fixer un itinéraire efficace et efficient. Il faut aussi tenir compte du fait qu'il y a des cas où un même type de forêt se présente différemment sur les images de différentes zones. C'est pour cette raison qu'il est préférable d'effectuer la VT sur une vaste étendue géographique. De ces points de vue, il est parfois efficace de localiser les sites de VT le long d'un axe routier en évitant des endroits

difficilement accessibles, mais ceci à l'exception des cas de couverts terrestres spéciaux.

Dans le cadre de la VT, les éléments ci-dessous doivent être enregistrés.

### Structures locales appropriées

Par ailleurs, en cas de difficultés de réalisation de la VT sur une vaste surface en raison de l'absence de routes, il est utile d'examiner la possibilité de demander aux structures locales appropriées la fourniture des données enregistrées sur le terrain, en leur communiquant les coordonnées géographiques des sites retenus pour la VT.

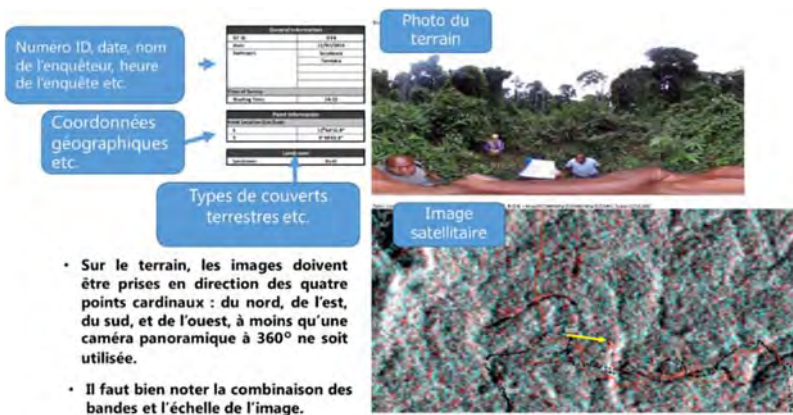
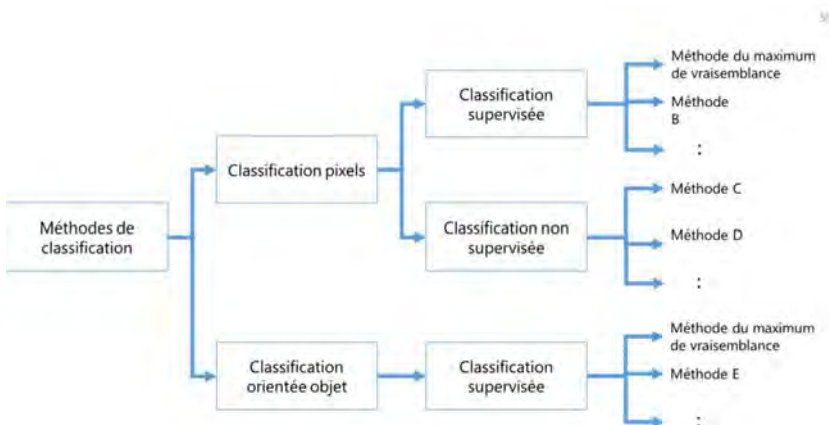


Figure 1.2 Eléments à enregistrer dans le cadre de la VT

## 1.4 Classification des images

### Examiner la mise en œuvre de la classification pixels supervisée

Les méthodes de classification d'images peuvent être, en gros, schématisées comme suit :



**Figure 1.3 Méthodes de classification des images satellitaires**

Dans les systèmes de télédétection Cloud, il est possible d'utiliser toutes les méthodes de classification présentées ci-dessus. Mais pour le traitement des données à moyenne résolution qui sont utilisables dans ces systèmes, on peut obtenir de meilleurs résultats avec la méthode de classification pixels qu'avec celle de classification orientée objet. Et les traitements post-classification sont plus simples avec la classification supervisée qu'avec la classification non supervisée.



## 1.5 Vérification de la précision de la carte de la répartition des forêts

**Il est recommandé de fixer à 0,05 (5%) le taux d'erreur d'interprétation commise dans l'évaluation de la précision, et le seuil de signification, lors de la définition des points (d'indice) d'évaluation.**

On dit qu'il est souhaitable, du point de vue empirique, que le nombre de points d'évaluation obtenus pour un type de forêt soit de l'ordre de 100 points. Par ailleurs, il existe plusieurs méthodes pour calculer théoriquement ces points (par ex. Good Practices for Assessing Accuracy and Estimating Area). On trouvera ci-dessous une de ces méthodes, qui consiste à définir les nombres de points en fixant le nombre de types de couverts terrestres, le taux estimé d'erreurs d'interprétation commises dans l'évaluation de la précision et le seuil de signification pour les résultats de l'évaluation. Pour calculer les points d'évaluation sur chaque type de forêt au moyen d'Excel, on utilise la formule suivante :

**= CHINV (seuil de signification / nombre de types de couverts terrestres,1) / (4\* taux d'erreurs d'interprétation ^2)**

Par exemple, dans un cas où il y a dix types de couverts terrestres incluant des couverts forestiers, si l'on fait le calcul en fixant le taux d'erreur d'interprétation dans l'évaluation de la précision à 0,05 (5%) et le seuil de signification pour les résultats de l'évaluation à 0,05 (5%), le nombre de points d'évaluation pour chaque type de forêt sera de 80.

Les résultats de la vérification de la précision peuvent être synthétisés de la manière présentée dans un tableau ci-dessous. La formule du calcul est la suivante :

**Précision générale = (nombre de points donnés au résultat de l'évaluation coïncidant avec le nombre de points donnés au résultat de la classification) / (nombre total de points donnés aux résultats de l'évaluation)**

**Tableau 1.6 résultats de la vérification de la carte de la répartition des forêts (Exemple)**

|                               |                               | Résultat de l'évaluation |                  |          |                    |             |        |                               |     |           |                     |       | Précision d'utilisateur (%) |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|----------|--------------------|-------------|--------|-------------------------------|-----|-----------|---------------------|-------|-----------------------------|
|                               |                               | Forêt mature             | Forêt secondaire | Manvrove | Forêt maréca geuse | Plan tation | Savane | Autres (terrain agricole etc) | Eau | Terre nue | Matériel artificiel | Total |                             |
| Résultat de la classification | Forêt mature                  | 73                       | 1                |          | 2                  |             | 3      |                               |     |           |                     | 79    | 92                          |
|                               | Forêt secondaire              | 6                        | 77               |          | 8                  |             | 3      | 1                             |     |           |                     | 95    | 81                          |
|                               | Manvrove                      |                          |                  | 84       |                    |             |        |                               |     |           |                     | 84    | 100                         |
|                               | Forêt maréca geuse            |                          |                  | 3        | 87                 |             |        |                               |     |           |                     | 90    | 97                          |
|                               | Plantation                    |                          |                  |          |                    | 66          |        |                               |     |           |                     | 66    | 100                         |
|                               | Savane                        |                          | 1                |          |                    |             | 87     |                               |     |           |                     | 88    | 99                          |
|                               | Autres (terrain agricole etc) |                          |                  | 2        |                    | 1           |        | 16                            |     |           |                     | 19    | 84                          |
|                               | Eau                           |                          |                  |          | 1                  |             |        |                               | 80  |           |                     | 81    | 99                          |
|                               | Terre nue                     | 2                        |                  |          | 1                  |             |        |                               | 2   | 82        |                     | 87    | 94                          |
|                               | Matériel artificiel           |                          |                  |          |                    |             | 1      |                               |     |           | 86                  | 87    | 99                          |
| Total                         | 81                            | 81                       | 87               | 99       | 67                 | 94          | 17     | 82                            | 82  | 86        | 776                 |       |                             |
| Précision du producteur (%)   | 90                            | 95                       | 97               | 88       | 99                 | 93          | 94     | 98                            | 100 | 100       |                     |       |                             |

Les résultats du tableau sont obtenus à partir de l'analyse faite sur les logiciels précités. La carte importée dans le logiciel d'analyse résulte de l'échantillonnage ci-avant (cf. 1.5).

Une méthode similiaire est proposée par Pontus Olofsson dans son article «Good Practices for Assessing Accuracy and Estimating Area» paru en 2013, si l'on se fonde sur le comptage de pixels, la zone cartographiée de l'entité d'intérêt peut être considérablement différente de la zone réelle.

C'est la raison pour laquelle une approche sur trois points est proposée dans l'article « Accuracy and Area Estimation » de Pontus Olofsson (From Olofsson, P. (2018) Accuracy and Area Estimation. In S. Liang (Ed.), *Comprehensive Remote Sensing*, vol. 6, pp. 128–135. Oxford: Elsevier) : le plan d'échantillonnage, le plan de réponse et l'analyse. L'inférence basée sur le plan proposé dans l'article repose sur l'hypothèse que l'observation sur une unité d'échantillonnage est une constante fixe, et l'incertitude dans les informations inférées sur la population est attribuée à la randomisation du plan d'échantillonnage. Le biais et la variance d'un estimateur (les propriétés statistiques souvent au cœur des applications de télédétection liées à la couverture terrestre) sont déterminés par l'ensemble de tous les ensembles d'échantillons possibles du plan d'échantillonnage utilisé pour sélectionner l'échantillon utilisé pour l'inférence.

## 2 Inventaire forestier

Le travail d'inventaire forestier consiste, en gros, en trois phases à savoir la phase de conception, la phase de planification et la phase de mise en œuvre. Le présent document explique quatre éléments à examiner lorsque les pays membres de la COMIFAC élaborent la conception de leur inventaire forestier qui sont : les types d'études des forêts, les méthodologies d'études, le nombre et l'emplacement des placettes permanentes, et la forme et la dimension de celles-ci. La méthode de calcul des FE applicable aux pays de l'espace COMIFAC est aussi présentée dans cette même section.

### 2.1 Types d'études des forêts

**La conception de l'inventaire forestier commence par l'élaboration de la conception de l'étude sur les parties aériennes**

Le stock de carbone dans une forêt est le total des stocks dans les réservoirs indiqués ci-dessous. Cela signifie qu'en cas de nécessité de mesurer avec précision le stock de carbone en forêt, il y a lieu de réaliser non seulement la mesure des arbres sur le sol, mais aussi d'effectuer les différentes études dont les rubriques figurent dans le tableau 2.1.

**Tableau 2.1 Objets et rubriques des études d'évaluation des stocks de carbone**

| Réservoir | Cible de sondage  | Rubrique de l'étude             | Degré de priorité |
|-----------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| Biomasse  | Biomasse aérienne | Etude sur les parties aériennes | Haut              |
|           |                   | Etude d'FE (parties aériennes)  | Haut              |

| Réservoir                  | Cible de sondage         | Rubrique de l'étude                                  | Degré de priorité |
|----------------------------|--------------------------|--|-------------------|
|                            | Biomasse souterraine     | Etude de facteurs d'expansion (parties souterraines) | Bas               |
| Matières organiques mortes | Bois mort                | Etude sur les parties aériennes                      | Bas               |
|                            | Litière                  | Etude sur les parties aériennes                      | Bas               |
| Sols                       | Matière organique du sol | Etude des sols                                       | Bas               |

Le tableau ci-dessus montre les études en forêt qui sont généralement réalisées pour entamer un inventaire forestier. Pour les études qui nécessitent un budget important et qui peuvent être mises en œuvre postérieurement, il indique que le degré de priorité est considéré comme bas. Par exemple, si l'on envisage d'effectuer l'étude de facteurs d'émission, l'étude de facteurs d'expansion (biomasses souterraines) et l'étude des sols pour collecter des données spécifiques du pays, il faut prévoir un budget important. Dans ce cas, on peut dans un premier temps chercher à trouver des paramètres à l'échelle régionale existants en se référant, entre autres, à la base de données des facteurs d'émission du GIEC. Et s'il s'agit d'un cas où il est nécessaire d'effectuer une étude seulement sur la matière organique morte, celle-ci peut être réalisée en tant que composante supplémentaire de l'étude sur les parties aériennes. C'est en ce sens que le degré de priorité de ces études est considéré comme bas.

Le présent guide décrit la conception de l'étude sur les parties aériennes, qui revêt un haut degré de priorité.

## 2.2 Méthodes d'inventaire forestier

### Adopter la méthode par échantillonnage

La figure ci-dessous schématise la structure de l'inventaire forestier. Pour la surveillance des forêts à l'échelle nationale ou les projets de REDD+ sur une vaste surface, l'inventaire par échantillonnage est une option appropriée. Cette méthode est réalisable avec une conception simple, et le degré de précision des résultats peut être défini statistiquement. C'est ce qui fait la différence avec d'autres méthodes utilisées dans le cadre de l'aménagement des concessions forestières ayant pour vocation la production des bois à des fins commerciales. Il s'agit de mettre en place un réseau de placettes sur un maillage à intervalles réguliers sur l'ensemble du territoire national, pour effectuer l'étude des arbres qui se trouvent dans les placettes. Cette méthode permet d'obtenir une meilleure précision des résultats par rapport aux autres méthodes d'inventaire.

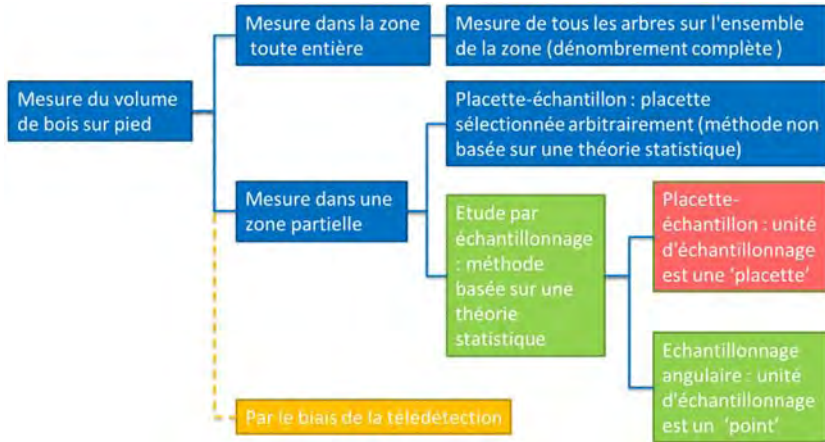


Figure 2.1 Système de l'inventaire forestier

## 2.3 Nombre de placettes de sondage et leur mise en place

**Effectuer le calcul en fixant comme valeurs initiales le taux d'erreur visé (e) à 0,05 et le niveau de confiance à 95% en vue de la détermination du nombre de placettes réaliste et en fonction du budget disponible.**

On détermine ensuite le nombre de placettes par une formule prédéfinie en tenant compte de la variation (éparpillement) des stocks par type de forêt. Dans un type de forêt donné, plus la variation est importante, plus le nombre de placette est grand. On effectue d'abord une étude préliminaire à une dizaine d'endroits pour chaque type de forêt en se référant à une cartographie de la répartition des forêts, et on utilise les résultats qui en découlent pour faire le calcul du nombre de placettes à installer. Dans la formule du calcul, on fixe le taux d'erreur visé (e) et le niveau de confiance (coefficient du niveau de confiance (t)).

Il est important de déterminer le nombre de placettes réaliste et cela en fonction du budget disponible. À cet effet on effectue le calcul en fixant comme valeurs initiales le taux d'erreur visé (e) à 0,05 et le niveau de confiance à 95%.

Pour le calcul du nombre nécessaire, en plus du taux d'erreur visé (e) et du coefficient du niveau de confiance (t), on doit avoir des informations sur les volumes moyens de bois par placette, la superficie de chaque type de forêt, et l'écart type pour tous les types de forêts qui sont recueillies par le biais de l'étude préliminaire.

Une fois le calcul terminé, on positionne la grille à maille de sorte que le nombre nécessaire de placettes soient mises en place pour chaque type de forêt. À ce moment-là, on prévoit des placettes de réserve en ajoutant 10% au nombre nécessaire estimé, en tenant compte de la possibilité qu'il y ait



un certain nombre de placettes qui ne permettent pas d'effectuer de telles études.

Un exemple de calcul du nombre de placettes de sondage est donné à l'Annexe 2.

## 2.4 Surface et forme des placettes

**Pour la détermination de la superficie d'une placette, avancer l'examen progressivement en commençant par la placette d'une surface de 0,1ha. Envisager d'abord l'installation de placettes de forme circulaire dont les coûts sont généralement peu élevés**

### Surface des placettes de sondage

Plus la surface de chaque placette est importante, plus le nombre de arbres à mesurer augmente, nécessitant plus de temps et des coûts élevés. Et si la surface est moins importante, le temps et les coûts requis sont moins élevés, mais l'erreur dans l'estimation du volume des stocks de carbone est plus importante. Pour déterminer la surface des placettes, il y a lieu d'effectuer une étude préliminaire.

Dans le cadre de l'étude préliminaire, on agrandit progressivement la surface de la placette en commençant par 0,1ha, pour voir à partir de quelle dimension le volume des stocks devient invariable et comment le temps et la main d'œuvre nécessaires changent au fur et à mesure de l'augmentation de la surface. C'est en fonction des résultats de cette étude préliminaire que l'on détermine la surface des placettes.

Souvent, la surface d'une placette est fixée, à titre approximatif, entre 0,1 et 0,5 ha.

### Forme des placettes de sondage

En gros, les placettes se catégorisent en deux types, à savoir la forme circulaire et la forme rectangulaire. Chacune de ces formes présente des avantages et des inconvénients dans le cadre de sa mise en place et son utilisation. La forme des placettes doit être déterminée en fonction du

budget disponible, du but et la topographie de tout le territoire national. En général, les placettes circulaires sont moins onéreuses.

**Tableau 2.2 : Avantages et inconvénients des placettes circulaires et des placettes rectangulaires**

|               | <b>Avantages</b>  | <b>Inconvénients</b>  |
|---------------|---|---|
| Circulaire    | On peut mesurer de manière précise la distance horizontale entre le point central de la placette et chaque arbre sur pied, ce qui permet de juger avec exactitude si chaque arbre se trouve à l'intérieur ou à l'extérieur de la placette. La mise en place en grappe offre la possibilité de compenser la surface réduite. | On ne peut pas créer une placette couvrant une grande surface.              |
| Rectangulaire | On peut créer une placette couvrant une grande surface. Appropriée pour des forêts dont la densité  | Il est difficile de créer une placette carrée avec précision dans la forêt. |

|  | Avantages  | Inconvénients   |
|--|--|---|
|  | d'arbres sur pied n'est pas importante.<br>Appropriée aussi pour l'étude de la biodiversité. | Etant donné la grande surface, il est possible que la mesure des arbres soit partiellement omise. |

## 2.5 Méthode de calcul des FE

**Pour le calcul de FE, utiliser les équations allométriques présentées dans l'article d'Adeline Fayolle et al. (2018)**

En général, dans le cadre de l'étude de terrain, on enregistre les espèces des arbres rencontrées dans les placettes, les résultats des mesures du DHP etc. (Forestry and Forest Products Research Institute (2017)). Pour calculer la quantité de carbone séquestrée dans un arbre, on obtient d'abord le volume des parties aériennes à partir des données collectées (l'espèce, le DHP etc.) et en utilisant les équations allométriques. Cependant, pour développer des équations allométriques nationales, il y a lieu d'effectuer des mesures destructives qui nécessitent d'importantes dépenses. Si les équations allométriques nationales ne sont pas encore développées, il existe aussi des équations allométriques communément utilisées. Voici les étapes à suivre jusqu'à la détermination des FE.

- L'article d'Adeline Fayolle et al. (2018) présente des équations allométriques qui peuvent être communément utilisées dans les pays de l'espace COMIFAC. Avec ces équations, on obtient d'abord le volume des parties aériennes sur la base des données collectées à travers l'étude de terrain, notamment l'espèce de l'arbre et le DHP.
- On convertit ensuite le volume des parties aériennes en volume de stocks de carbone. Mais comme le développement de la formule pour ce procédé demande beaucoup de temps et des coûts importants comme cela est le cas pour le développement des équations allométriques, on utilise en général « Fraction de carbone de la matière sèche (FC) » indiquée dans les directives du GIEC.
- On obtient le volume de stocks de carbone pour chaque placette, puis

calcule la valeur moyenne pour chaque type de forêt, pour ensuite évaluer les FE propres au pays.

### 3 Rédaction des Rapports

Comme la plupart des régimes environnementaux multilatéraux, le régime climatique est basé sur la transparence des rapports et sur un processus d'examen qui doit garantir la redevabilité des pays. Aux termes de l'Accord de Paris, chaque pays définit lui-même sa contribution à l'effort global en matière de changement climatique. La notion de transparence n'en est donc que plus importante. Dans le cadre du régime de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, la transparence est assurée par les actions suivantes : Le suivi de l'action climatique au plan national ; des rapports d'avancement soumis à la communauté internationale ; la vérification, l'évaluation et le suivi des informations présentées à l'échelle internationale. Les obligations imposées par la CCNUCC en matière de comptes rendus sont de nature assez générale. Elles diffèrent, en termes de contenu et de fréquence, pour les pays développés et en développement. En général, les pays développés doivent produire des rapports plus fréquents et détaillés.

Selon les règles de la CCNUCC, tous les pays sont tenus de soumettre régulièrement un rapport de communication nationale sur les politiques et les actions mises en œuvre dans le domaine climatique. Les pays en voie de développement sont soumis à cette obligation, qu'ils remplissent avec l'aide des pays développés. Une Communication Nationale constitue le rapport d'un pays sur le travail qu'il effectue pour participer à la CCNUCC. Ce rapport doit normalement comprendre une information sur les inventaires des GES et une description d'ensemble des mesures prises ou prévues pour atténuer le changement climatique ou s'y adapter. Il peut contenir d'autres informations pertinentes dans le cadre de la progression vers les objectifs de la CCNUCC (Guide de la transparence dans le cadre de la CCNUCC et de l'Accord de Paris par l'IIED en décembre 2017).

Les données nationales obtenues par le biais de la surveillance des forêts sont destinées à des fins multiples, parmi lesquelles la rédaction du rapport d'inventaire de GES de la CCNUCC. En effet, à la suite de la décision de la COP24, il est devenu nécessaire de prendre des dispositions dans un bref délai pour préparer le premier rapport annuel d'inventaire de GES en se basant sur l'Accord de Paris et le soumettre d'ici en l'an 2024.

Compte tenu de ceci, le présent guide présente des méthodes de calcul de la variation annuelle de stocks de carbone forestier, comme un exemple de l'utilisation des données recueillies par le biais de la surveillance des forêts.

Il existe deux types de méthodes de calcul, à savoir une méthode recourant aux données de surveillance des forêts (« Méthode de différence des stocks ») et une autre sans recours aux données de surveillance des forêts (« Méthode Gains-pertes »).

La méthode de différence des stocks nécessite des données d'au moins deux points temporels. Avec la méthode Gains-pertes, on utilise des données d'un seul point temporel.



### 3.1 Méthode Gains-pertes et méthode de différence des stocks

Dans le cadre de l'inventaire de GES, pour le calcul de la variation des stocks de carbone forestier, les Etats parties peuvent choisir l'une des deux méthodes relatées ci-dessus, à savoir soit la méthode gains-pertes ou la méthode de différence des stocks (GIEC, 2006).

La méthode gains-pertes est représentée par la formule suivante :

$$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_P$$

Il s'agit d'estimer la variation des stocks de carbone d'une année donnée par une soustraction des pertes de carbone des gains de carbone. Cette méthode peut être utilisée par des pays où la surveillance des forêts n'est pas mise en œuvre. Toutefois il faut beaucoup de paramètres pour effectuer le calcul et il est nécessaire de définir des sous-catégories qui concordent avec les différents paramètres

La méthode de différence des stocks est représentée par la formule suivante :

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)}$$

L'estimation de la variation annuelle des stocks de carbone est faite par le calcul de la différence entre les volumes de stocks de carbone aux deux points temporels ( $C_t$ ).  $C_t$  est obtenu à partir des DA et des données de FE propres à chaque pays, par la formule suivante :  $C_t = DA \times FE$ .

**Tableau 3.1 : Comparaison des caractéristiques de la méthode gains-pertes avec celles de la méthode de différence des stocks**

|   | Méthode gains-pertes | Méthode de différence des stocks |
|---|----------------------|----------------------------------|
| Surveillance continue et régulière des forêts | Non nécessaire       | Nécessaire                       |
| DA et FE propres au pays                      | Non nécessaire       | Nécessaire                       |

Jusqu'ici, nous n'avons jamais constaté de cas où un pays ne réalisant pas la surveillance des forêts établit son rapport d'inventaire de GES en utilisant d'abord la méthode gains-pertes pour ensuite passer à la méthode de différence des stocks après avoir réalisé la surveillance des forêts sur plusieurs points temporels. Même si les lignes directrices du GIEC n'indiquent pas que cela soit impossible, un tel changement de méthode n'est pas recommandable dans le contexte actuel, du point de vue de la garantie de la cohérence de la méthodologie. De plus, si l'on vise à bénéficier de paiements aux résultats de la REDD+, il est nécessaire de remplir des conditions indiquées dans le « Plan cadre de Varsovie », c'est-à-dire d'établir un Système National de Surveillance Forestière (SNSF). Et pour l'établissement du SNSF, il est recommandé d'entreprendre d'abord l'inventaire forestier et la préparation des Données d'Activités (DA) en optant pour la méthode de différence des stocks.

## 3.2 Tier (Niveau)

Pour l'inventaire de GES, il existe des approches de trois niveaux appelées Tier 1,2 et 3. Chaque pays peut choisir le niveau qui lui convient selon la situation, la disponibilité de données et de méthodologies. De manière générale, plus le chiffre après le mot « Tier » est élevé, plus la précision est élevée et le niveau d'incertitude est moins élevé, mais un nombre plus important de données et des méthodologies plus complexes sont requises.

**Tier1** ne nécessite pas la réalisation de la surveillance des forêts, et à ce niveau, la méthode de gains-pertes peut être utilisée pour le calcul de la variation des stocks de carbone. On peut trouver des FE nécessaires pour le calcul dans différents documents tels que les lignes directrices du GIEC, et les DA sont disponibles dans le DataSet couvrant toute la planète. En revanche, la méthode de différence des stocks, nécessitant des données spécifiques propres au pays.

Le niveau nécessitant les données spécifiques propres au pays est **Tier2**. Les données obtenues à plusieurs points temporels par le biais de la surveillance des forêts sont applicables à la méthode de différence des stocks. Si l'on opte pour Tier2 et utilise la méthode de gains-pertes, il n'est pas nécessaire de réaliser une enquête de terrain périodique mais il y a lieu de définir des paramètres spécifiques du pays pour le calcul, en mettant en œuvre des études tels que l'étude de FE des parties aériennes par exemple.

Quant au niveau **Tier 3**, en plus des données requises pour le Tier 2, des formules de calcul adaptées à la situation spécifique du pays et des paramètres de haute précision sont nécessaires et, à cet effet, il y a lieu de réaliser une surveillance périodique des forêts, des études de FE, etc.

**Tableau 3.2 : Relation entre la méthode gains-pertes et la méthode de différence des stocks**

| Tier<br>(Niveau) | Méthode de différence<br>des stocks   | Méthode gains-pertes  |
|------------------|---|---|
| Tier 1           | Cette méthode n'est pas applicable  | Les paramètres indiqués dans les lignes directrices du GIEC etc., sont utilisés.  |
| Tier 2           | Les DA et les FE spécifiques aux pays obtenus par le biais de la surveillance des forêts continue (plusieurs points temporels) sont nécessaires.  | Les paramètres spécifiques propres aux pays obtenus par le biais de l'étude de FE des parties aériennes sont nécessaires.   |
| Tier 3           | Le calcul des stocks de carbone peut être fait en utilisant des formules adaptées à la situation spécifique du pays en plus des données utilisées pour Tier 2. Il y a lieu d'effectuer des analyses répétées. | Le calcul des stocks de carbone peut être fait en utilisant des formules adaptées à la situation spécifique du pays en plus des données utilisées pour Tier 2. Il y a lieu d'effectuer des analyses répétées. |

### 3.3 Calcul en utilisant la méthode de différence des stocks

**Utiliser la méthode de différence des stocks pour l'édition du rapport d'inventaire des émissions de GES liées aux forêts, après la réalisation de la surveillance des forêts à plusieurs points temporels**

Les éléments nécessaires et la formule de calcul de la méthode de différence des stocks sont les suivants :

#### Éléments nécessaires

- Information sur la surface par type de forêt obtenue par le biais de la surveillance des forêts (DA)
- Biomasses aériennes par type de forêt obtenues par le biais de la surveillance des forêts (BA)
- Fraction de carbone de la matière sèche (FC) : 0,5 (valeur par défaut)

#### Formule

La méthode de différence des stocks est représentée par la formule suivante :

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)}$$

L'estimation de la variation annuelle des stocks de carbone est faite par le calcul de la différence entre les volumes de stocks de carbone aux deux points temporels ( $C_i$ ) :

- Obtenir le volume de stocks de carbone (C) par la formule suivante :  
 $C = DA \times FE = DA \times BA \times FC$

- Calculer  $C_t$  en faisant le total des C par type de forêt
- Faire le calcul de 1 et 2 ci-dessus à deux points temporels et appliquer la formule de la méthode de différence des stocks.

Une simulation de processus de calcul et son résultat sont présentés en Annexe 3 pour donner un exemple plus concret.

### 3.4 Calcul en utilisant la méthode gains-pertes

**Utiliser la méthode gains-pertes pour l'élaboration du rapport d'inventaire des émissions de GES liées aux forêts, jusqu'à la mise en place effective du système de surveillance des forêts.**

La méthode gains-pertes, permettant d'estimer la variation annuelle des stocks de carbone ( $\Delta C$ ) avec la formule consistant à soustraire des pertes de carbone ( $\Delta C_p$ ) des gains de carbone ( $\Delta C_G$ ), donc correspondant au niveau (Tier1), est applicable aux pays où la surveillance des forêts n'est pas mise en œuvre. Le présent guide présente l'utilisation de la méthode gains-pertes au niveau (Tier1).

#### Éléments nécessaires

- Les DA obtenues à partir d'un DataSets disponible et couvrant toute la planète.
- Un tableau portant sur le calcul des stocks de carbone du niveau Tier1 est présenté à l'Annexe1 du Volume 4 des lignes directrices 2006 du GIEC. On utilise les valeurs indiquées dans ce tableau pour effectuer le calcul.

#### Formule

La formule est la suivante :

$$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_p$$

$$\Delta C_p = P_{\text{extraction de bois}} + P_{\text{bois de chauffage}} + P_{\text{perturbation}} + P_{\text{organiques}}$$

Où :

$\Delta C_G$  = Gains annuels de carbone,  $\Delta C_p$  = Pertes annuelles de carbone ;  
 $P_{\text{extraction de bois}}$  = Pertes annuelles de carbone dues à l'extraction de biomasse,  
 $P_{\text{bois de chauffage}}$  = Diminutions annuelles de carbone dues à l'extraction de bois de chauffage ;

$P_{\text{perturbation}}$  = Pertes annuelles de carbone dues aux perturbations

$P_{\text{organic}}$  : Pertes annuelles de carbone de sols organiques drainés

Pour effectuer le calcul en utilisation la méthode gains-pertes au niveau1(Tier1), il faut exploiter les tableaux de calcul des stocks de carbone présentés à l'Annexe 1 du Volume 4 des lignes directrices 2006 du GIEC. On trouvera ci-dessous des titres des tableaux dudit Annexe 1 pour  $P_{\text{extraction de bois}}$ ,  $P_{\text{bois de chauffage}}$ ,  $P_{\text{perturbation}}$  et  $P_{\text{organic}}$ .

**Tableau 3.3 : Pools de carbone et titres des tableaux de calcul des stocks de carbone**

| Pool                            | Titre du tableau de calcul des stocks de carbone<br>(Volume 4. Annexe1)   |
|---------------------------------|---|
| $\Delta C_G$                    | Augmentation annuelle des stocks de carbone de la biomasse (aérienne et souterraine) ou, en anglaise : Annual increase in carbon stocks in biomass (includes above-ground and below-ground biomass) |
| $P_{\text{extraction de bois}}$ | Pertes de carbone dues à l'extraction de bois ou, en anglais : Loss of carbon from wood removals  |
| $P_{\text{bois de chauffage}}$  | Pertes de carbone dues à l'extraction de bois de chauffage ou, en anglais : Loss of carbon from fuelwood removals   |
| $P_{\text{perturbation}}$       | Pertes annuelles de carbone dues aux perturbations ou, en anglais : Loss of carbon from disturbance   |



| Pool                 | Titre du tableau de calcul des stocks de carbone<br>(Volume 4. Annexe1)   |
|----------------------|---|
| P <sub>organic</sub> | Pertes annuelles de carbone de sols organiques drainés ou, en anglais : Annual carbon loss from drained organic soils |

Ce qu'il y a lieu de faire dans un premier temps est de créer des sous-catégories correspondant aux paramètres à utiliser (Volume 4. Chapitre 3.4). Pour les sous-catégories, on se réfère aux critères énumérés dans le tableau de paramètres de Tier1 (Volume 4. Chapitre 4.5). Voici les étapes à suivre pour la création de sous-catégories :

Etape1. Intégrer tous les critères de catégorisation et créer des éléments de sous-catégories les plus détaillés possibles.

Etape 2. Supprimer les éléments de catégories ne permettant pas l'utilisation des DA.

Etape 3. Supprimer les sous-catégories pour lesquels il existe des valeurs par défaut dans le tableau de paramètre.

Après la définition des sous-catégories, on finalise le tableau de calcul des stocks de carbone de la manière suivante :

1. Insérer les DA des sous-catégories ;
2. Choisir des valeurs dans le tableau de paramètres ;
3. Calculer les stocks de carbone.

Une simulation de processus de calcul par type de pool de carbone et son résultat sont présentés en Annexe 4 pour donner un exemple plus concret.

Les références pour les DA utilisées dans la simulation sont les suivantes :

- Global Forest Change 2000–2018 (Hansen, M. C. et al. ,2013)
- Global Ecological Zones (FAO, 2001)
- Global Country Boundaries 2012 (FAO, 2012)

## **Quelques mots de la part des éditeurs : Pour la réalisation d'une surveillance continue des forêts dans les pays membres de la COMIFAC**

Dans les pays membres de la COMIFAC, sont différents les uns des autres non seulement les situations des forêts mais aussi les circonstances politiques, économiques et culturelles qui les entourent. De ce fait, chaque pays doit concevoir un système qui lui est applicable en tenant compte de sa propre situation. Il faut choisir avec soin les techniques adaptables du point de vue des budgets disponibles, des infrastructures sociales existantes, des aspects organisationnels, éducatifs etc. Les premières démarches à entreprendre à cet effet sont les suivantes :

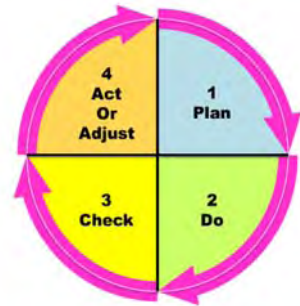
- Etablir un système institutionnel pour la réalisation de la surveillance des forêts
- Cumuler les données et les connaissances, et améliorer progressivement leur précision en se basant sur le concept de « stepwise approach (approche par étape) ».
- Organiser régulièrement des formations à l'intention des acteurs nationaux, en invitant les personnes ayant participé à des formations extérieures à assurer le rôle de formateur. Ceci permettra que les connaissances techniques soient maintenues au sein des agents des institutions concernées, et d'éviter les écarts entre les niveaux de compétence technique de ceux-ci en matière de sondages, qui sont souvent créés en raison des mutations du personnel.
- En ce qui concerne les logiciels de télédétection et de SIG, utiliser des systèmes Cloud et d'autres systèmes disponibles à titre gratuit au lieu d'opter pour des produits onéreux.

Les ressources matérielles et humaines pouvant être requises sont énumérées à l'Annexe 5.

Une fois que la surveillance des forêts démarre, les travaux continueront suivant le cycle PDCA (Plan, Do, Check, Act, ou PFVA pour Planifier-Faire-Vérifier-Agir)

### **Planifier**

- Conception de la surveillance des forêts
- Elaboration du plan de réalisation
- Production de différents manuels
- Mise à disposition de budgets, personnel, etc.



### **Faire**

Mise en œuvre de la surveillance des forêts

### **Vérifier**

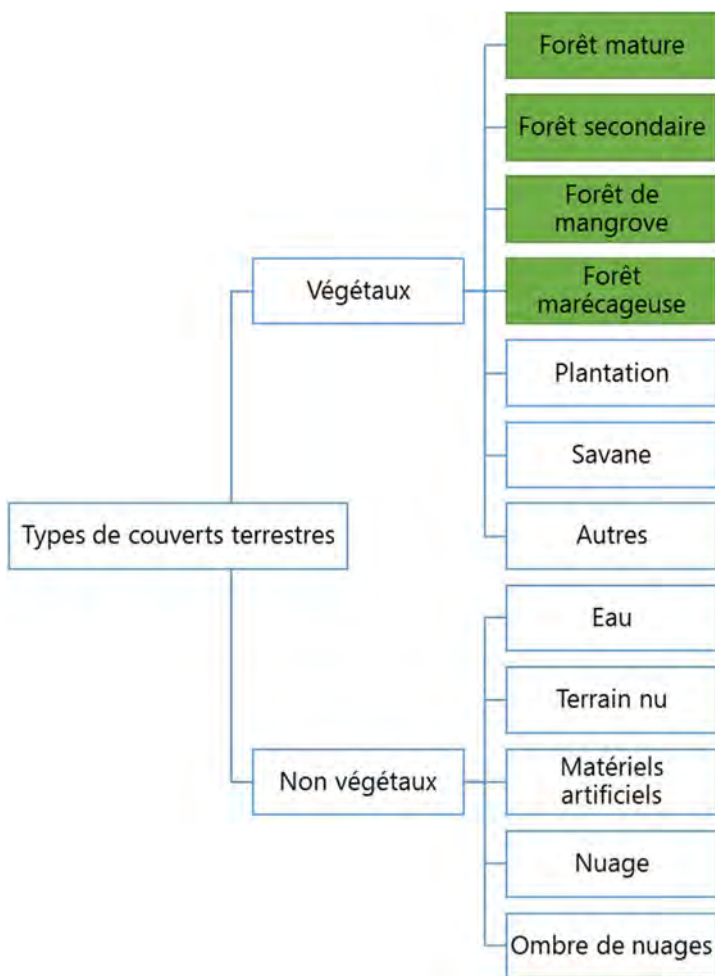
Mise en œuvre de contrôles et d'étude

### **Agir ou réajuster**

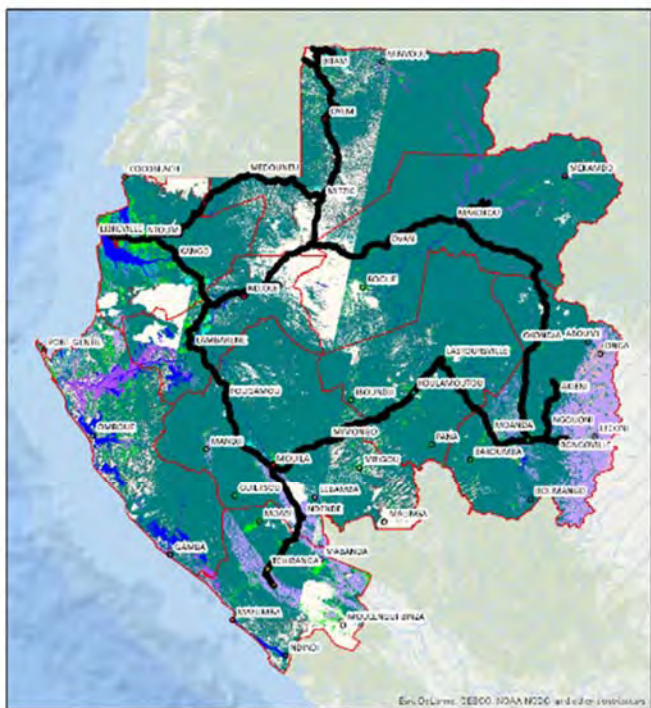
- Révision du plan de réalisation des études de terrain
- Révision des différents manuels
- Réalisation des formations, etc.

## **Annexe 1. Exemples de types de forêts (types de couverts terrestres) et de la carte de la répartition des forêts**

On trouvera ci-dessous, à titre d'exemples, des types de couverts terrestres (incluant les types de forêts, dans les cases de couleur verte) répertoriés à l'aide des images Landsat8 et des résultats de la classification des images sous la forme d'une cartographie réalisée dans le cadre d'un projet de la JICA, au Gabon.



**Figure Annex1.1 Classification des types de couverts terrestres incluant des types de forêts**



**Figure Annex1.2 Carte de la répartition des forêts réalisée à l'aide de la télédétection (Comprenant d'autres types de couverts terrestres que la forêt)**

## **Annexe 2. Exemple de calcul du nombre de placettes à matérialiser**

On trouvera ci-après un exemple de calcul de la précision de sondage, en fixant le taux d'erreur visé ( $e$ ) à 0,05 et le niveau de confiance à 95% (avec ce niveau de confiance, le coefficient du niveau de confiance ( $t$ ) doit être de 1,96).

À noter que les types de forêts, les surfaces par type de forêt et les écarts type mentionnés dans ce tableau ne sont que des exemples. Pour obtenir toutes ces valeurs, il y a lieu de mettre en œuvre une étude préliminaire.



**Tableau Annex2.1 Exemple de calcul du nombre de placettes à installer**

|   |  |        |
|---|--|--------|
| <b>Taux d'erreur visé (e)</b>   |  | 0,05   |
| <b>Coefficient du niveau de confiance (t) 95%</b>                               | $\frac{t}{x}$  | 1,96   |
| <b>Volumes moyens de bois par placette obtenus lors de l'étude préliminaire</b> |  | 13,40  |
| <b>Nombre total d'échantillons à prélever</b>                                   | $n = \left(\frac{t}{E}\right)^2 \left(\frac{\sum w_i s_i}{\bar{x}}\right)^2$ | 784,63 |
| <b>Fraction d'échantillonnage</b>   | $\varphi = n / \sum w_i s_i$   | 81,94  |
| <b>Répartition des échantillons par type de forêt</b>                           | $n_i = \varphi \times w_i s_i$   |        |

| <b>Type de forêt</b>   | <b>I AS</b> | <b>II AH</b> | <b>III MH</b> | <b>IV MWS</b> | <b>V PH</b> | <b>VI TS</b> | <b>VII TT</b> | <b>Total</b> |
|--|-------------|--------------|---------------|---------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| <b>Surface (ha)</b>  | 116.855     | 10.860       | 65.602        | 42.942        | 22.449      | 141.905      | 118.407       | 519.020      |
| <b>Proportion que représente la surface de chaque type de forêt par rapport à la surface totale des forêts (w<sub>i</sub>)</b> | 0,23        | 0,02         | 0,13          | 0,08          | 0,04        | 0,27         | 0,23          | 1,00         |

| Type de forêt   | I AS | II AH | III MH | IV MWS | V PH | VI TS | VII TT | Total |
|---|------|-------|--------|--------|------|-------|--------|-------|
| Surface de chaque type de forêt / Surface totale  |      |       |        |        |      |       |        |       |
| Ecart type de chaque type de forêt ( $s_i$ ) déterminé par le biais de l'étude préliminaire | 3,63 | 4,31  | 15,67  | 36,70  | 4,95 | 6,47  | 7,31   |       |
| $w_i \times s_i$  | 0,82 | 0,09  | 1,98   | 3,04   | 0,21 | 1,77  | 1,67   | 9,58  |
| Nombre d'échantillonnages (allocation proportionnelle)<br>$n \times w_i$                    | 177  | 17    | 100    | 65     | 34   | 215   | 180    | 788   |
| Nombre d'échantillonnages (Allocation de Neyman)<br>$w_i \times s_i \times \Phi$            | 67   | 8     | 163    | 249    | 18   | 145   | 137    | 787   |

Nombre d'échantillonnages sont arrondis au chiffre supérieur

### Annexe 3. Simulation du calcul au moyen de la méthode de différence des stocks

Pour donner une image concrète du procédé de calcul et des résultats pouvant être obtenus, on a effectué une simulation. Etant donné que les pays membres de la COMIFAC n'ont pas effectué la surveillance des forêts à plusieurs points temporels, on a effectué le calcul sur un point temporel en utilisant des données de référence existantes.

**N.B. : La méthode de différence des stocks nécessite des DA et des FE spécifiques du pays obtenu par le biais d'une surveillance des forêts sur plusieurs points temporels. Les pays qui n'effectuent pas la surveillance des forêts et ceux qui ne disposent que des données d'un seul point temporel ne peuvent pas utiliser cette méthode.**

**Tableau Annexe 3.1 Éléments et données requises pour le calcul avec la méthode de différence des stocks, et données utilisées pour la simulation**

| Élément nécessaire pour le calcul | Données nécessaires  | Données utilisées pour la simulation   |
|-----------------------------------|--|--|
| Sous-catégorie                    | Types de forêts spécifiques du pays  | Zone Ecologique (FAO)  |
| DA                                | Superficie de chaque type de forêt (sous-catégorie) obtenue par le biais de la surveillance des forêts | Superficies des forêts fournies dans le Global datasets<br>Hansen, M. C. et al. (2013) |

| Élément nécessaire pour le calcul | Données nécessaires  | Données utilisées pour la simulation   |
|-----------------------------------|--|--|
| FE                                | FE de chaque type de forêt obtenu par le biais de la surveillance des forêts | <p>ABOVE-GROUND BIOMASS IN FORESTS<br/>(GIEC, 2006, Tableau 4.7)</p> <hr/> <p>Fraction de carbone de la matière sèche<br/>(GIEC, 2006, Volume4. Annexe1. Feuille de travail.3B1a.1of4)</p> |

**Tableau Annexe 3.2 Données utilisées pour la simulation du calcul et résultats obtenus**

N.B : FE = BIOMASSE AERIENNE DES FORETS - BIOMASSE SOUTERRAINE DES FORETS x Fraction de carbone de la matière sèche

| Sous-catégorie                       |                                | DA                      | FE  |   | Carbone total stocké dans la biomasse (tonnes C an <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|---|---|--|
| Données utilisées pour la simulation | Zone écologique FAO            | Surface forestière (ha) | BIOMASSE AERIENNE DES FORETS (tonnes dm ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> ) | FC (tonnes C (tonne dm) <sup>-1</sup> ) |  |
| BURUNDI                              |                                | 2.688.789               |   |   | 181.651.824  |
|                                      | Forêt décidue humide tropicale | 373.055                 | 260   | 0,5                                     | 48.497.097   |
|                                      | Système montagneux tropical    | 2.315.734               | 115   | 0,5                                     | 133.154.727  |
| R.C.A.                               |                                | 69.438.021              |   |   | 8.864.795.347  |
|                                      | Forêt tropicale sèche          | 7.622.250               | 120   | 0,5                                     | 457.335.023  |
|                                      | Forêt décidue humide tropicale | 46.959.363              | 260   | 0,5                                     | 6.104.717.237  |

|          |                                |             |     |     |                |
|----------|--------------------------------|-------------|-----|-----|----------------|
|          | Forêt tropicale ombrophile     | 14.856.407  | 310 | 0,5 | 2.302.743.087  |
| CAMEROUN |                                | 47.094.707  |     |     | 6.505.112.545  |
|          | Forêt tropicale sèche          | 1.017.933   | 120 | 0,5 | 61.075.955     |
|          | Forêt décidue humide tropicale | 14.708.393  | 260 | 0,5 | 1.912.091.080  |
|          | Système montagneux tropical    | 3.345.365   | 115 | 0,5 | 192.358.466    |
|          | Forêt tropicale ombrophile     | 27.989.846  | 310 | 0,5 | 4.338.426.062  |
|          | Arbustaie tropicale            | 33.171      | 70  | 0,5 | 1.160.983      |
| TCHAD    |                                | 14.704.512  |     |     | 1.278.372.298  |
|          | Forêt tropicale sèche          | 8.847.609   | 120 | 0,5 | 530.856.536    |
|          | Forêt décidue humide tropicale | 5.710.781   | 260 | 0,5 | 742.401.469    |
|          | Arbustaie tropicale            | 146.123     | 70  | 0,5 | 5.114.293      |
| CONGO    |                                | 38.348.913  |     |     | 5.891.227.057  |
|          | Forêt tropicale sèche          | 556.363     | 120 | 0,5 | 33.381.769     |
|          | Forêt tropicale ombrophile     | 37.792.550  | 310 | 0,5 | 5.857.845.289  |
| R.D.C    |                                | 251.374.412 |     |     | 36.858.419.669 |
|          | Forêt tropicale sèche          | 373.287     | 120 | 0,5 | 22.397.197     |

|                      |                                |             |     |     |                |
|----------------------|--------------------------------|-------------|-----|-----|----------------|
|                      | Forêt décidue humide tropicale | 41.037.685  | 260 | 0,5 | 5.334.899.053  |
|                      | Système montagneux tropical    | 10.699.589  | 115 | 0,5 | 615.226.346    |
|                      | Forêt tropicale ombrophile     | 199.263.852 | 310 | 0,5 | 30.885.897.074 |
| GUINEE EQUATORIALE   |                                | 2.929.733   |     |     | 448.481.246    |
|                      | Système montagneux tropical    | 57.716      | 115 | 0,5 | 3.318.681      |
|                      | Forêt tropicale ombrophile     | 2.872.017   | 310 | 0,5 | 445.162.565    |
| GABON                |                                | 29.967.133  |     |     | 4.639.207.290  |
|                      | Forêt tropicale sèche          | 59.982      | 120 | 0,5 | 3.598.938      |
|                      | Forêt tropicale ombrophile     | 29.907.151  | 310 | 0,5 | 4.635.608.352  |
| RWANDA               |                                | 2.291.436   |     |     | 131.757.544    |
|                      | Système montagneux tropical    | 2.291.436   | 115 | 0,5 | 131.757.544    |
| SAO TOME et PRINCIPE |                                | 11.007      |     |     | 1.706.141      |
|                      | Forêt tropicale ombrophile     | 11.007      | 310 | 0,5 | 1.706.141      |
| Total                |                                | 458.848.662 |     |     | 64.800.730.961 |

## Annexe 4. Simulation du calcul au moyen de la méthode gains-pertes

### Accroissement des stocks de carbone dans la biomasse (incluant la biomasse des parties aériennes et souterraines)

#### Définition des sous-catégories

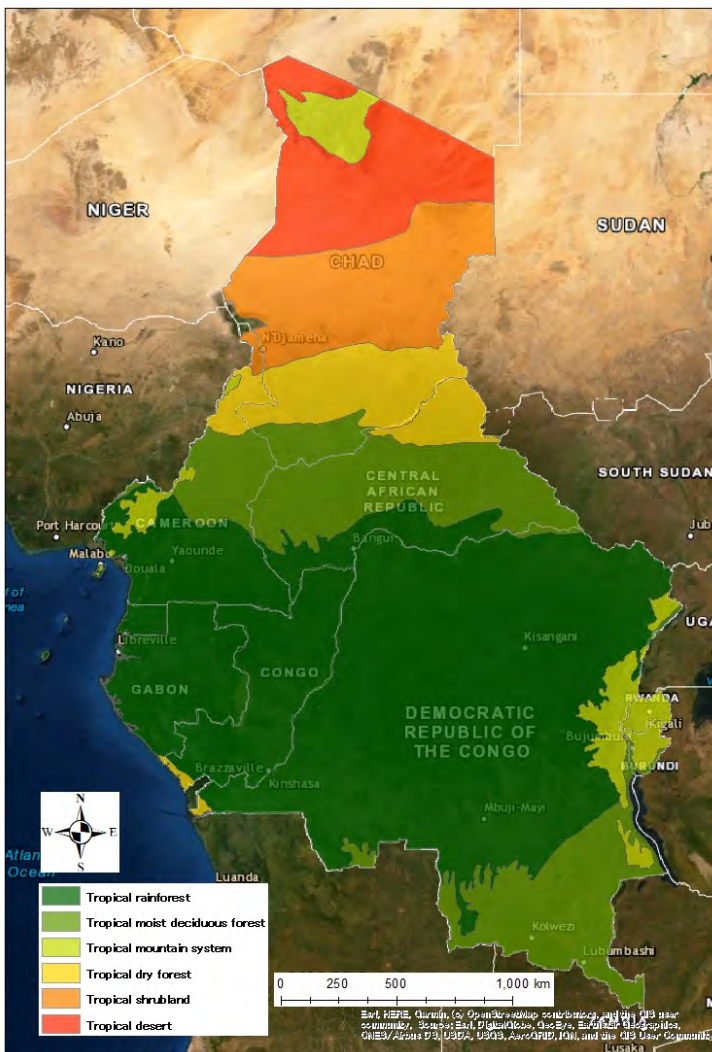
Les éléments de sous-catégorie les plus détaillés définis au cours de la première étape du processus de définition des sous-catégories sont montrés dans le tableau 3.6.

**Tableau Annexe 4.1** Eléments de sous-catégorie les plus détaillés

| ID Élément | Élément de sous-catégorie       | Tableaux liés                      | Remarques sur les tableaux                                   |
|------------|---------------------------------|------------------------------------|--|
| 1          | Domaine                         | Tableaux 4.3, 4.4, 4.9, 4.10, 4.12 |  |
| 2          | Zone écologique                 | Tableaux 4.4, 4.9, 4.10, 4.12      |  |
| 3          | Age d'arbres                    | Tableau 4.9                        | À choisir parmi les tableaux 4.9, 4.10, et 4.12              |
| 4          | Espèce d'arbres                 | Tableau 4.10                       |  |
| 5          | Forêts naturelles / plantations | Tableau 4.12                       |  |
| 6          | Biomasse des parties aériennes  | Table 4.4                          |  |
| 7          | Partie de l'arbre               | Table 4.3                          | Il y a des valeurs par défaut sans critère de classification |
| 8          | Diamètre                        | Table 4.3                          |  |



En suivant les étapes 2 et 3 du procédé de définition des sous-catégories, à la fin, il ne reste qu'un seul élément de sous-catégorie qui est « Zone écologique » (possible de l'utiliser en accédant au site web de la FAO). La cartographie ci-dessous montre les zones écologiques des pays membres de la COMIFAC. S'il existe une définition des zones écologiques propre au pays, il y a lieu de chercher la correspondance avec la définition de la FAO.



**Figure Annexe 4.1 Zones écologiques des pays membres de la COMIFAC et de la FAO**

**Tableau Annexe 4.2 Sous-catégories (Zone écologique) - Accroissement des stocks de carbone dans la biomasse (incluant la biomasse des parties aériennes et souterraines)**

|                                |
|--------------------------------|
| <b>BURUNDI</b>                 |
| Forêt décidue humide tropicale |
| Système montagneux tropical    |
| <b>R.C.A</b>                   |
| Forêt tropicale sèche          |
| Forêt décidue humide tropicale |
| Forêt tropicale ombrophile     |
| <b>CAMEROUN</b>                |
| Forêt tropicale sèche          |
| Forêt décidue humide tropicale |
| Système montagneux tropical    |
| Forêt tropicale ombrophile     |
| Arbustaie tropicale            |
| <b>TCHAD</b>                   |
| Désert tropical                |
| Forêt tropicale sèche          |
| Forêt décidue humide tropicale |
| Système montagneux tropical    |
| Arbustaie tropicale            |
| <b>CONGO</b>                   |
| Forêt tropicale sèche          |

|                                |
|--------------------------------|
| Forêt tropicale ombrophile     |
| <b>R.D.C</b>                   |
| Forêt tropicale sèche          |
| Forêt décidue humide tropicale |
| Système montagneux tropical    |
| Forêt tropicale ombrophile     |
| <b>GUINEE EQUATORIALE</b>      |
| Système montagneux tropical    |
| Forêt tropicale ombrophile     |
| <b>GABON</b>                   |
| Forêt tropicale sèche          |
| Forêt tropicale ombrophile     |
| <b>RWANDA</b>                  |
| Système montagneux tropical    |
| <b>SAO TOME et PRINCIPE</b>    |
| Forêt tropicale ombrophile     |

### Calcul des stocks de carbone

Sous-catégorie : Zone Ecologique (FAO)

DA :

| Titre   | Source de données /<br>Mode de calcul   |
|---|---|
| Terres forestières restant terres forestières | Calculer en superposant des données SIG sur les zones écologiques et celles sur les frontières entre les pays |

Paramètres :

| Titre   | Tableau de référence / Mode de calcul |
|---|---------------------------------------|
| Croissance annuelle moyenne de biomasse souterraine et aérienne | Tableau 4.12                          |
| Taux de biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne | 0 (valeur par défaut)                 |
| Fraction de carbone de la matière sèche                         | 0,5 (valeur par défaut)               |

Tableau de calcul des stocks de carbone (Burundi) :

| Sector                           |                                | Agriculture, Forestry and Other Land Use  |  |   |   |                                      |  |           |
|----------------------------------|--------------------------------|---|--|---|---|--------------------------------------|--|-----------|
| Category                         |                                | Forest Land Remaining Forest Land: Annual increase in carbon stocks in biomass (includes above-ground and below-ground biomass) |  |   |   |                                      |  |           |
| Category code                    |                                | 3F1a  |  |   |   |                                      |  |           |
| Sheet                            |                                | 1 of 4  |  |   |   |                                      |  |           |
| Equation                         |                                | Equation 2.7  |  | Equation 2.10   |   | Equation 2.8                         |  |           |
| Land-use category                |                                | Area of Forest Land Remaining Forest Land   | Average annual above-ground biomass growth   | Ratio of below-ground biomass to above-ground biomass | Average annual biomass growth above- and below-ground | Carbon fraction of dry matter        | Annual increase in biomass carbon stocks due to biomass growth |           |
| Initial land use                 | Land use during reporting year | (ha)  | (tonnes dm $\text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$ ) | (tonnes bg dm $(\text{tonne ag dm})^{-1}$ )           | (tonnes dm $\text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$ )          | (tonnes C $(\text{tonne dm})^{-1}$ ) | (tonnes C $\text{yr}^{-1}$ )                                   |           |
| Subcategories for reporting year |                                | National statistics or international data sources   | Tables                                       | zero (0) or   | $C_{\text{below}} = GW * (1+R)$                       | 0.5 or                               | $\Delta C_G = A * C_{\text{below}} + CF$                       |           |
|                                  |                                | A   | 4.9, 4.10 and 4.12                           | Table 4.4   | $G_{\text{below}}$                                    | Table 4.3                            | $\Delta C_G$   |           |
|                                  |                                |   | $G_{\text{ag}}$                              | R   | $G_{\text{total}}$                                    | CF                                   |  |           |
| FL                               | FL                             | Tropical moist deciduous forest   | 373,055                                      | 5   | 0   | 5                                    | 0.5  | 932,636   |
|                                  |                                | Tropical montane system   | 2,315,734                                    | 1   | 0   | 1                                    | 0.5  | 1,157,867 |
| Total                            |                                |   |  |   |   |                                      |  | 2,090,504 |

## Diminutions de carbone dues à de l'extraction de bois

### Définition des sous-catégories

Les éléments de sous-catégorie les plus détaillés définis au cours de la première étape du processus de définition des sous-catégories sont montrés dans le tableau 3.8.

**Tableau Annex4.3 Eléments de sous-catégorie les plus détaillés**

| ID<br>Élément | Élément sous-catégorie                        | Tableau<br>lié | Remarques sur<br>le tableau   |
|---------------|---|----------------|---|
| 1             | Zone climatique                               | Table 4.5      |   |
| 2             | Type de forêt                                 | Table 4.5      |   |
| 3             | Niveau de stock<br>croissant(m <sup>3</sup> ) | Table 4.5      |   |
| 4             | Domaine                                       | Table 4.4      |   |
| 5             | Zone écologique                               | Table 4.4      |   |
| 6             | Biomasse des parties<br>aériennes             | Table 4.4      |   |
| 7             | Partie de l'arbre                             | Table 4.3      | Il y a des valeurs<br>par défaut sans<br>critère de<br>classification |
| 8             | Diamètre                                      | Table 4.3      |   |

En suivant les étapes 2 et 3 du procédé de définition des sous-catégories, aucune sous-catégorie n'a été générée. Il y a lieu donc de trouver la valeur de l'ensemble du territoire national, en ce qui concerne les diminutions de carbone dues à de l'extraction de bois.

## Calcul des stocks de carbone

Sous-catégorie : N/A

DA :

| Titre                       | Source de données /<br>Mode de calcul                                |
|-----------------------------|--|
| Extraction annuelle de bois | Bois rond industriel 2018<br>(FAOSTAT*) x 1,15<br>(V4.Equation 2.12) |

\* <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/FO>

Paramètres :

| Titre   | Tableau de référence /<br>Mode de calcul  |
|---|---|
| Facteur d'expansion et de conversion de la biomasse en volume commercialisable par rapport à l'extraction totale de biomasse (écorce incluse) | Dans le tableau 4.5, il est demandé de clarifier le niveau de croissance du stock (m3) du peuplement duquel le bois a été extrait. Si cette information n'est pas disponible, on peut suivre une indication donnée dans le nota bene du tableau 4.5 comme : « supposer que la valeur FECBs soit 1,762 correspondant à la valeur moyenne de l'Afrique indiquée dans « FRA2005 GLOBAL ASSESSMENT OF GROWING STOCK, BIOMASS AND CARBON |

|   |  |
|---|--|
|   | STOCK (FAO 2006) ». Et diviser cette valeur par 0,9 pour la convertir en $FECB_R$ »<br>La valeur par défaut peut donc être définie comme suit : $1,762 / 0,9 = 1,96$ |
| Taux de biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne | 0 (valeur par défaut)  |
| Fraction de carbone de la matière sèche                         | 0,5 (valeur par défaut)  |

Tableau de calcul des stocks de carbone (Burundi) :

| Sector            |                                | Agriculture, Forestry and Other Land Use                             |  |  |                                       |  |                        |
|-------------------|--------------------------------|--|--|--|---------------------------------------|--|------------------------|
| Category          |                                | Forest Land Remaining Forest Land: Loss of carbon from wood removals |  |  |                                       |  |                        |
| Category code     |                                | 3B1a   |  |  |                                       |  |                        |
| Sheet             |                                | 2 of 4   |  |  |                                       |  |                        |
| Equation          |                                | Equation 2.12  |  |  |                                       |  |                        |
| Land-use category |                                | Annual wood removal  | Biomass conversion and expansion factor for conversion of merchantable volume to total biomass removals (including bark) | Ratio of below-ground biomass to above-ground biomass      | Carbon fraction of dry matter         | Annual carbon loss due to biomass removals     |                        |
| Initial land use  | Land use during reporting year | Subcategories for reporting year                                     | ( $m^3 yr^{-1}$ )  | (tonnes of biomass removals ( $m^3$ of removals) $^{-1}$ ) | (tonnes by dm (tonne ag dm) $^{-1}$ ) | (tonnes C (tonne dm) $^{-1}$ )                 | (tonnes C yr $^{-1}$ ) |
|                   |                                | National statistics or international data sources                    | Table 4.5  | zero (0) or Table 4.4                                      | 0.5 or Table 4.3                      | $I_{wood\ removals} = H * BCEF_H * (1+R) * CF$ |                        |
| FL                | FL                             |  | H  | BCEF <sub>H</sub>  | R                                     | CF   | $I_{wood\ removals}$   |
|                   |                                |  | 718,750  | 1.96   | 0                                     | 0.5  | 704,375                |
| Total             |                                |  |  |  |                                       |  | 704,375                |



## Diminutions de carbone dues à l'extraction de bois de chauffage

### Définition des sous-catégories

Les éléments de sous-catégorie les plus détaillés définis au cours de la première étape du processus de définition des sous-catégories sont montrés dans le tableau 3.9.

**Tableau Annex4.4 Eléments de sous-catégorie les plus détaillés**

| ID<br>Elément | Elément sous-catégorie                        | Tableau lié          | Remarques sur<br>le tableau   |
|---------------|---|----------------------|---|
| 1             | Zone climatique                               | Table 4.5            |   |
| 2             | Type de forêt                                 | Table 4.5            |   |
| 3             | Niveau de stock<br>croissant(m <sup>3</sup> ) | Table 4.5            |   |
| 4             | Domaine                                       | Table 4.4            |   |
| 5             | Zone écologique                               | Table 4.4            |   |
| 6             | Biomasse des parties<br>aériennes             | Table 4.4            |   |
| 7             | Espèce d'arbre                                | Tables<br>4.13、 4.14 |   |
| 8             | Partie de l'arbre                             | Table 4.3            | Il y a des valeurs<br>par défaut sans<br>critère de<br>classification |
| 9             | Diamètre                                      | Table 4.3            |   |

En suivant les étapes 2 et 3 du procédé de définition des sous-catégories, aucune sous-catégorie n'a été générée. Il y a lieu donc de trouver la valeur

de l'ensemble du territoire national, en ce qui concerne les diminutions de carbone dues à de l'extraction de bois de chauffage.

### Calcul des stocks de carbone

Sous-catégorie : N/A

DA :

| Titre  | Source de données / Mode de calcul   |
|--|--|
| Volume annuel d'extraction de bois de chauffage sur des arbres entiers   | 2018 Wood fuel (FAOSTAT*) est utilisé  |
| Volume annuel d'extraction de bois de chauffage sur des parties d'arbres | Possible de calculer si les données sur le volume de feuilles mortes collectées est disponible. Mais lesdites données ne sont pas incluses dans Global Datasets. |

\* <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/FO>

Paramètre :

| Titre   | Tableau de référence / Mode de calcul   |
|---|---|
| Facteur d'expansion et de conversion de la biomasse pour la conversion des extractions en volume commercialisable en extraction totale de biomasse (écorce incluse) | Dans le tableau 4.5, il est demandé de clarifier le niveau de croissance du stock (m3) du peuplement duquel le bois a été extrait. Si cette information n'est pas disponible, |

|   |   |
|---|---|
|   | <p>on peut suivre une indication donnée dans le nota bene du tableau 4.5 comme : « supposer que la valeur FECB<sub>S</sub> soit 1,762 correspondant à la valeur moyenne de l'Afrique indiquée dans « FRA2005 GLOBAL ASSESSMENT OF GROWING STOCK, BIOMASS AND CARBON STOCK (FAO 2006) ». Et diviser cette valeur par 0,9 pour la convertir en FECB<sub>R</sub> »</p> <p>La valeur par défaut peut donc être définie comme suit : <math>1,762 / 0,9 = 1,96</math></p> |
| Taux de biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne | 0 (Valeur par défaut)   |
| Densité ligneuse de base  | Il s'agit seulement d'un coefficient à appliquer au volume annuel d'extraction de bois de chauffage sur des parties d'arbres.   |
| Fraction de carbone de la matière sèche                         | 0,5 (Valeur par défaut)   |

Tableau de calcul des stocks de carbone (Burundi) :

| Secteur  |    | Agriculture, foresterie et autres affectations des terres   |   |   |  |                           |   |   |
|--|----|---|---|---|--|---------------------------|---|---|
| Catégorie  |    | Terres forestières restant terres forestières: Pertes annuelles de carbone dues à l'extraction de bois de chauffage |   |   |  |                           |   |   |
| Code de catégorie  |    | 3B1a  |   |   |  |                           |   |   |
| Feuille  |    | 3 / 4   |   |   |  |                           |   |   |
| Equation   |    | Equation 2.2  |   | Equation 2.13   |  |                           |   |   |
| Catégorie d'affectation des terres                               |    | Volume annuel d'extraction de bois de chauffage sur des arbres entiers  | Facteur d'expansion et de conversion de la biomasse en volume commercialisable par rapport à l'extraction totale de biomasse (écorce incluse) | Taux de biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne | Volume annuel d'extraction de bois de chauffage sur des parties d'arbres | Densité ligneuse de base  | Fraction de carbone de la matière sèche | Pertes annuelles de carbone dues à l'extraction de bois de chauffage  |
| Affectation des terres initiale                                  |    | Sous-catégories pour l'année faisant l'objet du rapport   |   |   |  |                           |   |   |
| Affectation des terres durant l'année faisant l'objet du rapport |    | (m <sup>3</sup> an <sup>-1</sup> )  | [tonnes d'extraction de biomasse (m <sup>3</sup> d'extraction) <sup>-1</sup> ]  | [tonnes ms ba (tonne ms bs) <sup>-1</sup> ]                     | (m <sup>3</sup> an <sup>-1</sup> )                                       | tonnes ms m <sup>-3</sup> | [tonnes C (tonne ms) <sup>-1</sup> ]    | (tonnes C an <sup>-1</sup> )  |
|  |    | Statistiques de la FAO  | Table 4.5   | zéro (0) ou Tableau 4.4   | Statistiques de la FAO   | Tableaux 4.13 et 4.14     | 0,5 or Tableau 4.3                      | $P_{\text{bois de chauffage}} \cdot [FC_{\text{bois}} + FE_{\text{bois}} \cdot (1+Tx) + FC_{\text{autres}} \cdot D] \cdot FC$ |
|  |    | <b>FGarbres</b>   | <b>FECEB<sub>0</sub></b>  | <b>Tx</b>   | <b>FGparties</b>   | <b>D</b>                  | <b>FC</b>                               | <b>P<sub>bois de chauffage</sub></b>  |
| TF   | TF | 5,999,000   | 1,96  | 0   |  |                           | 0,5                                     | 5,879,020   |
| <b>Total</b>   |    |   |   |   |  |                           |   | 5,879,020   |

## Pertes de carbone dues à des perturbations

### Définition des sous-catégories

Les éléments de sous-catégorie les plus détaillés définis au cours de la première étape du processus de définition des sous-catégories sont montrés dans le tableau 3.10.

**Tableau Annex4.5** Eléments de sous-catégorie les plus détaillés

| ID<br>Elément | Elément de<br>sous-catégorie                 | Tableaux<br>liés       | Remarques sur<br>les tableaux   |
|---------------|--|------------------------|---|
| 1             | Domaine                                      | Table 4.3、<br>4.4、 4.9 |   |
| 2             | Zone écologique                              | Table 4.4、<br>4.9      |   |
| 3             | Continent                                    | Table 4.9              |   |
| 4             | Biomasse des parties<br>aériennes<br>Domaine | Table 4.4              |   |
| 8             | Partie de l'arbre                            | Table 4.3              | Il y a des valeurs<br>par défaut sans<br>critère de<br>classification |
| 9             | Diamètre                                     | Table 4.3              |   |

En suivant les étapes 2 et 3 du procédé de définition des sous-catégories, aucune sous-catégorie n'a été générée. Il y a lieu donc de trouver la valeur de l'ensemble du territoire national, en ce qui concerne les pertes de carbone dues à des perturbations.

### Calcul des stocks de carbone

Sous-catégorie : N/A

DA :

| Titre                                   | Source de données /<br>Mode de calcul            |
|---|--|
| Superficie affectée par la perturbation | Global Forest Resources Assessments* est utilisé |

\*<http://www.fao.org/forest-resources-assessment/current-assessment/country-reports/fr/>

Paramètre :

| Titre  | Tableau de référence /<br>Mode de calcul   |
|--|--|
| Biomasse aérienne moyenne pour les superficies affectées | Dans le tableau 4.9, il est demandé de clarifier l'espèce et l'âge d'arbres pour définir le paramètre. Si cette information n'est pas disponible on peut faire le calcul de la manière suivante :<br>1) Supposer que la valeur FECBS soit 1,762 correspondant à la valeur moyenne de l'Afrique indiquée dans « FRA2005 GLOBAL ASSESSMENT OF GROWING STOCK, BIOMASS AND CARBON STOCK (FAO 2006) » ;<br>2) Multiplier la valeur FECB <sub>E</sub> par la valeur « Average Growing Stock Volume » de la base de données |

|  |   |
|--|---|
|  | sur les coefficients d'émission du GIEC (EFDB) ** |
| Taux de biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne, | 0 (Valeur par défaut)                             |
| Fraction de carbone de la matière sèche                          | 0.5 (Valeur par défaut)                           |

\*\*[https://www.ipcc-](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php?ipcc_code=3.B.1.a&ipcc_level=3)

[nggip.iges.or.jp/EFDB/find\\_ef.php?ipcc\\_code=3.B.1.a&ipcc\\_level=3](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php?ipcc_code=3.B.1.a&ipcc_level=3)

Tableau de calcul des stocks de carbone (Burundi) :

Comme DA, ont été utilisées les données sur la surface des incendies de l'année 2012 que l'on trouve dans la source de données mentionnée plus haut.

| Secteur                            |  | Agriculture, foresterie et autres affectations des terres                                 |   |  |   |   |  |  |
|------------------------------------|--|---|---|--|---|---|--|--|
| Catégorie                          |  | Terres forestières restant terres forestières: Pertes de carbone dues à des perturbations |   |  |   |   |  |  |
| Code de catégorie                  |  | 3B1a  |   |  |   |   |  |  |
| Feuille                            |  | 4 / 4   |   |  |   |   |  |  |
| Equation                           |  | Equation 2.2  | Equation 2.14                           |  |   |   | Equation 2.11  |  |
| Catégorie d'affectation des terres |  | Sous-catégories pour l'année faisant l'objet du rapport                                   | Superficie affectée par la perturbation | Biomasse aérienne moyenne pour les superficies affectées par la perturbation | Taux de biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne | Fraction de carbone de la matière sèche                             | Autres pertes annuelles de carbone                                     | Pertes annuelles de carbone de la biomasse due à des perturbations |
| Affectation des terres initiale    | Affectation des terres durant l'année e faisant l'objet du rapport |   | (ha an <sup>-1</sup> )                  | (tonnes ms ha <sup>-1</sup> )  | [tonnes ms bs (tonne ms ba) <sup>-1</sup> ]                     | [tonnes C (tonne ms) <sup>-1</sup> ]                                | (tonnes C an <sup>-1</sup> )   | (tonnes C an <sup>-1</sup> )                                       |
|                                    |  | Statistiques nationales ou sources de données internationales                             | Tableau 4.9                             | 2670 (0) ou Tableau 4.4  | 0.5 ou Tableau 4.3  | Pperturbations = Sperturbations * B <sub>w</sub> * (1+Tx) * FC * fp | ΔC <sub>p</sub> = Pperturbations de bois + Pperturbations de chauffage |  |
| TF                                 | TF   | S <sub>perturbation</sub>   | B <sub>w</sub>                          | Tx   | FC  | Pperturbation <sub>e</sub>  | ΔC <sub>p</sub>  |  |
|                                    |  | 28.26   | 193.82                                  | 0  | 0.5   | 2738.6766   | 6.586.134  |  |
|                                    |  | <b>Total</b>  |   |  |   | 2738.6766   | 6.586.134  |  |

Note: fd = fraction of biomass lost in disturbance; a stand-replacing disturbance will kill all (fd = 1) biomass while an insect disturbance may only remove a portion (e.g. fd = 0.3) of the average biomass C density.

## Pertes annuelles de carbone de sols organiques drainés

### Définition des sous-catégories

Le paramètre pour les pertes annuelles de carbone de sols organiques drainés est « Facteur d'émissions pour le type de climat », et il n'y a qu'une seule sous-catégorie qu'est « Climat ».

Les pays membres de la COMIFAC appartiennent à la Catégorie « Tropical ». Il y a lieu alors de calculer la valeur de l'ensemble du territoire national en ce qui concerne les pertes annuelles de carbone de sols organiques drainés.

### Calcul des stocks de carbone

Sous-catégorie : N/A

DA :

| Titre                                  | Source de données / Mode de calcul        |
|--|---|
| Superficie des sols organiques drainés | Cela n'est pas inclus dans Global Dataset |

\*<http://www.fao.org/forest-resources-assessment/current-assessment/country-reports/fr/>

Paramètre :

| Titre | Tableau de référence / Mode de calcul |
|-------|---------------------------------------|
|-------|---------------------------------------|

Facteur d'émissions pour le type de climat  
Tableau 4.6



Tableau de calcul des stocks de carbone :

Il est possible de faire le calcul si l'on peut utiliser « Superficie des sols organiques drainés (C) » qui constitue DA

|                                    |  |  |                                   |   |  |
|------------------------------------|--|--|-----------------------------------|---|--|
| <b>Secteur</b>                     |  | <b>Agriculture, foresterie et autres affectations des terres</b>   |                                   |   |  |
| <b>Catégorie</b>                   |  | <b>Terres forestières restant terres forestières: Pertes annuelles de carbone de sols organiques drainés</b> |                                   |   |  |
| <b>Code de catégorie</b>           |  | <b>3B1a</b>  |                                   |   |  |
| <b>Feuille</b>                     |  | <b>1 / 1</b>   |                                   |   |  |
| <b>Equation</b>                    |  | <b>Equation 2.2</b>  | <b>Equation 2.26</b>              |   |  |
| Catégorie d'affectation des terres |  | Sous-catégories pour l'année faisant l'objet du rapport  | Land area of drained organic soil | Facteur d'émission pour le type de climat     | Pertes annuelles de carbone de sols organiques drainés |
| Affectation des terres initiale    | Affectation des terres durant l'année faisant l'objet du rapport |  | (ha)                              | (tonnes C ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> ) | (tonnes C an <sup>-1</sup> )                           |
|                                    |  |  | <b>S</b>                          | <b>Tableau 4.6</b>                            | <b>P<sub>Organiques</sub> = S * FE</b>                 |
| TF                                 | TF   | (a)  |                                   | <b>P<sub>Organiques</sub></b>                 |  |
| <b>Total</b>                       |  |  |                                   |   |  |

## Annexe 5. Ressources matérielles et humaines, pouvant être mobilisées

### 1. Création de la carte de la répartition des forêts

| Désignation               | Remarques   |
|---------------------------|---|
| Ordinateur                | Concernant la télédétection et le SIG, si l'on opte pour l'utilisation d'un système Cloud, celui-ci ne nécessite pas un matériel à la fine pointe comme la Station de travail. Un ordinateur ordinaire d'une spécification raisonnablement élevée peut suffire. |
| Ecran                     | Il est préférable d'utiliser un écran de grande taille  |
| Réseau internet           | Indispensable. Il souhaitable d'avoir un réseau internet à haut débit illimité.   |
| Logiciel de télédétection | Il est préférable d'utiliser un système cloud   |
| Logiciel SIG              | Il est préférable d'utiliser un logiciel SIG gratuit  |
| Données                   | Utiliser les données disponibles dans le système cloud, Global Datasets, etc.   |
| Ressources humaines       | Des compétences adéquates sont nécessaires pour comprendre les techniques de TÉLÉDÉTECTION et exploiter l'environnement de programmation en JAVA Python etc.  |

Tableau établi sur la base de: Saito (2018)

## 2. Inventaire forestier

### Installation de placettes permanentes (équipements nécessaires aux études)

| Désignation  | Quantité  | Remarques  |
|--|-----------|--|
| Appareil de mesure de distances à ultrasons (Vertex) | 1         | A utiliser pour la mesure de distances horizontales                                    |
| Mètre ruban (30 m~50 m)                              | 1 à 3     | A utiliser pour mesurer d'abord la distance oblique en cas d'absence de Vertex         |
| Boussole   | 1 à 2     | A utiliser pour la mise en place des placettes, notamment pour identifier la direction |
| GPS  | 1         | Pour enregistrer les informations de localisation des placettes                        |
| Jalon  | Plusieurs | Les matières diffèrent selon les endroits où les placettes sont installées             |
| Appareil photo numérique                             | 1         | Pour enregistrer la physionomie de la forêt  |

Tableau établi sur la base de : Sato T. and Miyamoto K. (2016)

## Installation de placettes permanentes (personnels de terrain et leurs rôles)

| Rôle                       | Nombre de personnes souhaité | Remarques  |
|----------------------------|------------------------------|--|
| Utilisation de Vertex      | 1 à 2 personnes              | Donner des indications sur la direction, la distance etc, pour la mise en place des placettes      |
| Enregistrement des données | 1 personne                   | Enregistrer des données sur la localisation, inclinaison, direction etc, des placettes installées. |
| Assistance                 | 2 à 4 personnes              | Mise en place des pieux pour la délimitation de placettes etc.                                     |

Tableau établi sur la base de : Sato T. and Miyamoto K. (2016)

## Etude en forêt (outils d'étude)

| Désignation  | Quantité  | Remarque                              |
|--|-----------|---------------------------------------|
| Mètre ruban (10 m env.)                              | Plusieurs | Pour la mesure de DHP                 |
| Appareil de mesure de distances à ultrasons (Vertex) | 1         | Pour la mesure de la hauteur d'arbres |

|                   |           |   |
|-------------------|-----------|---|
| Etiquette         | Plusieurs | Pour l'identification des arbres à mesurer. En vinyle, plastique, aluminium etc.  |
| Pistolet agrafeur | Plusieurs | Pour fixer les étiquettes sur les arbres  |
| Marqueur          | Plusieurs | Pour le marquage des points de mesure du diamètre. Il peut aussi être utilisé pour éviter de mesurer le même arbre plusieurs fois |
| Jumelles          | Plusieurs | Pour l'identification des essences  |
| Sécateur à tige   | 1         | Pour le prélèvement d'échantillons (pour l'identification des essences)   |

Source: Sato T. and Miyamoto K. (2016)

### Etude en forêt (personnels de terrain et leurs rôles)

| Rôle                                       | Nombre de personnes souhaité | Remarques   |
|--|------------------------------|---|
| Enregistrement des données de chaque arbre | 1 à 2 personnes              | La présence de plusieurs personnes connaissant bien les étapes du processus de l'étude peut |

|                               |                 |  |
|-------------------------------|-----------------|--|
|                               |                 | permettre d'effectuer les travaux de façon efficiente  |
| Mesure de DHP                 | 1 à 2 personnes | La présence de plusieurs personnes permet de partager les tâches (mesure et fixation des étiquettes) |
| Mesure de la hauteur d'arbres | 1 à 2 personnes | Selon le nombre d'appareil de mesure   |
| Identification des végétaux   | 1 à 2 personnes | La personne chargée de l'enregistrement des données peut aussi effectuer ce travail                  |

Source: Sato T. and Miyamoto K. (2016)

## Références

AdelineFayolle et al. (2018) A regional allometry for the Congo basin forests based on the largest ever destructive sampling. *Forest Ecology and Management*. Volume 430, 15 December 2018, Pages 228-240

COMIFAC · JICA (2016) ETUDE SUR L'ETAT DES LIEUX DES SYSTEMES DE SURVEILLANCE DES RESSOURCES FORESTIERES DES PAYS DE LA COMIFAC

FAO (2001) Global Ecological Zones.  
<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>

FAO (2015) Global Forest Resources Assessments. Country reports 2015. <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/current-assessment/country-reports/en/>

FAO (2012) Global Country Boundaries 2012.  
<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>

Forestry and Forest Products Research institute (2017) REDD-plus Cookbook.  
[http://redd.ffpri.affrc.go.jp/pub\\_db/publications/cookbook/\\_img/cookbook\\_fr.pdf](http://redd.ffpri.affrc.go.jp/pub_db/publications/cookbook/_img/cookbook_fr.pdf)

Hansen, M. C. et al. (2013) “High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change.” *Science* 342 (15 November): 850–53. Data available on-line from:  
<http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>.

IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

IPCC (2019) Emission Factor Database. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/hlp\\_find\\_ef.php](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/hlp_find_ef.php)

IPCC (2019) 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

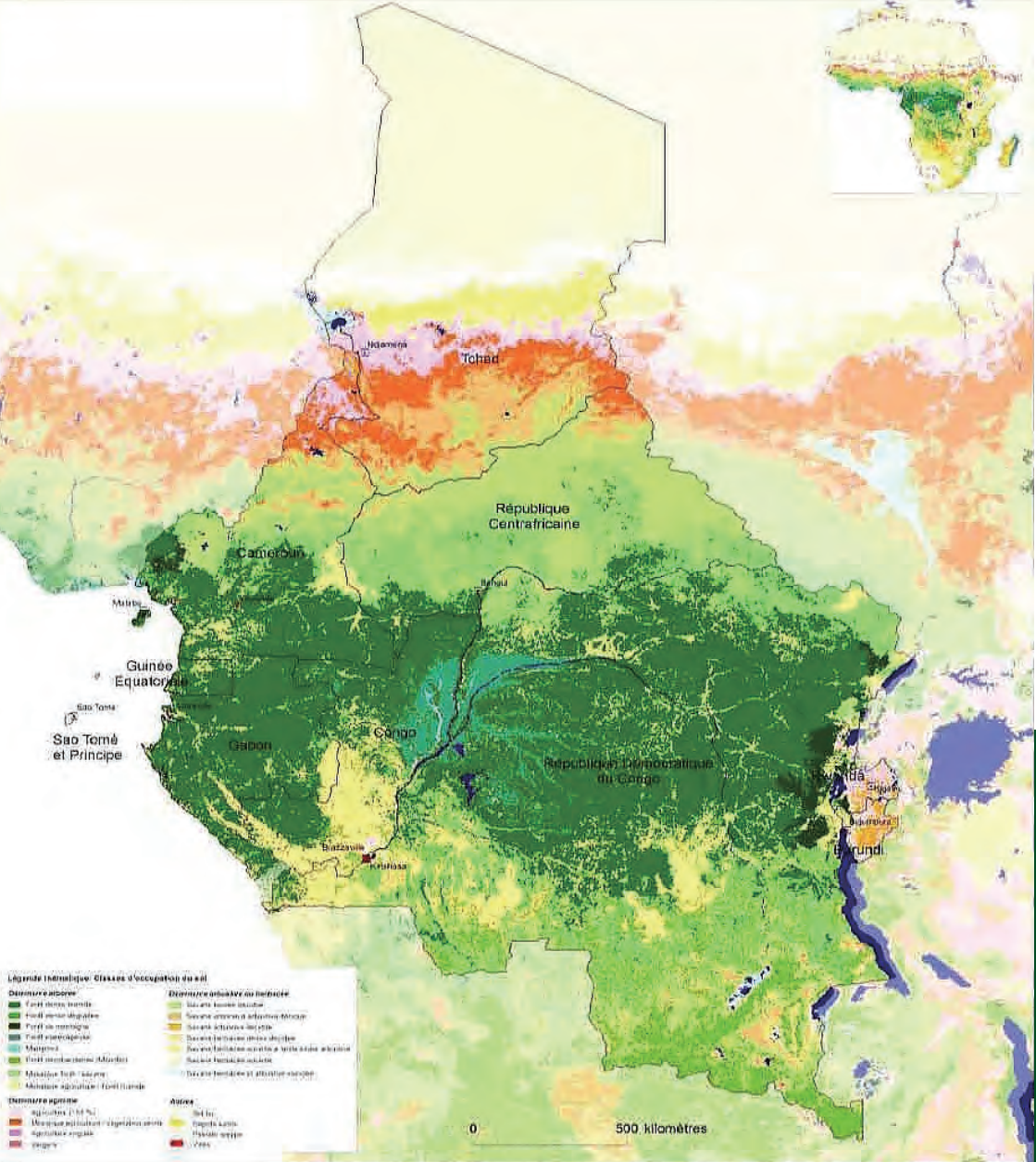
Saito H. (2018) REDD-plus Cookbook Annex. Survey Manual Vol.5. Satellite image analysis method for area estimation using remote sensing. (RI) REDD R & D Center, Forestry and Forest Products Research institute, 18pp.

Sato T. and Miyamoto K. (2016) REDD-plus Cookbook Annex. Survey Manual Vol.1. Ground Inventory Survey Method, (RI) REDD R & D Center, Forestry and Forest Products Research institute, 22pp



Ce document a été produit avec l'appui technique et financier du  
Projet de Promotion de la Conservation et de l'Utilisation durable  
de la Biodiversité et des Mesures contre le Changement  
Climatique dans les Pays de la COMIFAC





## Commission des forêts d'Afrique Cetrle

B.P. : 20818 Yaoundé - Cameroun

Tél : +237 222 21 35 11 / Fax : +237 222 21 35 12

Email : [comifac@comifac.org](mailto:comifac@comifac.org) / Web : [www.comifac.org](http://www.comifac.org)