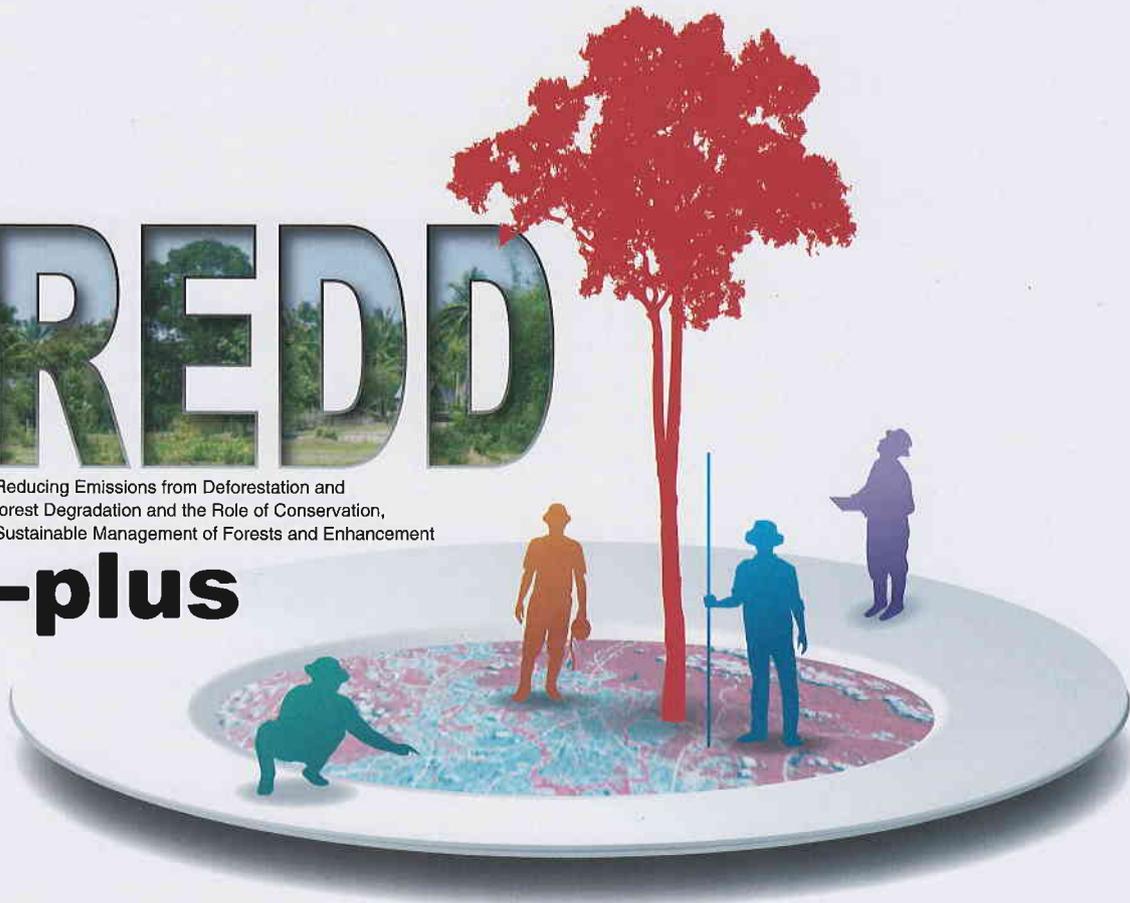


# REDD

Reducing Emissions from Deforestation and  
forest Degradation and the Role of Conservation,  
Sustainable Management of Forests and Enhancement

## -plus



# COOKBOOK

Comment mesurer et suivre le carbone forestier



# Préface

Le déboisement et la dégradation des forêts dans les pays en voie de développement se traduisent par 20 pour cent des émissions de CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone) anthropiques mondiales, et sont la principale source d'émissions de CO<sub>2</sub> après l'utilisation des combustibles fossiles. C'est pourquoi, on étudie la mise en place de la REDD-Plus en tant que système international pour réduire les émissions provenant du déboisement et de la dégradation des forêts. Initialement, REDD-Plus était considéré comme un des moyens d'atténuer le réchauffement climatique dans le futur sous la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Mais actuellement les activités bilatérales et multilatérales entre les pays même dans le domaine privé commencent à développer en devançant le cadre international.

Le concept de base de REDD-Plus est de fournir des incitations économiques telles que le financement ou les crédits aux pays en voie de développement pour les activités de REDD (réduction des émissions dues au déboisement et à la dégradation des forêts) et "Plus" les activités d'entretien des forêts pour la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et la baisse des niveaux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère par fixation du carbone. Ainsi, il est demandé de surveiller par une approche scientifique les variations de quantité de carbone forestier afin d'évaluer la réduction d'émission.

Ce livre est un manuel technique qui fournit, d'une manière simple, des connaissances de base et les techniques requises pour la REDD-Plus avec l'accent principal sur les méthodes de surveillance du carbone forestier. Il se compose de quatre parties: "Introduction", "planification", "technique" et "Guide de référence". "Introduction" est conçu pour les décideurs politiques et leurs organisations partenaires travaillant pour l'introduction de REDD-Plus au niveau national / sous-national, «Planification» est destiné aux planificateurs de REDD-Plus au niveau national / sous-national ou au niveau de projet, et "technique" pour les experts qui travaillent sur les activités REDD-Plus au niveau national / sous-national ou au niveau de projet. Le "Guide de référence" fournit les références des documents utiles qui aideront les utilisateurs à avoir une meilleure compréhension des parties « Introduction » et « Planification ». Afin d'avoir une meilleure compréhension de REDD-plus, il est recommandé de lire « Introduction » parallèlement avec « Planification », ou « planification » en parallèle avec « technique ».

Dans les sections « Introduction », « planification » et « techniques », les connaissances et les techniques nécessaires pour aborder REDD-Plus sont regroupées dans des unités appelées « recette ». Les utilisateurs peuvent facilement passer d'une recette à l'autre ou aux documents de référence en suivant le diagramme de flux. Le "Guide de référence" vise à fournir aux utilisateurs des informations utiles en proposant ou en montrant des exemples qui peuvent être utilisés pour le planning et la mise en œuvre d'un projet ou d'un programme.

Le présent livre a été utilisé par beaucoup de lecteurs depuis sa première publication en novembre 2012. Les technologies expliquées dans le livre sont les technologies universelles mais quelques passages ont été modifiés suivant l'évolution des négociations et la situation internationale. Nous souhaitons que notre centre de recherche et développement de REDD puisse contribuer au progrès de REDD Plus dans le monde.

décembre, 20112

REDD Research and Development Center  
Forestry and Forest Products Research Institute

# Table de matière

Diagramme de flux REDD-Plus	6
Introduction	7
<b>Chapitre 1 Qu'est-ce la REDD-Plus ?</b>	<b>8</b>
<b>Recette - I01 Histoire et mouvements actuels de la REDD-Plus</b>	<b>10</b>
Qu'est-ce la REDD-Plus ?/ Le contexte scientifique / Les raisons historiques /	
La situation actuelle de la REDD-Plus dans la CCNUCC /	
Les initiatives en dehors de la CCNUCC / Les défis d'avenir	
<b>Recette - I02 Les concepts majeurs de la REDD-Plus</b>	<b>14</b>
Définitions des forêts, du déboisement, de la dégradation des forêts et du Plus /	
L'échelle de la REDD-Plus / Les niveaux d'émissions de référence et les niveaux de référence /	
Les MNV des gaz à effet de serre, des stocks de carbone ainsi que de la superficie des forêts /	
Les crédits / L'approche par étapes / Mesures de sauvegarde	
<b>Chapitre 2 Conception du système de surveillance des forêts</b>	<b>20</b>
<b>Recette - I03 Mesure, notification et vérification (MNV) de la surveillance des forêts</b>	<b>22</b>
Système MNV / Mesure / Notification / Vérification /	
Conception d'un système de surveillance des forêts /	
Éléments à prendre en compte dans le cadre du système MNV de surveillance des forêts	
<b>Recette - I04 Conception d'un système de surveillance des forêts</b>	<b>26</b>
Conformité avec les accords et les règlements internationaux /	
Cohérence avec les circonstances ou le système du pays de mise en œuvre /	
Compétences et possibilités d'une opération durable des pays de mise en œuvre /	
Création d'un système progressif et souple	
Planification	29
<b>Chapitre 3 Connaissances de base indispensables aux initiatives de la REDD-Plus</b>	<b>30</b>
<b>Recette - P01 Définition des termes de forêt, déboisement, dégradation des forêts et Plus</b>	<b>32</b>
La forêt / Le déboisement / La dégradation des forêts / Plus	
<b>Recette - P02 L'approche par étapes</b>	<b>34</b>
Étape 1 : Préparation / Soutien à l'étape de préparation /	
Étape 2 : Mise en œuvre / Étape 3 : Mise en œuvre complète	
<b>Recette - P03 Les mesures de sauvegarde</b>	<b>38</b>
Qu'est-ce qu'une mesure de sauvegarde ? /	
Traitement des mesures de sauvegarde au sein de la CCNUCC /	

Mesures de sauvegarde environnementales et sociales /  
 Effets et importance des engagements dans les mesures de sauvegarde /  
 Problèmes systémiques des mesures de sauvegarde

## Chapitre 4 Le système de mesure, notification et vérification (MNV) du carbone des forêts 42

<b>Recette - P04</b>	<b>Mesure du carbone des forêts</b> .....	<b>44</b>
	Que mesurer ? / Comment mesurer ?	
<b>Recette - P05</b>	<b>Notification du carbone des forêts</b> .....	<b>46</b>
	Qu'est-ce qu'une notification ? / Communications nationales (National communications) / Catalogue national des gaz à effet de serre (inventaire) / Rapports biennaux de mise à jour et consultation et analyse internationale / Éxigences requises dans les rapports	
<b>Recette - P06</b>	<b>Vérification du carbone des forêts</b> .....	<b>50</b>
	Qu'est-ce qu'une vérification ? / Éléments requis et processus de la vérification / Approche fondamentale de la vérification dans le domaine de la foresterie / Vérification de la REDD-Plus	

## Chapitre 5 Surveillance grâce à la méthode de différence des stocks 54

<b>Recette - P07</b>	<b>Méthode de différence des stocks</b> .....	<b>56</b>
	Qu'est-ce que la méthode de différence des stocks ? / Estimation de la surface / Estimation de l'évolution de la surface / Estimation des stocks de carbone par unité de surface / Estimation sur des stocks de carbone totaux et variations de ces derniers	
<b>Recette - P08</b>	<b>Estimation de la surface au moyen de la télédétection</b> .....	<b>60</b>
	Types de données et de logiciels / Prétraitement des données / Définition des différentes classes / Réalité de terrain / Technique de classification / Vérification du degré de précision des résultats de classification / Estimation de l'évolution de la surface	
<b>Recette - P09</b>	<b>Estimation des stocks de carbone par unité de surface</b> .....	<b>64</b>
	Ressources disponibles / Méthode de mesure directe des stocks de carbone (méthode ayant recours aux placettes d'échantillonnage permanentes) / Méthode de mesure indirecte des stocks de carbone (méthode ayant recours à un modèle d'estimation)	
<b>Recette - P10</b>	<b>Méthode ayant recours aux placettes d'échantillonnage permanentes</b> .....	<b>66</b>
	Nombre requis et disposition des placettes / Conception et mesures des placettes d'échantillonnage permanentes / Analyse des données des placettes d'échantillonnage permanentes	
<b>Recette - P11</b>	<b>Méthode ayant recours à un modèle d'estimation des stocks de carbone du peuplement forestier</b> ..	<b>68</b>
	Élaboration et vérification du modèle / Méthode de la hauteur de l'étage dominant / Méthode du diamètre de la canopée / Méthode de l'âge de la communauté / Méthode du coefficient de rétrodiffusion	
<b>Recette - P12</b>	<b>Calcul des volumes des absorptions et des émissions</b> .....	<b>70</b>
	Calcul des stocks de carbone et leurs variations / Incertitude de la quantité calculée	
<b>Recette - P13</b>	<b>Niveau d'émissions de référence et niveaux de références</b> .....	<b>72</b>

Mise en place de niveaux d'émissions de référence et de niveaux de référence /  
 Débats actuels au sein de la CCNUCC / Organisation des différents défis à relever

Technique ..... 75

**Chapitre 6 Préparation dans le cadre de la mise en œuvre de la REDD-Plus 76**

**Recette - T01 Les inventaires forestiers nationaux ..... 78**

Qu'est-ce qu'un inventaire forestier national ? /

Le plan d'échantillonnage statistique des inventaires forestiers nationaux /

Placettes et investigations des inventaires forestiers nationaux /

Les inventaires forestiers nationaux dans les pays tropicaux

**Recette - T02 Que mesurer ? ..... 80**

Les gaz à effet de serre concernés par la REDD-Plus / Les cinq bassins de carbone

**Recette - T03 Les ressources disponibles ..... 82**

Les ressources de télédétection / Les ressources de l'enquête de terrain / Continuité des ressource

**Recette - T04 Les systèmes de certification de crédits indépendants ..... 84**

Situation actuelle du système de certification REV / Aperçu du VCS / Les défis d'avenir

**Chapitre 7 Estimation de la surface de forêt au moyen de la télédétection 86**

**Recette - T05 Différents types de données et leur choix ..... 88**

Plateforme / Capteur / Résolution spatiale, résolution spectrale et résolution temporelle /

Présent, passé et futur / Choix de données / Logiciel

**Recette - T06 Masquage des nuages et ajustage de la saisonnalité ..... 96**

Masquage des nuages / Ajustage de la saisonnalité

**Recette - T07 Définition des classes de terrains ..... 98**

Classes exhaustives et exclusives / Classification demandée / Intégration de classes après classification

**Recette - T08 Réalité de terrain ..... 100**

Qu'est-ce que la réalité de terrain ? /

Informations sur la localisation et la précision de la réalité de terrain /

Méthode d'échantillonnage / Tailles d'échantillon

**Recette - T09 Méthode de classification ..... 102**

Classification dans la télédétection / La classification basée pixel et la classification orientée-objets

**Recette - T10 Évaluation de la précision ..... 104**

Matrice d'erreur et indice de précision /

Les réalités de terrain à utiliser pour l'évaluation de la précision

**Recette - T11 Estimation du changement de surface ..... 110**

Comparaison des résultats de classification de 2 époques /

Extraction d'informations de changement par classification simultanée d'une série temporelle d'images /

Éléments à prendre en compte pour la comparaison d'images et la tendance actuelle

**Chapitre 8 la méthode des placettes d'échantillonnage permanentes 112**

**Recette - T12 Le nombre de placettes permanentes nécessaires et leur disposition ..... 114**  
Précision requise / Calcul pour trouver les nombres nécessaires / Stratification appropriée

**Recette - T13 Le planning des études avec placettes d'échantillonnage permanentes ..... 116**  
Surface de la placette / La forme de la placette / Préparation pour le recensement des arbres /  
Techniques d'augmentation de la précision de mesure

**Recette - T14 L'analyse des données obtenues par les placettes d'échantillonnage permanentes ... 120**  
Qu'est ce que l'équation d'allométrie ? /  
Choix de l'équation d'allométrie appropriée à la zone d'études

**Chapitre 9 Méthode d'estimation au moyen du modèle des stocks de carbone du peuplement forestier 124**

**Recette - T15 Élaboration du modèle ..... 126**  
Echantillonnage double /  
Estimation indirecte des stocks de carbone forestier à l'aide du modèle de régression /  
Évaluation de la précision et des frais générés /  
Éléments à prendre en compte pour l'application de la modélisation à la forêt

**Recette - T16 Méthode de la hauteur de l'étage dominant ..... 130**  
La relation entre la hauteur de l'étage dominant et la biomasse /  
Mesure de la hauteur de l'étage dominant par télédétection /  
Éléments influençant l'estimation de la hauteur de l'étage dominant

**Recette - T17 Méthode du diamètre de la canopée ..... 132**  
Qu'est-ce que la méthode du diamètre de la canopée ? /  
Élaboration des équations du diamètre de la canopée et la biomasse /  
Éléments à prendre en compte pour l'application de la méthode du diamètre de la canopée

**Recette - T18 Méthode de l'âge de la communauté ..... 134**  
Qu'est-ce que la méthode de l'âge de la communauté ? /  
Élaboration des équations à l'aide d'enquête de terrain /  
Avantages et inconvénients de la méthode de l'âge de la communauté

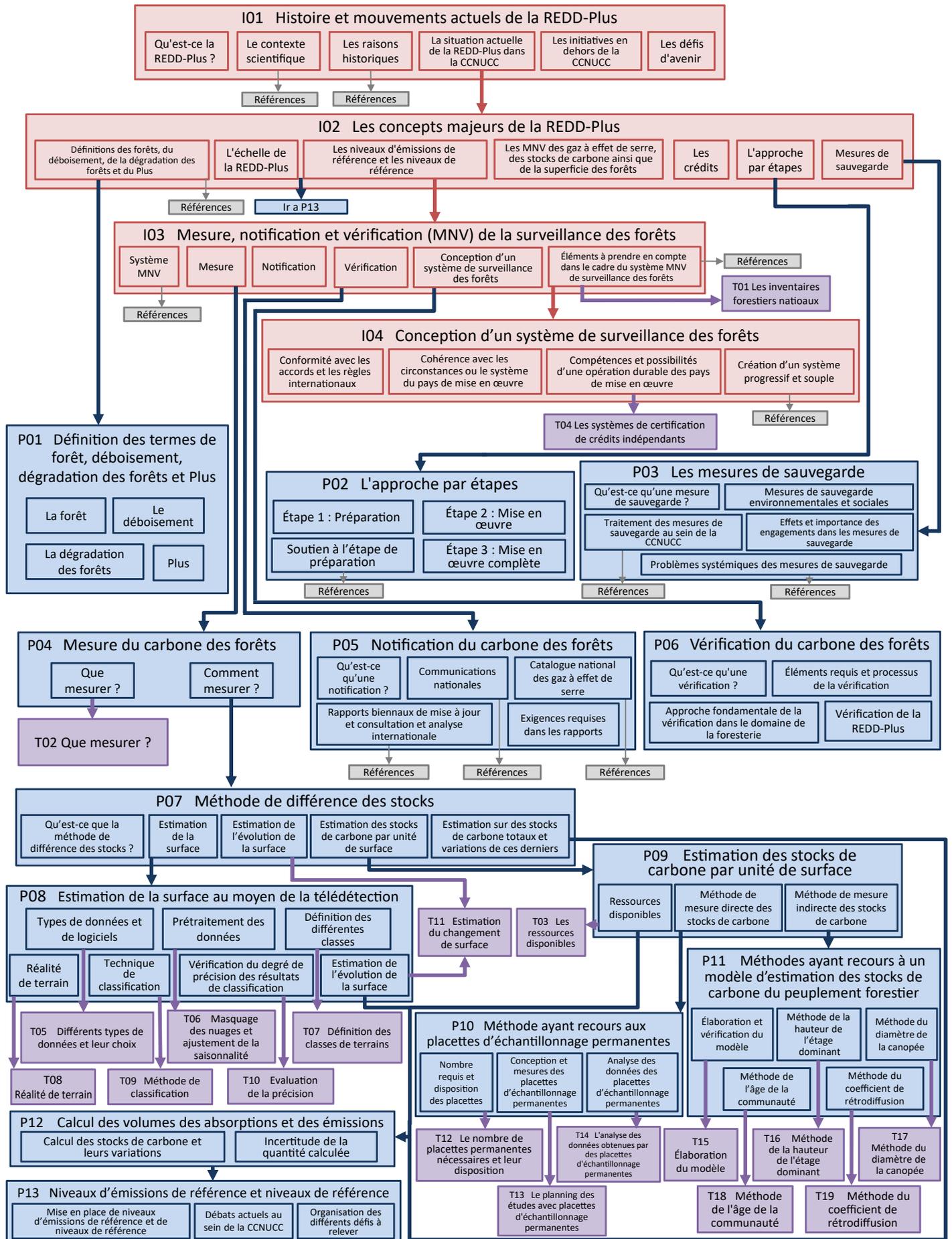
**Recette - T19 Méthode du coefficient de rétrodiffusion ..... 136**  
Qu'est-ce que la méthode du coefficient de rétrodiffusion ? /  
Élaboration d'un modèle d'estimation par enquête de terrain /  
Exemple d'estimation de la biomasse /  
Avantages et inconvénients de la méthode du coefficient de rétrodiffusion

**Guide de référence ..... 139**

**Index ..... 152**

**Auteurs ..... 156**

# Diagramme de flux REDD-Plus



# Introducción



# 1

## Chapitre 1 Qu'est-ce la REDD-Plus ?



Une mesure d'atténuation du réchauffement climatique consistant à réduire les émissions de gaz à effet de serre liés au déboisement et à la dégradation des forêts (REDD) dans les pays en développement a été proposée par la Papouasie-Nouvelle-Guinée et le Costa Rica lors de la 11ème Conférence des Parties (COP11) de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). En outre, à l'occasion de la COP13, des initiatives en vue de la préservation et de la gestion durable des forêts ainsi que du renforcement des stocks de carbone des forêts ont été intégrées, ce qui a abouti à la REDD-Plus.

Ce chapitre décrit les raisons historiques et la situation actuelle du débat sur la REDD-Plus au sein de la CCNUCC et présente également les initiatives prises à l'extérieur de la CCNUCC. Les concepts majeurs apparus au cours des négociations de la REDD-Plus seront également développés.

I01 Histoire et mouvements actuels de la REDD-Plus

I02 Les concepts majeurs de la REDD-Plus

## Histoire et mouvements actuels de la REDD-Plus

Le volume des émissions de CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone) causées par le déboisement et la dégradation des forêts dans les pays en développement représente environ 20 % de l'ensemble des émissions résultant de l'activité humaine et constituent ainsi une grande source d'émission après l'utilisation des combustibles fossiles. C'est pour cette raison qu'un débat a vu le jour en vue de la création de la REDD-Plus : un système international visant à la réduction des émissions liées au déboisement et à la dégradation des forêts. Cette recette explique le contexte scientifique, les raisons historiques et la situation actuelle de la REDD-Plus.

### Qu'est-ce la REDD-Plus ?

La REDD-Plus est l'acronyme pour la réduction des émissions liées au déboisement et à la dégradation des forêts auquel s'ajoute un rôle de préservation et de gestion durable des forêts ainsi que de renforcement des stocks de carbone (Reducing emissions from deforestation and forest degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries). Au départ, elle indiquait l'ordre du jour relatif aux mesures d'atténuation du réchauffement climatique à l'avenir sous l'égide de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Cependant, alors que ces dernières années la discussion ne s'est pas limitée au cadre des Nations Unies et que des activités basées sur des accords bilatéraux et multilatéraux ou développées dans le secteur privé prennent le devant, le terme de REDD-Plus est utilisé de manière plus large pour l'ensemble des activités de préservation des forêts réalisées dans les pays en développement ayant pour objectif l'atténuation du réchauffement climatique. De manière générale, le terme de REDD-Plus signifie le mécanisme au cours duquel des activités sont réalisées en vue de réfréner notamment le déboisement et la dégradation des forêts pour réduire le volume des émissions de gaz à effet de serre ou augmenter le volume des absorptions de ces derniers. Le mécanisme de la REDD-Plus permet également de prétendre à des incitations économiques (crédits, fonds, etc.).

#### INFO

1) Denman KL, Brasseur G, Chidthaisong A, Ciais P, Cox PM, Dickinson RE, Hauglustaine D, Heinze C, Holland E, Jacob D, Lohmann U, Ramachandran S, da Silva Dias PL, Wofsy SC, Zhang X (2007) Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, 499-587

### Le contexte scientifique

L'impact majeur des émissions de CO<sub>2</sub> issues du déboisement ainsi que de la dégradation des forêts sur le cycle du carbone terrestre a été relevé dans le troisième rapport d'évaluation (TAR) publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en 2001. Par ailleurs, le quatrième rapport d'évaluation du GIEC (AR4) publié en 2007 constate qu'au sein du cycle de carbone terrestre des années 1990 environ 80 % du volume des émissions de CO<sub>2</sub> proviennent de l'utilisation des combustibles fossiles ainsi que de la production de ciment alors que les 20 % restant proviennent du changement d'affectation des terres, autrement dit du déboisement <sup>1)</sup>. Aussi, 65 % du potentiel de réduction dans le domaine forestier est localisé dans la zone tropicale et 50

% de ce potentiel pourrait être réalisé rien qu' en réduisant les émissions du déboisement dans cette zone <sup>2)</sup>. Par ailleurs, l'Organisation des Nations Unies pour l' agriculture (FAO) constate que le déboisement est sévère au Brésil, en Indonésie et en Afrique tropicale <sup>3)</sup> et le rapport Stern met l'accent sur le fait que réfréner le déboisement a un rapport coût-efficacité élevé dans le cadre de la réduction des gaz à effet de serre <sup>4), 5)</sup>.

Le 4ème rapport d'évaluation du GIEC consacre de nombreuses pages à l'explication de l'importance des effets des activités visant à réfréner le déboisement et la dégradation des forêts dans les pays en développement qui, sans se limiter aux mesures d'atténuation du réchauffement climatique, contribuent également à la société locale et aux habitants de la région grâce au maintien et à l'amélioration des services écosystémiques provenant de la forêt tels que la biodiversité, les produits, les ressources en eau, l'environnement, etc.

Cependant, même si l'importance et la signification d'un contrôle du déboisement et de la dégradation des forêts dans les pays en développement ont été constatées de manière précoce, aucune structure ayant pour objectif de réfréner le déboisement et la dégradation des forêts dans les pays en développement n'a été intégrée à la CCNUCC. C'est dans un tel contexte scientifique que la création du système de la REDD-Plus se poursuit.

## Les raisons historiques (voir I02)

Un débat international sur la REDD-Plus a été organisé à Montréal en 2005 en partant de la proposition faite par la Papouasie-Nouvelle-Guinée et le Costa Rica dans le cadre de la 11ème Conférence des Parties (COP11) en vue de mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre par le contrôle du déboisement (Reducing emissions from deforestation in developing countries: approaches to stimulate action). Cette proposition est devenue l'ordre du jour de l'organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologiques (SBSTA) et a été communément nommé la REDD, un acronyme de l'anglais Reducing emissions from deforestation in developing countries (réduction des émissions liées au déboisement dans les pays en développement). Le SBSTA a alors entamé une étude sur deux années devant aboutir à un rapport à l'occasion de la COP13. Or, au cours de cette étude, de nombreux pays en développement ont revendiqué la nécessité de ne pas s'attaquer uniquement à la réduction des émissions liées au déboisement, mais également à la dégradation des forêts et d'englober également des initiatives de préservation des forêts, de gestion durable des forêts ainsi que de renforcement des stocks de carbone des forêts (c'est-à-dire les activités Plus). Ce débat a été l' occasion lors de la COP13 organisée à Bali en 2007, de mettre au point un concept au sens élargi englobant de telles initiatives qui servirait de thème à débattre en vue de la création d'un cadre dès 2013 bientôt communément appelé la REDD-Plus.

Par la suite, au bout d'une étude de deux années supplémentaires, l'accord de Copenhague, conclu en 2009 lors de la COP15, mentionne la nécessité de créer rapidement le cadre de la REDD-Plus, y compris son mécanisme financier <sup>6)</sup>. En outre, la méthodologie de la REDD-Plus constitue la base de la méthodologie technologique actuelle fondée sur un accord passé stipulant l'utilisation des dernières lignes directrices du GIEC, la création

### INFO

2) Nabuurs GJ, Masera O, Andrasko K, Benitez-Ponce P, Boer R, Dutschke M, Elsiddig E, Ford-Robertson J, Frumhoff P, Karjalainen T, Krankina O, Kurz WA, Matsumoto M, Oyhantcabal W, Ravindranath NH, Sanz Sanchez MJ, Zhang X (2007) Forestry. In: Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, 541-584

### INFO

3) FAO (2006) Extent of forest resources. In: Global Forest Resources Assessment 2005. FAO Forestry Paper 147:11-36

### INFO

4) Stern N (2007) Identifying the costs of mitigation. In: Stern review on the economics of climate change. Cambridge University Press, 211-238

### INFO

5) Cette remarque se fonde sur l'évaluation des coûts d'opportunité du changement d'affectation des terres et ne prend pas en considération le développement d'un système au sein du pays ainsi que les coûts relatifs à la création d'un système de surveillance qui sont requis actuellement par la REDD-Plus.

### INFO

6) UNFCCC (2009) Decision 2/CP.15, FCCC/CP/2009/11/Add.1, 4-7, UNFCCC

**INFO**

7) UNFCCC (2009) Decision 4/CP.15, FCCC/CP/2009/11/Add.1, 11-12, UNFCCC

**INFO**

8) UNFCCC (2010) III-C, Decision 1/CP.16, FCCC/CP/2010/7/Add.1, 12-14, UNFCCC

**INFO**

9) UNFCCC (2011) Decision 12/CP.17, FCCC/CP/2011/9/Add.2, 16-18, UNFCCC

d'un système de surveillance des forêts au niveau national (ou infranational), une méthode d'estimation combinant la télédétection et les enquêtes de terrain ainsi que la prise en compte des données historiques et de la situation dans chaque pays pour la mise en place de niveaux de référence permettant l'évaluation des activités <sup>7)</sup>.

À l'occasion de la COP16 organisée à Cancún en 2010, les éléments servant de cadre fondamental à la REDD-Plus tels que les réflexions sur les cinq activités visées par celle-ci sur le processus de mise en œuvre progressive appelé approche par étapes (phased approach) ainsi que sur les mesures de sauvegarde ont été dévoilés <sup>8)</sup> (Tableau I01-1). À l'heure actuelle en 2012, les discussions au sujet de la REDD-Plus au sein de la CCNUCC sont menées en vertu de l'Accord de Cancún.

**La situation actuelle de la REDD-Plus dans la CCNUCC (voir I02)**

Lors de l'accord de Durban pour la COP17 en 2011, il a été convenu d'une feuille de route au sujet de la création d'un nouveau cadre rassemblant l'ensemble des pays remplaçant le protocole de Kyoto qui verrait son aboutissement en 2015 et qui prendrait effet et serait appliqué dès 2020. La REDD-Plus, positionnée au sein d'un nouveau cadre, consoliderait sa méthode et ses règles d'exécution jusqu'en 2015 avec pour horizon sa mise en action dès 2020.

À l'occasion de la COP17, les parties sont parvenues à un accord sur la REDD-Plus au sujet des orientations pour un système d'informations relatif aux mesures de sauvegarde telle que la préservation de la biodiversité, les niveaux d'émissions de référence ainsi que les conditions requises par les niveaux de référence <sup>9)</sup>. En outre, il a été décidé que la réflexion se poursuivrait au sujet de l'identification des causes du déboisement et de la dégradation des forêts, du développement d'une méthode d'évaluation des mesures prises à leur

encontre, des modalités (déroulement global, cadre général) de la méthode d'estimation du volume des émissions et des absorptions dans les forêts et du système MNV (mesure, notification, vérification), mais également à propos du système de surveillance des forêts nationales. Par ailleurs, les fonds destinés notamment aux mesures de lutte contre le déboisement et la dégradation des forêts des pays en développement ainsi que le cadre de soutien des pays développés sont également devenus des sujets d'étude futurs.

Tableau I01-1 Les points essentiels des actions à prendre relatives à la REDD-Plus dans le cadre de l'Accord de Cancún

1	Les pays signataires devraient collectivement viser à ralentir, arrêter et renverser la perte de la couverture forestière et le carbone
2	Ils encouragent les pays en développement à entreprendre les activités suivantes: (a) Réduction des émissions dues au déboisement, (B) Réduction des émissions dues à la dégradation des forêts, (C) Conservation des stocks de carbone forestier, (d) Gestion durable des forêts, et (e) Amélioration des stocks de carbone forestier.
3	Ils ont indiqué comme orientation pour la mise en place du REDD-Plus, la compatibilité avec l'objectif d'intégrité environnementale, la prise en compte des fonctions multiples des écosystèmes tel que la forêts, le respect de la souveraineté des états, l'évaluation axée sur les résultats et la promotion de la gestion durable des forêts.
4	Les pays en développement devraient planifier les éléments suivants : (a) Une stratégie nationale, (B) Un niveau d'émission de référence national, (C) Un système de surveillance des forêts, (D) Un système d'information sur les mesures de sauvegardes.
5	Les activités de REDD-Plus devraient être mises en œuvre en 3 étapes selon la situation du pays, sa capacité, son avenir et l'importance de l'aide dont il bénéficie : La première étape (Préparation), la seconde étape (Mise en œuvre), la 3ème étape (Mise en œuvre intégrale).
6	Comme mesures de sauvegardes, 7 actions à promouvoir ou qui doivent être soutenues ont été indiquées telles la gouvernance forestière, le respect du droit et de la connaissance des peuples autochtones, la cohérence avec le maintien des forêts naturelles et de la biodiversité etc.

## Les initiatives en dehors de la CCNUCC

Bien que le débat sur la REDD-Plus au sein de la CCNUCC se poursuive, il reste encore du chemin jusqu'à ce que l'on parvienne à un accord fondé sur l'approbation de l'ensemble des pays participants. Malgré cela, le déboisement et la dégradation des forêts se poursuivent de manière accrue et il est nécessaire de mettre en œuvre rapidement les activités de la REDD-Plus afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Pour cela, des initiatives indépendantes de la CCNUCC sont menées.

Le Partenariat REDD-Plus créé en mai 2010 consiste à la mise en œuvre de la REDD-Plus par des pays volontaires hors du cadre de la CCNUCC. Des programmes bilatéraux et multilatéraux sont menés avec notamment le fonds de partenariat pour le carbone forestier (FCPF), l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), l'ONU-REDD par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), l'Initiative internationale pour le carbone forestier (IFCI) de l'Australie, etc. Le gouvernement japonais annonce son intention de poursuivre le mécanisme bilatéral de crédit de compensation (ou BOCM pour Bilateral Offset Crediting Mechanism) et envisage d'y intégrer la REDD-Plus en tant qu'activité intégrée à ce mécanisme.

Par ailleurs, VCS (Verified Carbon Standards), un organisme privé de crédits carbone reconnu, systématise de façon instantanée l'instauration de crédits grâce aux activités de la REDD-Plus et s'emploie déjà de manière large dans les activités de celle-ci au niveau des projets indépendants (voir T04).

## Les défis d'avenir

Il est nécessaire à propos du système de surveillance des forêts nationales ou des conditions requises pour les MNV (voir I03) d'accorder de l'importance également au potentiel d'exécution en conservant un point de vue scientifique et de faire refléter de manière adéquate les initiatives et les expériences qui sont poursuivies à l'heure actuelle dans les pays en développement.

En ce qui concerne les niveaux de référence, une méthode de détermination non pas théorique, mais basée sur des cas concrets s'avère indispensable. À l'heure actuelle, le grand défi à venir consiste à parvenir à effectuer des ajustements en fonction de la situation de chaque pays en ce qui concerne les tendances historiques d'émissions.

Bien que les mesures de sauvegarde (voir P03) constituent un élément majeur, la nature et l'ampleur des exigences restent obscures et c'est pour cette raison qu'une méthode d'évaluation ainsi qu'une méthode de notification adéquates sont requises.

Aussi, au sein des pays de mise en œuvre de la REDD-Plus, en parallèle avec les initiatives en vue de la création du système de la REDD-Plus au niveau national (ou infranational) fondé sur la CCNUCC, des initiatives indépendantes au niveau de projets menés par des organismes privés se développent. Cependant, la manière de les mettre en relation de façon cohérente au sein du cadre de la REDD-Plus dans le monde entier constitue un défi à venir.

## Les concepts majeurs de la REDD-Plus

La recette ci-dessus correspond à la  
 Recette I01 Histoire et mouvements  
 actuels de la REDD-Plus

On trouve dans la REDD-Plus des débats représentant les divers points de vue qui ont été engagés jusqu'à présent au sein de la CCNUCC l'un après l'autre ainsi que plusieurs concepts majeurs pour comprendre son mécanisme. Cette recette interprète les concepts majeurs présents dans le cadre de la REDD-Plus en se basant principalement sur les débats animés par la CCNUCC.

### Définitions des forêts, du déboisement, de la dégradation des forêts et du Plus (voir P01)

Dans le cadre de la 11ème Conférence des Parties (COP11) de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), la réduction des émissions de gaz à effet de serre liées au déboisement et à la dégradation des forêts (REDD) dans les pays en développement a été proposée par la Papouasie-Nouvelle-Guinée et le Costa Rica en tant que mesure d'atténuation du réchauffement climatique et est devenue l'ordre du jour de l'Organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologiques (SBSTA). Par ailleurs, à l'occasion de la COP13, des initiatives en vue de la préservation et de la gestion durable des forêts ainsi que du renforcement des stocks de carbone des forêts ont été intégrées et ces activités au sens large, dont ces initiatives, en sont venues à être nommées communément la REDD-Plus. Ainsi, à l'heure actuelle, REDD et « Plus » sont considérés comme un seul élément. Cependant, il s'agit d'éléments très différents dans le sens où, alors que le REDD représente des activités consistant à réfréner la pression de l'être humain venant de l'extérieur de la forêt telle que le développement des terres agricoles et l'abattage sélectif abusif, « Plus » représente des activités directes

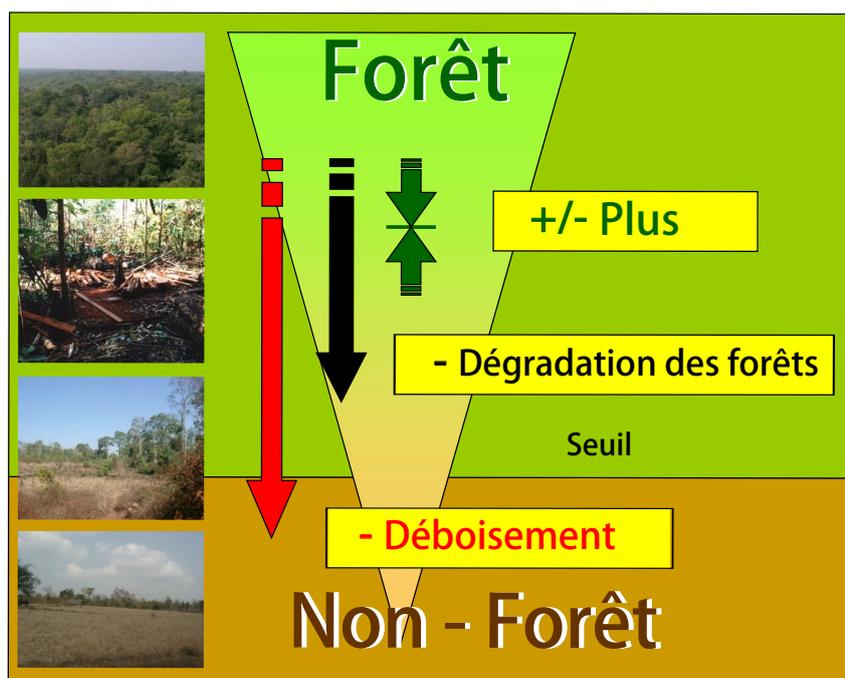


Figure I02-1 Définitions des forêts, du déboisement, de la dégradation des forêts et du Plus

dans les forêts afin de maintenir voire renforcer les stocks de carbone des forêts.

Dans les lignes directrices du GIEC, il n'existe pas de définition numérique des « forêts » et la même définition est employée de manière unifiée et chronologique pour un même pays en fonction de la définition donnée par chaque pays. D'autre part, l'évaluation des ressources forestières (FRA) de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et le Protocole de Kyoto adoptent tous deux une approche apportant une définition numérique malgré la différence de critères au sujet de la plus petite superficie, de la hauteur totale minimale pour un arbre ainsi que du taux du couvert forestier minimal. Dans le Protocole de Kyoto, le « déboisement » est définie comme une conversion anthropique directe depuis la « forêt » à la « non-forêt » (Figure I02-1). On considère que le « déboisement » dans le contexte de la REDD-Plus est conforme à cette définition. Cependant, la manière de déterminer la conversion anthropique directe ainsi que la manière de définir la « la dégradation des forêts » et le « Plus » restent à éclaircir.

## L'échelle de la REDD-Plus

En cas de mise en œuvre de la REDD-Plus, nous envisageons que l'échelle concernée se décline sur trois niveaux différents à savoir le niveau national (national level), le niveau infranational (sub-national level) et le niveau de projets. En cas de restrictions sur les régions cibles, une substitution (déplacement ; concept synonyme de fuites dans le CDM), à savoir le déboisement et la dégradation des forêts dans d'autres régions est susceptible de se produire en contrepartie d'un contrôle réussi du déboisement et de la dégradation des forêts dans la région en question. Afin de prévenir ce phénomène, la CCNUCC considère qu'il est nécessaire de traiter les fuites au-delà des frontières par l'augmentation du nombre de pays participants en proposant pour la REDD-Plus une échelle au niveau national. Cependant, à l'heure actuelle, le courant de pensée principal considère que la participation ou la non-participation des pays à la REDD relève avant tout de la volonté des pays concernés et l'on craint l'apparition d'une substitution des émissions au-delà des frontières. Par exemple, on pense qu'en cas de renforcement des activités de régulation des abattages illégaux dans un pays, les acteurs de l'abattage illégal procéderaient à ces mêmes actes dans d'autres pays au-delà des frontières. Dans ce cas, bien que la REDD constituerait une réussite dans le pays ayant renforcé la régulation, des émissions des gaz à effet de serre similaires seraient réalisées dans les pays où les abattages ont été déplacés.

L'idéal est la mise en œuvre de la REDD-Plus au niveau national. Cependant, dans les faits, on considère qu'en fonction des compétences de mise en œuvre et de la taille de chacun des pays, il est compliqué de la mettre en œuvre du jour au lendemain au niveau national. C'est pour cette raison que, dans le cadre d'un rassemblement de la CCNUCC, il a été proposé une échelle au niveau infranational (sub-national level). Cependant, il n'existe pas de définition claire de l'échelle dite infranationale et il est probable que la taille de la région concernée diffère grandement en fonction de la taille du pays ainsi que de la manière de diviser. Prenons par exemple un pays composé des provinces A, B et C dans

## INFO

1) Denman KL, Brasseur G et al. (2007) Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry, Climate Change 2007 - The Physical Science Basis (IPCC), 499-587, Cambridge University Press.

lequel ont été menées des activités de la REDD-Plus au niveau infranational dans les deux provinces A et B. Dans le cas de figure où les provinces A et B visent respectivement une réduction d'émissions d'une unité et de deux unités et qu'une augmentation de quatre unités a été enregistrée dans la province C, alors qu'on assiste à une augmentation des émissions d'une unité au niveau de l'ensemble du pays, la réduction des émissions a réussi au niveau infranational. Pour cela, on peut considérer que l'échelle concernée, à savoir le niveau infranational, est efficace pour passer à une mise en œuvre précoce de la REDD-Plus et cette échelle devient finalement une mesure de transition pour le passage vers une mise en œuvre au niveau national <sup>1)</sup>.

Alors que le mécanisme de la REDD-Plus sous l'égide de la CCNUCC présente des difficultés à s'établir, des activités indépendantes au niveau de projets réalisées par des entreprises ou des ONG par exemple sont menées au titre d'initiatives indépendantes. Alors que des activités concrètes de la REDD-Plus présentent une efficacité par le biais de mises en œuvre au niveau de projets, dans plusieurs projets réalisés dans le même pays, les stocks de carbone des forêts ainsi que leur évolution sont évalués au moyen de systèmes différents dont la précision est susceptible de différer grandement. Dans le cas où la REDD-Plus a été entièrement réalisée au niveau national, la manière d'intégrer les estimations de stocks de carbone liés à des initiatives au niveau de projets dont la précision est différente dans les estimations au niveau national pose un problème majeur.

## Les niveaux d'émissions de référence et les niveaux de référence (voir P13)

L'idée fondamentale de la REDD-Plus consiste à fournir certaines incitations économiques (fonds, crédits) pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> par le biais d'initiatives menées par les pays en développement en vue de réfréner le déboisement et la dégradation des forêts (les activités de la « REDD »), mais également en vue de la prévention des émissions de carbone ou de la réduction du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère par la fixation du carbone grâce à la préservation des forêts (les activités « Plus ») (Figure I02-2). À cette occasion, afin de calculer la réduction effective en établissant une comparaison avec des cas où aucune initiative pour la REDD-Plus n'a été réalisée, des niveaux d'émissions de référence ainsi que des niveaux de référence sont mis au point.

La différence entre les niveaux d'émissions de référence et les niveaux de référence a été débattue lors du deuxième rassemblement de spécialistes organisée sur la demande du SBSTA. En conclusion, les pays ont émis deux opinions différentes : certains ont appelé les émissions nettes les niveaux d'émissions de référence et les absorptions nettes les niveaux de référence, alors que pour d'autres, les éléments liés aux activités de réduction d'émissions liées au déboisement et à la dégradation des forêts se rapportent aux niveaux d'émissions de référence et les éléments liés aux activités « Plus » se rapportent aux niveaux de référence. Dans certains cas, il est arrivé qu'un même pays adopte ces deux opinions.

Lors de la COP15, il a été décidé qu'en cas de détermination par les pays en développement de niveaux d'émissions de référence ainsi que de niveaux de référence, ces

derniers devaient être définis en tenant compte de la situation de chacun des pays tout en garantissant la transparence grâce à l'utilisation de données historiques. La COP16 a décidé que des niveaux d'émissions de référence des forêts ou des niveaux de référence des forêts au niveau national ou, en tant que mesure transitoire au niveau infranational, devaient être établis de la REDD-Plus dans les pays en développement. Pourtant, à l'heure actuelle, leur définition ou leur méthode de détermination n'ont toujours pas été montrées.

### Les MNV des gaz à effet de serre, des stocks de carbone ainsi que de la superficie des forêts (voir I03)

Lors du débat sur le cadre à compter de 2013 à la fin de la première période d'engagement du Protocole de Kyoto mené par la CCNUCC, l'accent a été mis sur l'importance du système MNV (MRV en anglais) signifiant mesure (measurement), notification (reporting) et vérification (verification). Même dans le cadre de la mise en œuvre de la REDD-Plus, la réalisation du système MNV pour les stocks de carbone des forêts est d'une importance extrême dans le sens où elle garantit la transparence. En particulier, pour apporter des incitations économiques telles que des crédits, un système MNV de haute précision est nécessaire.

Afin de mesurer avec une précision correcte au niveau national les stocks de carbone des forêts ainsi que leurs variations, un système de surveillance des forêts est indispensable. L'orientation sur la méthodologie fixée lors de la COP15 de la CCNUCC, exige des pays en développement de créer un système de surveillance des forêts nationales solide et doté d'une grande transparence. En tant que système de surveillance, un système de mesure du bilan des gaz à effet de serre, des stocks de carbone des forêts ainsi que de l'évolution de la superficie forestière combinant la télédétection et les enquêtes de terrain est recommandé.

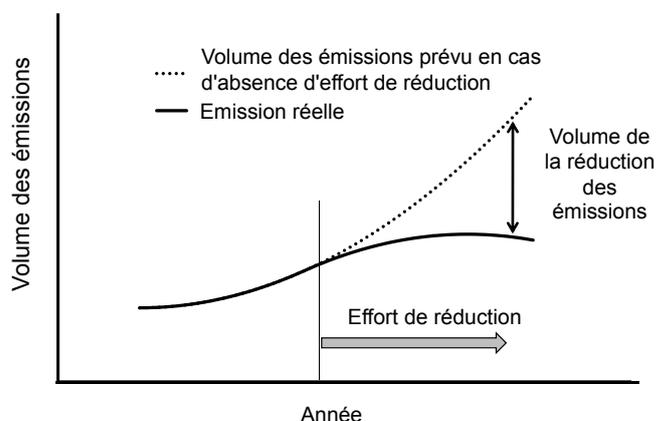


Figure I02-2 L'idée de réduction du volume des émissions

Les crédits liés aux résultats de la REDD-Plus sont délivrés sur la base des résultats de ces mesures. Afin de garantir la fiabilité et la transparence des résultats de réduction des gaz à effet de serre ainsi que des crédits liés à la REDD-Plus, un système consistant à notifier les résultats mesurés et à vérifier le contenu de ces notifications devient nécessaire.

## Les crédits

Ainsi que nous l'avons mentionné dans « les niveaux d'émissions de référence et les niveaux de référence », le mécanisme de la REDD-Plus constitue une structure permettant d'apporter des incitations économiques sur la base des performances de réduction à l'égard des efforts de réduction du CO<sub>2</sub> engagés par les pays en développement, à savoir les activités en vue de réfréner le déboisement et la dégradation des forêts ainsi que la préservation des forêts, etc. On envisage actuellement que les crédits carbone puissent faire partie de ces incitations économiques. À la CCNUCC, la méthode de financement par des fonds et la méthode de financement par le mécanisme de marché sont proposées pour la mise en œuvre de la REDD-Plus et l'on envisage également une forme complexe de ces deux méthodes. Dans le cadre du mécanisme de marché, la réduction des émissions et l'augmentation des absorptions liées à la mise en œuvre de la REDD-Plus seraient traitées en tant que crédits.

Le mécanisme de la REDD-Plus est actuellement en cours de création au sein de la CCNUCC. Cependant, des initiatives de la REDD-Plus au niveau de projets ont été lancées par des entreprises ou des ONG par exemple dans divers endroits du globe et des échanges de crédits sur le marché du carbone indépendant ont commencé (voir T04). À l'avenir, dans le cas de la mise en œuvre de la REDD-Plus au niveau national ou infranational, il est possible d'employer le système MNV de précision sur la différence entre les crédits au niveau national et infranational et les crédits échangés sur le marché du carbone indépendant. Dans de tels cas, il s'agit de réussir à trouver l'équilibre. Par ailleurs, il existe deux sortes de crédits : les crédits utilisés sur le marché réglementé du carbone en vue de la réalisation des objectifs ciblés de chaque pays tels que les crédits de Kyoto et les crédits employés dans le marché indépendant tels que les crédits de compensation. La question de la nature des crédits de la REDD-Plus à l'avenir constitue un point d'intérêt majeur pour les différents acteurs.

## L'approche par étapes (voir P02)

L'idée fondamentale de la REDD-Plus est la création d'incitations économiques sur la base des résultats, d'où la nécessité du système de MNV du carbone des forêts mentionné ci-dessus. Or, dans la majorité des pays en développement, les données historiques n'ont pas été préparées et il existe en outre un écart dans les compétences de mise en œuvre. Pour cette raison, à partir de l'idée selon laquelle il est nécessaire de poursuivre des initiatives progressives en fonction de la situation actuelle de chacun des pays, la

méthode appelée « approche par étapes » a été proposée et débattue lors de comités de négociation, puis confirmée une nouvelle fois et consentie lors de l'Accord de Cancún à l'occasion de la COP16.

L'approche par étapes permet de mettre en œuvre la REDD-Plus en franchissant les trois étapes que sont la phase de préparation (readiness) en qualité de première phase consistant à développer ses compétences (capacity building) et à formuler sa stratégie, la phase de mise en œuvre (implementation) en qualité de deuxième phase consistant à mettre en œuvre la stratégie y compris les activités d'expérimentation et la phase de mise en œuvre complète (full implementation) en qualité de troisième phase consistant au passage vers des activités permettant des incitations économiques adaptées à la quantité de réduction d'émissions dans le cadre du système MNV complet.

Cette approche ne permet pas d'exiger aux pays en développement un système MNV du carbone des forêts doté d'une haute précision lors de la première phase. Ainsi, l'on pense qu'il n'est pas possible de les traiter de la même manière que les résultats du système MNV du carbone des forêts de la troisième phase de mise en œuvre complète. Pour cette raison, lors de la première phase, il est proposé d'avoir recours à des APD ou autres fonds en vue des activités de la REDD-Plus.

## Mesures de sauvegarde (voir P03)

L'idée fondamentale de la REDD-Plus dont le débat a commencé en tant que mesure d'atténuation du changement climatique consiste à considérer que des incitations économiques sont accordées en faveur des efforts accrus pour réfréner la réduction des stocks carbone des forêts. On craint qu'afin d'obtenir ces incitations économiques, des restrictions ou interdictions concernant l'utilisation des forêts à l'égard de la société locale ou des habitants de la région ne se produisent et que l'on évolue de forêts naturelles vers des forêts artificielles dont la vitesse de croissance est plus grande. Ce phénomène débouche sur le risque de provoquer une violation des droits de la société locale et des habitants de la région et la disparition de la biodiversité. Par conséquent, les débats de la CCNUCC appuient la nécessité de mener une politique et de prendre des mesures dites de sauvegarde pour prévenir les risques susceptibles de porter atteinte à l'efficacité des activités de la REDD-Plus et limiter l'influence négative sur la société et l'environnement, mais au contraire accroître l'influence positive.

Lors de la réunion des parties de la Conférence sur la biodiversité, les mesures de sauvegarde ont suscité un grand intérêt. L'opinion internationale y place également de grands espoirs. Afin d'inclure les mesures de sauvegarde dans les activités de la REDD-Plus, des « orientations pour un système d'informations relatif aux mesures de sauvegarde » ont été créées lors de la COP17. Cependant, les méthodes concrètes et les réglementations au sujet de la mise en œuvre de ces mesures de sauvegarde ne sont pas clarifiées au sein de la CCNUCC et présentent une situation différente en fonction du pays. À l'avenir, la création de critères concrets en vue de la mise en œuvre de mesures de sauvegarde est cruciale.

# 2

## Chapitre 2 Conception du système de surveillance des forêts



Un système de surveillance des forêts est un système qui estime le bilan des gaz à effet de serre provenant des forêts, les stocks de carbone des forêts ainsi que l'évolution de la superficie des forêts. La création d'un tel système dans les pays de mise en œuvre de la REDD-Plus s'avère indispensable. Grâce à l'estimation des effets de la réduction des gaz à effet de serre liée à la REDD-Plus qu'il propose, ce système permet de calculer les crédits correspondant à ces résultats. Sa réalisation de la manière la plus exacte que possible au moyen d'une méthode reconnue sur le plan international et permettant une mise en œuvre également dans les pays en développement est indispensable. D'autre part, les conditions des forêts de chaque pays étant différentes, la création d'un système permettant une flexibilité dans la réalisation et une adaptation en fonction des différences est nécessaire.

Ce chapitre apporte des explications sur le système MNV de mesure, de notification et de vérification qui s'avère indispensable à la surveillance des forêts ainsi que sur plusieurs conditions nécessaires convenues et débattues sur le plan international dont il faut tenir compte lors de la conception d'un système de surveillance des forêts.

I03 Mesure, notification et vérification (MNV) de la surveillance des forêts

I04 Conception d'un système de surveillance des forêts

## Mesure, notification et vérification (MNV) de la surveillance des forêts

La recette précédente correspond à la  
Recette I02 Concepts majeurs de la  
REDD-plus

Le système MNV, acronyme de mesure (Measurement), notification (Reporting), vérification (Verification), correspond aux exigences ainsi qu'à la structure permettant une évaluation objective des conditions de mise en œuvre des mesures ou encore des conditions de respect des engagements pris en vue de l'atténuation du changement climatique ainsi qu'une évaluation également du volume d'émissions et d'absorptions dans le cadre de mécanismes de crédits, etc. Un examen international est en cours en ce qui concerne la structure du système MNV au niveau national et au niveau infranational pour la REDD-Plus. Cependant, sous la direction de systèmes de certification de crédits indépendants privés tels que VCS (Verified Carbon Standard), un cadre défini a déjà été proposé au sujet de la structure du MNV au niveau de projets tout en faisant référence à la conception de systèmes tels que le mécanisme pour un développement propre (Clean Development Mechanism : CDM). Cette recette apporte une vue générale des significations de chacune des notions de « mesure », « notification » et « vérification » et énonce les conditions requises par le système MNV de surveillance des forêts pour la REDD-Plus.

### INFO

1) Le système MNV est un concept qui a été adopté lors de la 13<sup>ème</sup> Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, la COP13, organisée en 2007 à Bali, Indonésie. Ce dernier a été introduit dans le cadre du Plan d'action de Bali pour visualiser les actions domestiques et internationales relatives à l'atténuation du changement climatique et garantir la qualité de ces actions. Les initiales du système de mesure (Measurement), notification (Reporting) et vérification (Verification) de ces mesures d'atténuation forment l'acronyme MNV (mesure, notification, vérification). On peut donner pour exemple les mesures et notifications dans les Communications nationales (National Communications : NCs) prévus dans le cadre de l'Accord de Copenhague et l'Évaluation et l'examen internationaux (International Assessment and Review: IAR) qui les vérifient.

### INFO

2) IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme (2003) Good practice guidance for land use, land use change, and forestry. Technical Support Unit IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Hayama, Japan.

## Système MNV

Le concept de MNV a été introduit sous la forme d'un « engagement d'actions en vue de la réduction des gaz à effet de serre « mesurable » (measurable), « notifiable » (reportable) et « vérifiable » (verifiable) dans le Plan d'action de Bali<sup>1)</sup> convenu lors de la COP13 en 2007. Cependant, aucune conclusion n'a aujourd'hui été formulée et le débat international sur la question du but et des objectifs spécifiques du système MNV ainsi que sur l'identité des personnes qui le réalisent se poursuit. À l'heure actuelle (2012), les modalités (déroulement global, cadre général) du système MNV de surveillance des forêts dans le cadre de la REDD-Plus sont toujours en cours d'étude par l'Organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologiques (SBSTA). Les données d'émissions et d'absorptions réalisées dans le cadre de la conception d'un système MNV adéquat pourraient constituer un fondement important lors de l'évaluation des résultats des activités de la REDD-Plus.

## Mesure (voir P04)

La REDD-Plus est évaluée en fonction de l'augmentation ou de la réduction du volume des émissions et des absorptions trouvées dans les résultats relatifs à ces activités. Pour cela, le volume des émissions et des absorptions provenant des forêts est « mesuré ». Une « mesure » dans le cadre de la surveillance des forêts signifie le fait de mesurer de façon continue le degré d'évolution de la superficie forestière, les stocks de carbone des forêts ainsi que les émissions et les absorptions des gaz à effet de serre provenant des forêts ayant une cause artificielle et signifie également le fait de compiler ces données<sup>2)</sup>. En d'autres termes, les personnes engagées dans des activités de la REDD-Plus réalisent des mesures de façon répétée, en se basant sur les débats engagés par la CCNUCC, concernant l'évolution de la superficie forestière ainsi

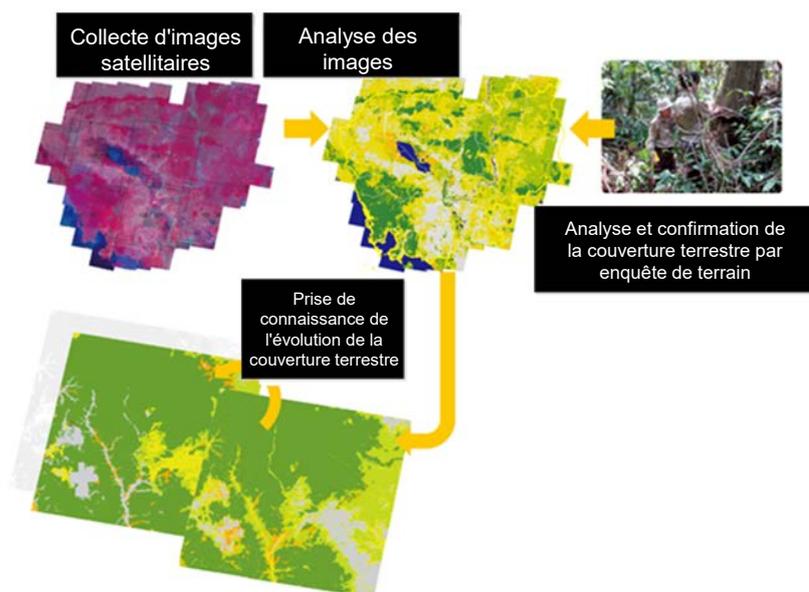


Figure I03-1 Mesures de l'évolution de la superficie forestière et du volume des émissions et des absorptions en fonction de la superficie des terres

que le volume des émissions et des absorptions en fonction de la superficie des terres sur lesquelles les activités sont entreprises (Figure I03-1) et calculent le volume des émissions et des absorptions des gaz à effet de serre en se fondant sur les données obtenues. Les résultats des mesures exigent transparence et cohérence dans la limite des possibilités du pays dans lequel ces activités sont réalisées et doivent également faire preuve d'une exactitude extrême tout en réduisant au maximum les incertitudes. À l'avenir, la « mesure » des sauvegardes et des autres fonctions des forêts pourrait devenir indispensable.

## Notification (voir P05)

La notification correspond à un processus de transmission d'informations en faveur d'une institution définie en tant que destinataire de la notification conforme aux formalités et procédures définies. Ces informations comportent les valeurs estimées du volume des émissions et des absorptions, la méthode d'estimation, les procédures, le système, les conditions de réalisation ainsi que les prévisions d'avenir des mesures mises en œuvre en vue de la réduction des émissions et des puits de carbone. Il existe diverses formes de notification en fonction de l'objet ou de l'objectif de la notification selon que cette « notification » soit réalisée au niveau national en vertu de la CCNUCC, au niveau de projets conformément au mécanisme pour un développement propre ou dans le cadre de divers schémas de certification indépendants. Dans tous les cas, il est souhaitable que la description de la notification soit conforme aux spécifications,

mais également que les points d'intérêts des personnes réalisant les vérifications soient évoqués, ou encore que cette notification ne nécessite pas d'informations complémentaires. La CCNUCC impose aux pays membres de la convention la rédaction d'un rapport national d'inventaire des gaz à effet de serre qui exige les cinq améliorations suivantes : la transparence (transparency), la cohérence (consistency), la comparabilité avec les autres pays (comparability), l'exhaustivité (completeness) et l'exactitude (accuracy).

On considère que ces cinq conditions sont nécessaires également dans le rapport de la REDD-Plus. La transparence du rapport s'avère particulièrement importante, car les données existantes dans les pays en développement sont peu fournies et la compilation de données récentes présente des difficultés.

### Vérification (voir P06)

La « vérification » consiste à contrôler de manière objective les contenus ayant été notifiés et à vérifier que les exigences prescrites ont bien été remplies. Les conditions requises ainsi que la procédure de mise en œuvre des « vérifications » diffèrent en fonction de l'objectif ou de l'objet des « mesures ». Cependant, dans tous les cas, il s'agit d'un travail indispensable pour garantir la fiabilité et l'impartialité du système et du cadre dans son ensemble.

En particulier, dans le cadre d'une structure basée sur l'attribution d'incitations économiques ou des transactions de crédits tels que le mécanisme pour un développement propre ou les crédits carbone indépendants, la « vérification » est réalisée en tant que processus d'examen offrant une fiabilité permettant des échanges de crédits en vérifiant a posteriori le volume de réduction des émissions ayant été atteint par le projet. Dans ce cas, un organisme tiers est tenu de vérifier si le projet est bien mis en œuvre conformément à la méthodologie ou aux contenus mentionnés dans le plan de projet. On prévoit des conditions similaires en ce qui concerne la REDD-Plus.

### Conception d'un système de surveillance des forêts (voir I04)

Afin qu'un système MNV de surveillance des forêts soit reconnu de manière internationale et employé pour le calcul des crédits, celui-ci doit être conçu conformément aux accords et aux règles internationaux. La CCNUCC exige que la surveillance des forêts au niveau national soit conforme aux Lignes directrices du Groupe d'experts intergouvernemental sur le changement climatique (GIEC).

D'autre part, les conditions, non seulement forestières, mais également politiques,

économiques et culturelles en interactions avec les forêts, étant différentes en fonction du pays de mise en œuvre de la REDD-Plus, la conception d'un système adapté aux circonstances du pays s'avère indispensable. En particulier, il est nécessaire de respecter la souveraineté du pays, la cohérence avec les autres mesures politiques telles que les objectifs de développement, le développement dans la durée ou la réduction de la pauvreté ainsi que la mise en œuvre de mesures de sauvegarde (voir P03).

De plus, compte tenu des conditions actuelles des compétences des pays de mise en œuvre, il est nécessaire d'introduire, en cas de compétences insuffisantes, une surveillance des forêts visant à l'amélioration de ces compétences.

Un tel système ne doit pas être achevé en une fois, mais doit être créé de manière progressive et souple au cours de la préparation de l'environnement de mise en œuvre (approche par étapes [phased approach] [voir P02] ou approche progressive [stepwise approach], etc.).

### Éléments à prendre en compte dans le cadre du système MNV de surveillance des forêts

Les personnes impliquées par la REDD-Plus doivent faire preuve d'impartialité (fairness) dans le cadre du contenu des activités (le changement d'utilisation des sols par exemple) ainsi que dans la manipulation des données (mesure et notification) ou lors de la vérification de celles-ci. La politique relative notamment au choix des activités, aux mesures des données ainsi qu'à l'organisation de celles-ci nécessite la transparence. La confiance à l'égard de la transparence de la notification et de la légitimité des intérêts de chaque acteur aide à instaurer la confiance mutuelle entre les acteurs impliqués.

Par ailleurs, même en créant une structure (un système) MNV de surveillance des forêts, si les objectifs ne sont pas partagés par les acteurs impliqués, le dessein originel du système ainsi que de la REDD-Plus (lutte contre le changement climatique) risquent de ne pas être accomplis. La REDD-Plus ne représente pas uniquement une mesure d'atténuation du changement climatique à faible coût <sup>3)</sup>, mais son potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre pourrait être moins important que cela n'est rapporté dans les médias <sup>4)</sup> ces dernières années. Les acteurs impliqués dans le système MNV de la surveillance des forêts doivent assurer le fonctionnement optimal du système MNV en collaborant entre eux pour optimiser les effets de la REDD-Plus.

#### INFO

3) IPCC (2007) Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Metz. B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA . 851pp.

#### INFO

4) Harris NL, Brown S, Hagen SC, Saatchi SS, Petrova S, Salas W, Hansen MC, Potapov PV, Lotsch A (2012) Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions. Science 336: 1573-1575.

## Conception d'un système de surveillance des forêts

La recette précédente correspond à la Recette I03 Mesure, notification et vérification (MNV) de la surveillance des forêts

Le système de la surveillance des forêts est un système d'estimation du bilan des gaz à effet de serre provenant des forêts, des stocks de carbone des forêts ainsi que de l'évolution de la superficie forestière. Afin que les résultats de la REDD-Plus soient reconnus de manière internationale, la surveillance des forêts est tenue de respecter les accords et les règles internationaux. D'autre part, pour faire face de manière efficace aux problèmes propres à chaque pays de mise en œuvre de la REDD-Plus, il est nécessaire d'apporter un soutien à la conception d'un système adapté aux circonstances de chacun des pays. À cette occasion, il est important de créer un système progressif et souple en prenant en compte les compétences du pays de mise en œuvre et les possibilités, même incertaines, de crédits de la REDD-Plus.

### Conformité avec les accords et les règles internationaux

Dans le cadre de la REDD-Plus, la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) impose aux pays en développement d'employer les dernières orientations et les Lignes directrices du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) relatives au changement climatique en tant que fondements employés pour l'estimation du bilan des gaz à effet de serre dans les forêts, des stocks de carbone des forêts ainsi que de l'évolution de la superficie forestière et de créer un système domestique de surveillance des forêts au niveau national (voire infranational) solide et hautement transparent <sup>1)</sup> (voir I01). (i) Ce système combine télédétection et enquête de terrain (ii) et les estimations obtenues grâce à ce système doivent être transparentes, cohérentes et aussi justes que possible. (iii) Par ailleurs, le système lui-même doit faire preuve de transparence et ses résultats doivent être adaptés à l'Examen convenu lors de la Conférence des Parties (COP).

Les dernières lignes directrices du GIEC correspondent aux Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre (Lignes directrices de 2006 du GIEC) (Figure I04-1). Composées en cinq volumes, seuls le volume 1 « Orientations générales et établissement des rapports » et le volume 4 « Agriculture, foresterie et autres affectations des terres » concernent la REDD-Plus.

Les effets de la réduction des émissions de gaz à effet de serre de la REDD-Plus ne sont pas uniquement estimés à partir des résultats de la surveillance forestière, mais des crédits sont

#### INFO

1) UNFCCC (2009) Decision 4/CP.15, FCCC/CP/2009/11/Add.1, 11-12, UNFCCC

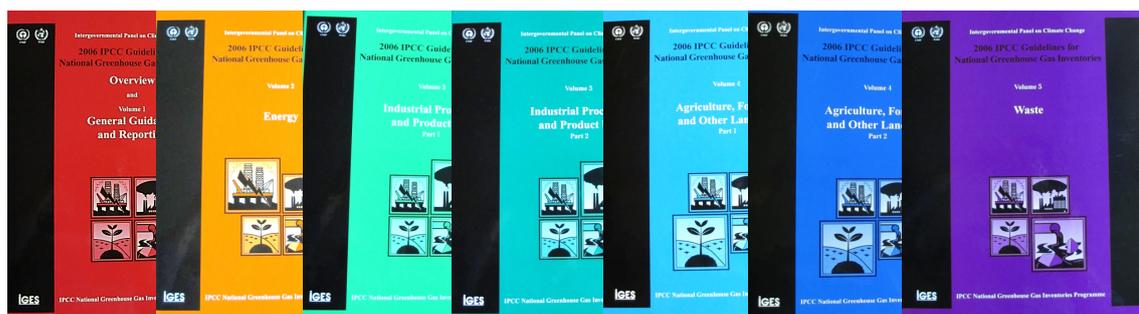


Figure I04-1 Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre

également calculés et attribués aux pays de mise en œuvre en fonction des effets de la REDD-Plus. C'est pour cette raison que la surveillance des forêts doit être conforme aux accords et aux règles internationaux mentionnés ci-dessus. Ainsi, dans le cadre de la conception du système de surveillance des forêts, il est nécessaire d'intégrer de manière rigoureuse les différents éléments, à savoir, la mesure (Measurement, voir P04), la notification (Reporting, P05) et la vérification (Verification, voir P06).

## Cohérence avec les circonstances ou le système du pays de mise en œuvre

Les conditions des forêts en premier lieu, mais également les conditions politique, économique et culturelle du pays de mise en œuvre sont diverses et variées et la conception d'un système adapté aux circonstances du pays et conforme aux accords et règles internationaux s'avère indispensable. En particulier, il est nécessaire de respecter la souveraineté du pays, la cohérence avec les autres mesures politiques telles que les objectifs de développement, le développement sur la durée ou la réduction de la pauvreté ainsi que la mise en œuvre des mesures de sauvegarde (voir P03) <sup>2)</sup>.

La détermination des facteurs de déboisement et de dégradation des forêts, l'adoption de la stratégie nationale ou de mesures de planification d'activités relatives à la REDD-Plus, la mise en place de niveaux d'émissions de référence ainsi que de niveaux de référence (voir P13) et la création d'un système national de surveillance des forêts relèvent de la responsabilité du pays de mise en œuvre <sup>1)</sup>, <sup>2)</sup>. Il existe des possibilités d'envisager un soutien de la part par exemple de pays développés en vue de l'adoption de mesures en amont ou de l'amélioration de celles-ci en aval. En particulier, dans le cas où dans le cadre de la détermination des niveaux d'émissions de référence et des niveaux de référence, des inventaires forestiers nationaux (National Forest Inventories, voir NFI, T01) ont déjà mis en œuvre, ces derniers pourraient être déterminés sur la base de ces inventaires. D'autre part, en cas d'absence de telles informations passées, il est nécessaire d'émettre une hypothèse sur les informations nécessaires par la réalisation d'une surveillance remontant dans le temps grâce à l'utilisation d'informations passées pouvant être obtenues telles que la télédétection, etc.

De plus, il est nécessaire de prendre en considération les compétences du pays de mise en œuvre et ses possibilités de développement (voir au paragraphe suivant).

Il s'agit de problèmes politiques appartenant aux pays de mise en œuvre et, afin de créer un système de surveillance avec des ressources, des capacités et un temps limités, les pays de mise en œuvre doivent faire face à des problèmes de grande importance en priorité. En ce sens, il est indispensable que la partie de soutien, à savoir les pays développés par exemple, apporte son soutien en identifiant précisément les circonstances et les demandes des pays de mise en œuvre.

### INFO

2) UNFCCC (2010) Decision 1/CP.16, FCCC/CP/20010/7/Add.1, UNFCCC

## Compétences et possibilités d'une opération durable des pays de mise en œuvre

La plupart des pays en développement susceptibles de devenir des pays de mise en œuvre

### INFO

3) Hardcastle PD, Baird D, Harden V (2008) Capability and cost assessment of the major forest nations to measure and monitor their forest carbon: Penicuik, UK, LTS International Ltd.

### INFO

4) Herold M (2009) An assessment of national forest monitoring capabilities in tropical non-Annex I countries: Recommendations for capacity building, The Prince's Rainforests Project and The Government of Norway

### INFO

5) Danielsen F et al. (2011) At the heart of REDD+: a role for local communities in monitoring forests? Conservation Letters 4(2): 158-167

### INFO

6) UNFCCC (2009) Cost of implementing methodologies and monitoring systems relating to estimates of emissions from deforestation and forest degradation, the assessment of carbon stocks and greenhouse gas emissions from changes in forest cover, and the enhancement of forest carbon stocks, UNFCCC

### INFO

7) UNFCCC (2011) Decision 12/CP.17, FCCC/CP/2011/9/Add.2, UNFCCC

### INFO

8) Herold M, Skutsch MM (2009) Measurement, reporting and verification for REDD+ Objectives, capacities and institutions, in Angelsen, A. et al. eds., Realising REDD+ National strategy and policy options: Bogor, Indonesia, CIFOR, p. 86-100

de la REDD-Plus ne disposent même pas au cours de l'étape actuelle de compétences de mise en œuvre du Tier 1 (voir P04) qui est le niveau le plus basique et le plus facile de la surveillance selon les Lignes directrices du GIEC <sup>3)</sup>, <sup>4)</sup>. Beaucoup d'opinions énoncées dans le Tier 1 considèrent que celui-ci est insuffisant à la REDD-Plus. D'autre part, ce phénomène est également lié aux crédits intégrés, car chacun des pays est limité en fonds d'investissement attribués à la REDD-Plus et la réalisation d'une surveillance permettant une opération continue est nécessaire.

On encourage le transfert de technologies des pays développés vers les pays de mise en œuvre. Pour cela, un soutien raisonnable et prévisible sur les plans financier et technique est requis et les pays de mise en œuvre sont également tenus de choisir avec prudence des techniques réalisables en tenant compte des fondations de la société, de l'organisation sociale, des normes éducatives et d'autres paramètres. En particulier, il arrive souvent que les compétences des bureaux gouvernementaux concernés soient insuffisantes aussi bien en qualité qu'en quantité. L'intégration de la population locale dans la surveillance constitue également une tentative de compensation de ce phénomène <sup>5)</sup>. L'implication des acteurs aide également à la réalisation de mesures de sauvegarde appropriées.

En ce qui concerne les fonds et les crédits de la REDD-Plus, les négociations multilatérales manquent encore partiellement de transparence, ce qui résulte sur l'impossibilité de concrétisation également d'un point de vue technique. Face à cela, le système de certification qui délivre des crédits échangeables REV (réduction d'émissions vérifiées) grâce à un système indépendant se répand. Il s'agit d'un système de certification au niveau de projets. Le gouvernement japonais envisage d'introduire un mécanisme similaire à savoir le mécanisme bilatéral de crédit de compensation (BOCM) (voir T04). Par ailleurs, les coûts des techniques de surveillance des forêts <sup>6)</sup> sont actuellement examinés.

## Création d'un système progressif et souple

Dans de nombreux pays de mise en œuvre (ayant l'intention), leurs compétences dans la réalisation de la REDD-Plus sont insuffisantes. Par ailleurs, alors que les systèmes internationaux et les mécanismes financiers ne sont pas encore déterminés, la mise en place d'un système de mise en œuvre de la REDD-Plus progressif et souple en fonction des éléments convenus précédemment a été décidée.

L'approche par étapes (voir P02) qui vise à constituer le système et les compétences des pays de mise en œuvre de manière progressive en est un exemple.

L'approche progressive dite *stepwise approach* <sup>7)</sup>, un autre exemple, commence par mettre en place des niveaux de référence et des niveaux d'émissions de référence (voir P13) uniquement à partir des données actuellement disponibles. Elle consiste à augmenter de manière séquentielle le degré de précision grâce à des données, l'augmentation des connaissances et le développement mutuel.

Il est recommandé d'étendre le système de surveillance des forêts en suivant un certain ordre en commençant par les questions prioritaires de la REDD-Plus et en tenant compte des circonstances des pays de mise en œuvre <sup>8)</sup>.

# Planification



# 3

## Chapitre 3 Connaissances de base indispensables aux initiatives de la REDD-Plus



Dans ce chapitre, nous définissons et expliquons les termes de déboisement, dégradation des forêts et Plus qui font partie du vocabulaire fondamental des initiatives de la REDD-Plus. En outre, nous expliquons la méthode dite de « l'approche par étapes » qui permet une mise en œuvre progressive de la REDD-Plus en fonction de la situation de chaque pays et des compétences de mise en œuvre de la REDD-Plus des pays en développement, approche qui a été proposée lors des négociations de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Nous abordons également l'idée de « mesures de sauvegarde » qui, tout en cherchant à éviter les risques de sabotage des résultats des activités de la REDD-Plus en tant que mesures d'atténuation du réchauffement climatique, consistent à prévenir leurs impacts négatifs sur la gouvernance forestière, l'environnement et la société entre autres et, a contrario, à augmenter les impacts souhaitables.

- P01 Définition des termes de forêt, déboisement, dégradation des forêts et Plus
- P02 L'approche par étapes
- P03 Les mesures de sauvegarde

## Définition des termes de forêt, déboisement, dégradation des forêts et Plus

La recette ci-dessus correspond à la  
Recette I02 Concepts majeurs de la  
REDD-plus

La REDD-Plus consiste en l'attribution d'incitations économiques en contrepartie de résultats positifs de réduction du volume des émissions liées au déboisement et à la dégradation des forêts (part relevant de la REDD) ainsi qu'à la préservation des forêts, à la gestion durable des forêts et au renforcement des stocks de carbone des forêts (part relevant du terme Plus). Le calcul du volume des émissions et des stocks de carbone nécessite de définir les termes de forêt, déboisement, dégradation des forêts et Plus, etc. Or, les négociations internationales au sujet de la REDD-Plus ne sont pas encore parvenues à les définir. En revanche, il est considéré comme raisonnable de s'aligner avec les définitions des termes de forêt et de déboisement des Accords de Marrakech <sup>1), 2)</sup> du Protocole de Kyoto de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et c'est pour cette raison que nous développons nos explications en nous basant sur celles-ci.

### INFO

1) Les Accords de Marrakech : Dans le cadre de la COP7 organisée à Marrakech en 2001, des règles détaillées telles que le mécanisme de Kyoto ainsi qu'un système de conformité indispensable à la mise en œuvre du Protocole de Kyoto ont été définies. Les définitions de « forêt » et du BRD sont apparues respectivement au-dessous des alinéas 3 et 4 de l'article 3 pour la forêt et à l'alinéa 3 de l'article 3 pour le BRD.  
FCCC/CP/2001/13/Add.1 ([http://unfccc.int/methods\\_and\\_science/lulucf/items/3063.php](http://unfccc.int/methods_and_science/lulucf/items/3063.php))

### La forêt

Les Accords de Marrakech définissent la forêt de la manière suivante : la forêt désigne une terre d'une surface minimale de 0,05 à 1,0 ha dont la couverture (ou stocks similaires) est supérieure à une surface de 10 à 30 % et dans laquelle la hauteur des arbres minimale atteint de 2 à 5 m à l'âge adulte. Une forêt peut être soit composée d'un couvert forestier dont une grande proportion est formée de divers strates et de végétation pastorale de sous étage, soit composée d'arbres épars. Les forêts naturelles jeunes ou les plantations forestières dont la couverture n'atteint pas 10 à 30 % ou dont la hauteur d'arbres n'atteint pas 2 à 5 m, mais qui, même si elles ont perdu temporairement leurs stocks à cause d'une activité humaine telle que l'abattage ou pour des facteurs naturels, sont supposées redevenir une forêt sont comprises dans le terme de forêt. Comme les types de forêts sont divers et variés dans le monde, chaque pays a la possibilité de définir la hauteur des arbres, le taux de couverture et la superficie minimale dans les seuils proposés ci-dessus.

### Le déboisement

Dans les Accords de Marrakech, le « déboisement » est défini en tant que conversion anthropique directe de terres forestières en terres non forestières. Les cas dans lesquels les conditions correspondant aux définitions de la forêt ne sont plus réunies pour cause notamment de défrichage de terres destinées à l'agriculture, d'exploitation des ressources minières ou encore de développement de villes, d'agglomérations ou de routes sont considérés comme des cas de « déboisement ».

### La dégradation des forêts

La dégradation des forêts désigne les impacts négatifs ou l'altération de la

structure ou fonctions des forêts provoquant la baisse des capacités à fournir des produits forestiers ou des services écosystémiques. Lorsque l'on part du point de vue de l'attribution d'incitations en contrepartie d'une réduction des émissions, la dégradation des forêts correspond à une baisse des stocks de carbone des forêts. Cependant, les stocks de carbone des forêts évoluent également en fonction des perturbations naturelles survenant de façon périodique ainsi que de la gestion des forêts telles que les récoltes régulières. Jusqu'à présent, il n'existe pas d'accord international sur une définition officielle de la dégradation des forêts.

## Plus

Un accord international a été conclu à l'occasion de la 13ème Conférence des Parties (COP13) de la CCNUCC au sujet du « Plus » contenu dans le mot REDD-Plus qui inclut la préservation des forêts, la gestion durable des forêts ainsi que le renforcement des stocks de carbone des forêts. Lors des Accords de Marrakech relatifs à la gestion des forêts y sont définies une série d'activités de gestion et d'exploitation des forêts dans l'objectif de satisfaire les fonctions écologiques, économiques et sociales relatives aux forêts (y compris la biodiversité) grâce à des méthodes s'étendant dans la durée. Cependant, ces définitions ne constituent pas des éléments concrets, mais les pays participants au Protocole de Kyoto les appliquent selon un jugement adapté à la situation de gestion des forêts de leur pays. Par ailleurs, il n'existe pas de définitions ayant abouti sur un accord international sur la préservation des forêts, la gestion durable des forêts ainsi que le renforcement du stock de carbone des forêts et ces définitions restent à développer à l'avenir.

Ainsi que nous l'avons abordé ci-dessus, les définitions de déboisement, de dégradation des forêts ainsi que du terme Plus indispensables à l'évaluation des résultats des activités réalisées dans le cadre de la REDD-Plus sont toujours insuffisantes à présent (juillet 2012). Bien qu'une définition simple soit souhaitable en vue d'une mise en œuvre fluide de la REDD-Plus, il est fort probable que des valeurs indicatives différentes en fonction de la situation de chaque pays de mise en œuvre de la REDD-Plus soient appliquées.

## Références

GOFC-GOLD (2011) A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation: GOFC-GOLD Report version COP17-1. GOFC-GOLD

## L'approche par étapes

La recette ci-dessus correspond à la  
Recette I02 Concepts majeurs de la  
REDD-plus

La REDD-Plus vise à ce que les pays en développement s'engagent à réduire les émissions et augmenter les absorptions par le biais de mesures de lutte contre le déboisement et à attribuer des incitations en accord avec les niveaux d'émissions de référence ainsi que les niveaux de référence selon un système de mesure, notification et vérification (measurement, reporting and verification, MRV). D'autre part, les situations ou les compétences de chaque pays sont diverses aussi bien d'un point de vue technique qu'institutionnel (institutional). L'approche par étapes permet de clarifier le processus de préparation en vue de la mise en œuvre finale de la REDD-Plus en montrant les différentes étapes qui doivent être franchies pour chacun des pays. La première fois que le concept d'approche par étapes est apparu lors de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) remonte à une revendication de la Papouasie-Nouvelle-Guinée <sup>1)</sup> lors de l'atelier sur la REDD-Plus organisé dans le cadre du groupe de travail ad hoc à l'occasion du rassemblement à Accra en août 2008 qui réclamait que la réalisation de la REDD-Plus en trois étapes. Ce concept de l'approche par étapes est considéré depuis comme un élément fondamental de la REDD-Plus. Notre regard portera ci-dessous sur les fondements des études actuelles sur la REDD-Plus en suivant l'Accord de Cancún <sup>2)</sup>.

### INFO

1) UNFCCC (2008) FCCC/AWGLCA/2008/CRP.5, UNFCCC

### INFO

2) UNFCCC (2011) FCCC/CP/2010/7/Add.1, UNFCCC

## Étape 1 : Préparation

L'approche par étapes est mentionnée dans l'Accord de Cancún selon lequel, dans le cadre de la mise en œuvre de la REDD-Plus, il faudrait commencer par « la stratégie nationale, le plan d'action, la formulation de politiques et de mesures ainsi que le développement des compétences » (Figure P02-1). Ces actions constituent les fondements pour la réalisation de tous les défis politiques, sans se limiter à la REDD-Plus. Ainsi, tous les pays devraient en premier lieu établir un cadre adéquat en passant par ces étapes.

Dans le cadre de la stratégie nationale, du plan d'action, de la formulation de politiques et de mesures de la REDD-Plus, une intégration de ces actions aux objectifs pour le développement, à la planification de l'utilisation des terres et à la planification forestière de chaque pays constitue une condition préalable essentielle. Une formulation qui resterait indépendante de ses derniers provoquerait la confusion à l'étape de mise en œuvre de la REDD-Plus et, afin d'éviter une telle situation, un ajustement politique avec le service gouvernemental ou les acteurs concernés est indispensable.

L'Accord de Cancún stipule qu'une fois assurée la participation des acteurs, y compris les populations locales et les communautés, lors de la formulation et de la mise en œuvre d'une stratégie nationale et d'un plan d'action de la REDD-Plus, les facteurs du déboisement et de la dégradation des forêts, les questions de droits d'utilisation des terres, les questions de gouvernance forestière, la prise en considération des genres ainsi que les mesures de sauvegarde (voir P03) doivent être traités. Ces éléments seront indispensables dans le cadre de la réalisation à l'avenir

des activités de réduction d'émissions par la REDD-Plus.

Un développement des compétences permettant la formulation de politiques et de leur mise en œuvre ensuite s'avère nécessaire. Or, ce cadre du développement des compétences nécessite de clarifier le type de défis à relever ainsi que l'identité des personnes concernées. Les défis pourraient être les défis techniques que sont le système MNV, les techniques de surveillance, la détermination de niveaux de référence, les compétences en matière d'élaboration de politiques ainsi qu'en matière d'application de la loi, etc. Au sujet des personnes concernées par ces activités, on envisage l'éducation de spécialistes à titre individuel, mais également la mise en place de services afin que les organisations et acteurs participants à la REDD-Plus soient capables de relever les différents défis. Il est prévu que ces organisations et acteurs appartiennent aux institutions gouvernementales. Cependant, les populations locales, le secteur privé en lien, les entreprises de conseil, les ONG ainsi que les établissements éducatifs constituent des acteurs importants concernés par le développement des compétences.

Par ailleurs, l'étape de préparation ne constitue pas un passage obligé pour évoluer

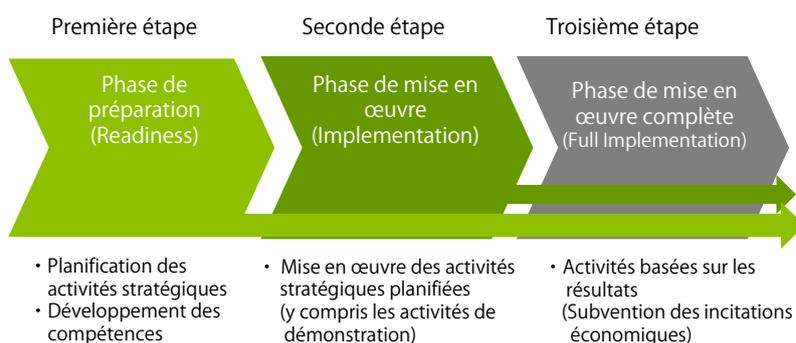


Figure P02-1 Déroulement de l'approche par étapes

vers la deuxième et la troisième étape, mais, en tant que fondement de la mise en œuvre de la REDD-Plus, doit être comprise comme une étape permettant des améliorations et des réformes en continu (Figure P02-1).

## Soutien à l'étape de préparation

L'étape de préparation constitue, en tant que première étape, le fondement de la mise en œuvre de la REDD-Plus et les efforts d'amélioration et de réformes doivent être poursuivis de façon continue. Cependant, les pays en développement éprouvent de grandes difficultés techniques et financières afin de réaliser cette étape. Ainsi, le Fonds de partenariat pour le carbone forestier (FCPF) mis en œuvre

par la Banque mondiale (World Bank) en tant que cadre de soutien concret ainsi que les trois programmes ONU-REDD mis en œuvre par les Nations Unies ont été mis en place pour assister l'étape de préparation de chacun des pays à travers un soutien sur le plan financier ou technique. Une stratégie nationale et un plan d'action de la REDD-Plus ont déjà été formulés dans quelques pays dans lesquels sont intégrés pour chaque mission le calendrier de réalisation par année, le budget et le pays ou l'institution à l'origine du soutien. Les personnes qui ont l'intention de s'engager dans l'étape de préparation sont invitées à se référer à ces documents.

En outre, on espère également que les projets de soutien technique mis en œuvre par des pays développés, des organisations internationales en lien ainsi que des ONG apporteront leur soutien envers les différents éléments de la REDD-Plus ou serviront de référence. Ainsi, il est nécessaire d'avoir recours de manière efficace aux connaissances et expériences techniques accumulées au cours des différents projets bilatéraux mis en œuvre par la JICA au Japon, la GIZ en Allemagne, l'USAID aux États-Unis ou d'autres agences gouvernementales.

Par ailleurs, les pays développés produisent tous les ans sur leur pays un rapport d'inventaire au sujet du volume des émissions et des absorptions dans le domaine de l'utilisation des terres, leurs changements et la forêt (UTCF), une obligation de la CCNUCC dans le cadre du Protocole de Kyoto (voir P05) qui ressemble à la REDD-Plus sur le plan technique de traitement du volume des émissions et absorptions dans les forêts et pourrait donc servir de référence par sa connaissance des difficultés propres au secteur de l'utilisation des terres.

## Étape 2 : Mise en œuvre

Lors de l'Accord de Cancún, une étape consistant à « la mise en œuvre de politiques ou de mesures nationales, d'une stratégie nationale voire d'un plan d'action faisant appel de manière accrue au développement des compétences, au développement et au transfert technologiques ainsi qu'à des activités de démonstration fondées sur les résultats » a été proposée pour succéder à l'étape de préparation évoquée précédemment (Figure P02-1). Cette étape qui consiste à passer à l'exécution des fondements mis en place lors de l'étape de préparation pourrait être interprétée comme un exercice de préparation à l'étape de mise en œuvre complète.

Elle inclut en tant qu'élément nouveau des « activités de démonstration. » Le terme d'« activités de démonstration » a été pour la première fois évoqué dans le « Plan d'action de Bali » de la 13<sup>ème</sup> Conférence des Parties (COP13) de la CCNUCC <sup>3)</sup> pour « faire face aux causes du déboisement liées aux circonstances de chacun des pays avec pour perspective la réduction des émissions résultant du déboisement et de la dégradation des forêts et l'augmentation des stocks de carbone des forêts grâce à une gestion durable des forêts ». Ces éléments ont été énoncés en tant que « Directives indicatives » en Annexe du Plan. Avec pour objectif de rendre possible des « activités

### INFO

3) UNFCCC (2008) FCCC/CP/2007/6/Add.1, UNFCCC

fondées sur des résultats ayant été intégralement mesurés, notifiés et vérifiés», ces directives s'attendent à une réalisation reflétant les différents éléments énoncés.

Par ailleurs, les fonds carbone du fonds de partenariat pour le carbone forestier mis en œuvre par la Banque mondiale constituent un pilier majeur du soutien à l'étape de réalisation en deuxième phase. Aussi, on constate également la présence d'éléments correspondant à la deuxième étape tels que les « activités de démonstration » au sein des projets de soutien technique bilatéraux réalisés par les pays développés notamment et l'on espère une nouvelle formulation et mise en œuvre de ces projets à l'avenir.

### Étape 3 : Mise en œuvre complète

Selon l'Accord de Cancún, l'étape finale de la mise en œuvre de la REDD-Plus consiste en « des activités fondées sur des résultats convenablement mesurés, notifiés et vérifiés » (Figure P02-1). Cela signifie que sur la base des connaissances et expériences issues de la réalisation de l'étape de préparation et de l'étape de mise en œuvre, la réduction des émissions et à des absorptions reflétée par les résultats de ces activités et montrée au moyen de mesures, notifications et vérifications convenables donnant droit à l'attribution d'incitations définies grâce à sa fiabilité est atteinte.

À l'heure actuelle, la plupart des pays participants à la REDD-Plus procèdent à des activités à l'étape de préparation ou à l'étape de mise en œuvre, mais les pays parvenus à l'étape de mise en œuvre complète en phase finale sont très minoritaires, si ce n'est inexistantes. Nous ne pouvons pas nier qu'outre les contraintes de technologie, de données, de structure ou de ressources humaines, la REDD-Plus présente des difficultés inexistantes dans les autres domaines tels que l'industrie et les transports, à savoir les différences d'espèces ou de croissance des arbres en fonction de la région concernée et l'impact climatique. Ces difficultés peuvent expliquer le retard pris par la mise en œuvre complète de la REDD-Plus.

Aucune panacée capable de remédier à cette difficulté n'a été trouvée. En revanche, étant donné que la REDD-Plus est également prévue au niveau infranational, ne faudrait-il pas envisager une mise en œuvre complète finale au niveau national en visant à une mise en œuvre précoce au niveau infranational par l'introduction de ressources de manière concentrée dans une région définie puis en étendant cette mise en œuvre à d'autres régions au titre de cas d'excellence? Un ajustement entre les différents acteurs de chaque pays et les pays ou les organismes de soutien est souhaitable et un accord à un niveau défini au niveau de tels engagements constitue un prérequis.

## Les mesures de sauvegarde

La recette ci-dessus correspond à la

Recette I03 Mesure, notification et vérification (MRV) de la surveillance des forêts

Des mesures de sauvegarde relatives à la mise en œuvre de la REDD-Plus ont été promues et soutenues lors de la 16<sup>ème</sup> Conférence des Parties (COP16) de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) dont une liste a été établie. En particulier, des organes extérieurs à la CCNUCC tels que le Fonds de partenariat pour le carbone forestier (FCPF) de la Banque mondiale ainsi que les programmes ONU-REDD en ce qui concerne les mesures de sauvegarde environnementales et sociales sont également appelés à s'engager. Les discussions officielles menées dans le cadre de la CCNUCC comportent de nombreux points incertains au sujet des contenus concrets des mesures de sauvegarde. Ainsi, des principes, critères, indices ainsi que des directives indépendantes sont conçus par la Banque mondiale, les programmes ONU-REDD ou des ONG.

### Qu'est-ce qu'une mesure de sauvegarde ?

Une mesure de sauvegarde est une politique ou une mesure de lutte contre les impacts néfastes notamment sur la gouvernance forestière, l'environnement et la société et visant à l'accroissement des impacts souhaitables tout en prévenant les risques de porter atteinte à l'efficacité des activités de la REDD-Plus en tant que mesures d'atténuation du réchauffement climatique (l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre sous une autre forme ou dans un autre lieu ou le fait que la réduction des émissions et l'augmentation des absorptions ne soient que temporaires). La prise en charge de ces mesures de sauvegarde constitue l'une des caractéristiques de la REDD-Plus.

### Traitement des mesures de sauvegarde au sein de la CCNUCC

L'Accord de Cancún à l'occasion de la COP16 stipule la nécessité de promouvoir et de soutenir les mesures de sauvegarde dont une liste a été établie <sup>1)</sup> (Tableau P03-1). Leurs contenus concernent les domaines de la gouvernance forestière, de la société, de l'environnement et du climat <sup>2)</sup>. Elles consistent en la préparation d'une liste de points à retenir inscrits en divers endroits des documents ayant été adoptés par consensus jusqu'à la COP15 et dans laquelle les éléments à retenir dans le cadre de la mise en œuvre de la REDD-Plus sont clairement définis.

Par ailleurs, le développement d'un système de transmission d'informations relatives à la façon dont les mesures de sauvegarde ont été traitées et estimées a été requis aux gouvernements des pays en développement. Lors du développement et de la mise en œuvre d'une stratégie nationale ou d'un plan d'action en vue d'un engagement dans des mesures de sauvegarde, on requiert également des gouvernements des pays en développement de garantir la participation complète

#### INFO

1) UNFCCC (2011) Decision 1/CP.16, FCCC/CP/2010/7/Add.1, UNFCCC

#### INFO

2) Cette catégorie a été créée par l'auteur pour des raisons pratiques et non par la CCNUCC

Tableau P03-1 Liste des mesures de sauvegarde indiquées dans l' Accord de Cancún (créé à partir de la CCNUCC [2011] <sup>1)</sup>)

Mesures de sauvegarde	Catégories *)
(a) Les activités devraient compléter ou être compatibles avec les programmes forestiers nationaux et les conventions et accords internationaux et soutenir ou promouvoir les activités cohérentes.	Gouvernance forestière
(b) Les activités devraient promouvoir et soutenir une gouvernance forestière transparente et efficace tout en tenant compte de la législation et de la souveraineté du pays d'accueil.	
(c) Les activités devraient respecter les connaissances et les droits des peuples autochtones et des membres des communautés locales en tenant compte des obligations internationales pertinentes, des circonstances et des lois nationales et soutenir et promouvoir le respect de la UNDRIP (Déclaration des Nations Unies sur les droits des peuples autochtones).	Social
(d) Les activités devraient promouvoir la participation efficace des parties prenantes concernées (en particulier les peuples autochtones et les communautés locales).	
(e) Les actions devraient être compatibles avec la conservation de la biodiversité et des forêts naturelles, sans conversion de ces dernières et il convient d'accorder des avantages économiques à ceux qui sont concernés pour la protection et la conservation des forêts naturelles et des services écosystémiques et ainsi aider et promouvoir le renforcement des avantages sociaux et environnementaux.	Environnement etsocial
(f) Il faut soutenir et promouvoir les activités qui empêchent les risques de renversements (diminution d'émission ou absorption qui n'étaient que momentanées).	Climat
(g) Il faut soutenir et promouvoir les actions qui refrènt le déplacement d'émission.	

N.B.\*) : La "classification" n'est pas celle identifiée par CCNUCC, mais celle effectuée par

Tableau P03-2 Paragraphe en lien avec les mesures de sauvegarde au sein de l'Accord de Cancún (créé à partir de la CCNUCC [2011]<sup>1)</sup>)

Paragraphe	
69	La mise en œuvre des activités REDD-Plus devraient être conformes à ce qui est prévu dans l'annexe I et nous confirmons que les mesures de sauvegarde mentionnées dans le paragraphe 2 de l'annexe devraient être mises en avant et soutenues.
71(d)	(d) Développement d'un système d'information relative aux traitements et au respect des mesures de sauvegarde dans la mise en œuvre de REDD-Plus.
72	Nous demandons aux gouvernement des pays en développement de veiller à ce que le peuple autochtone ou des communautés locales concernés participent pleinement et efficacement lors des travaux de planification ou de mise en œuvre de leurs stratégies ou leurs plans d'action nationaux, pour s'attaquer, entre autres, aux causes de la dégradation des forêts et du déboisement, aux questions foncières, aux questions de gouvernance forestière, aux question de genre et aux mesures de sauvegarde.

et efficace des acteurs en rapport avec les populations autochtones et les habitants locaux (Tableau P03-2).

## Mesures de sauvegarde environnementales et sociales

Parmi l'ensemble des mesures de sauvegarde, les mesures de sauvegarde en rapport avec la société et l'environnement attirent particulièrement l'attention et sont étudiées de façon active par divers organismes. On les nomme communément les mesures de sauvegarde environnementales et sociales.

Les mesures de sauvegarde sociales, en général indiquées dans la liste des mesures de sauvegarde du tableau P03-1, sont supposées être (c) la connaissance et le respect des droits des populations autochtones et des habitants locaux (Figure P03-1), (d) une participation efficace et convenable des acteurs, (e) l'accroissement des autres avantages sociaux (et environnementaux) ainsi que la prise en considération de la question du genre et des personnes vulnérables mentionnées de manière disparate dans les documents ayant été adoptés par consensus ou encore la contribution au développement durable ou à la réduction de la pauvreté.

Les mesures de sauvegarde environnementales, indiquées dans la liste des



Figure P03-1 Gestion des forêts par les habitants de la région

Haut : Discussion à propos de la gestion des forêts communautaires

Bas : Forêts communautaires

mesures de sauvegarde (e) du tableau P03-1, sont supposées être la protection et la préservation des forêts naturelles et de la biodiversité ainsi que la garantie d'une cohérence des activités de la REDD-Plus, la préservation des forêts naturelles et des services écosystémiques ainsi que la promotion et l'accroissement des autres avantages environnementaux (et sociaux).

Cependant, les textes de la CCNUCC ne contiennent pas particulièrement de définition du terme de mesures de sauvegarde environnementales et sociales. Par ailleurs, leurs contenus ont souvent pour fondement les contenus mentionnés ci-dessus en les agrémentant des points considérés comme importants par les différents organismes.

### Effets et importance des engagements dans les mesures de sauvegarde

Les acteurs mettant en place les activités de la REDD-Plus peuvent s'attendre à bénéficier de manière variée de leur engagement dans les mesures de sauvegarde telles que l'accroissement des investissements domestiques et internationaux grâce à la réduction des risques politiques ainsi que la mise en œuvre fluide des activités par la résolution des conflits sociaux. Même dans le cadre des activités du fonds de partenariat pour le carbone forestier de la Banque mondiale ainsi que des programmes ONU-REDD qui constituent des initiatives indépendantes à la CCNUCC, les engagements dans des mesures de sauvegarde environnementales et sociales sont essentiels. En outre, on considère qu'il est fortement probable que la prise en charge des mesures de sauvegarde environnementales et sociales soit une condition sine qua non des transactions de crédits carbone et de crédits compensatoires de carbone qui ont lieu par la suite dans le cadre de la REDD-Plus.

### Problèmes systémiques des mesures de sauvegarde

Chaque pays ou région disposent de conditions différentes au sujet des contenus des mesures de sauvegarde ou de la manière d'entreprendre ces mesures et ceux-ci ne sont pas non plus définis concrètement dans la CCNUCC. Même dans la COP17, de grandes orientations ont été définies par la création des « Orientations pour un Système d'informations relatif aux mesures de sauvegarde »<sup>3)</sup>. Cependant, le contenu des éléments à notifier n'a pas été éclairci. Pour cette raison, la création de principes, critères, indicateurs et lignes directrices à propos des mesures de sauvegarde environnementales et sociales notamment est mise en œuvre à titre individuel par la Banque mondiale, les programmes ONU-REDD et des ONG<sup>4)</sup>. Dans l'immédiat, tout en gardant un œil sur les tendances des discussions à venir, il est nécessaire de poursuivre l'étude en fonction des conditions individuelles en prenant pour référence de telles initiatives indépendantes.

#### INFO

3) UNFCCC (2012) Decision 12/CP.17, FCCC/CP/2011/9/Add.2, UNFCCC

#### INFO

4) On donne pour exemple l'« Évaluation environnementale et sociale stratégique (EES) » menée par la Banque mondiale, « Les principes et critères environnementaux et sociaux de l'ONU-REDD (SEPC) » dirigés par les programmes ONU-REDD, les « Normes sociales et environnementales de la REDD-Plus (REDD+SES) » ou « Standards Climat, Communauté & Biodiversité (CCB) » dirigées par des ONG, etc.

# 4

## Chapitre 4 Le système de mesure, notification et vérification (MNV) du carbone des forêts



Les activités d'atténuation du réchauffement climatique nécessitent des mesures (Measurement), des notifications (Reporting) et des vérifications (Verification) correctes au sujet de leurs résultats, un système que l'on appelle MNV. Le système MNV dans le cadre de la REDD-Plus s'avère indispensable pour connaître les volumes d'absorptions et d'émissions de l'ensemble des gaz à effet de serre provenant des forêts et peut également être utilisé dans le cadre de l'application des réglementations de la REDD-Plus. Ce chapitre aborde le système MNV appliqué à l'évolution du carbone forestier afin d'estimer les volumes d'absorptions et d'émissions de CO<sub>2</sub> qui revêtent une importance majeure.

La REDD-Plus a été proposée au départ en tant que structure mise en œuvre au niveau national. Cependant, étant donné que les initiatives indépendantes au niveau de projet, c'est-à-dire limitées à des régions cibles, sont en train également de prendre de l'importance, des études ont également été menées sur les points à prendre en considération plus particulièrement lors de la notification (N) et de la vérification (V) d'initiatives au niveau de projet.

- P04 Mesure du carbone des forêts
- P05 Notification du carbone des forêts
- P06 Vérification du carbone des forêts

## Mesure du carbone des forêts

La recette ci-dessus correspond à la

Recette I03 Mesure, notification et vérification (MRV) de la surveillance des forêts

La mesure du carbone des forêts constitue la clef de la REDD-Plus. La réduction des volumes d'émissions et l'augmentation des volumes d'absorptions de CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone) dues aux forêts sont estimées en fonction des stocks de carbone des forêts, puis les crédits sont calculés en fonction de ces estimations. Cette recette présente un aperçu sur les éléments mesurés et la façon de réaliser les mesures en lien avec les mesures des variations des stocks de carbone des forêts s'appliquant pour la REDD-Plus conformément aux Lignes directrices du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) de 2006 de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC).

### INFO

1) Tier - Niveau de complexité de la méthode d'estimation des volumes d'émissions

Les lignes directrices du GIEC de 2006 emploient le mot Tier pour désigner le niveau de complexité de la méthode d'estimation des volumes d'émissions. Le Tier 1 constitue la méthode fondamentale la plus simple, le Tier 3, la méthode la plus complexe nécessitant le plus de données, et le Tier 2 se situe entre les deux. Dans le cas où les volumes d'émissions provenant d'un certain secteur constituent une catégorie de première importance pour le pays (la quantité absolue du volume d'émissions de ce secteur, les tendances ou l'incertitude sont remarquables), il est demandé d'employer la méthode Tier 2 voir 3.

Lors de l'agriculture, foresterie et autres affectations des Terres (AFAT), le Tier 1 utilise les coefficients d'émissions collectés par le GIEC en tant que valeur par défaut et l'estimation des volumes d'émissions est réalisée au moyen de la méthode par défaut (méthode gains-pertes). D'autre part, dans le cas de l'utilisation d'un Tier élevé, l'estimation est réalisée en ayant recours à un coefficient d'émissions propre au pays grâce à la méthode par défaut ou à la méthode de différence des stocks.

La REDD-Plus n'a pas encore déterminé lequel des Tiers doit être utilisé. Cependant, la valeur par défaut du coefficient d'émissions AFAT étant particulièrement incertaine, certains prônent que le Tier 1 ne devrait pas être utilisé ou alors qu'il faudrait réduire les incertitudes en utilisant des facteurs de prudence (conservative factors) AR/D CDM. D'autre part, comme de nombreux pays en développement ne disposent pas à l'heure actuelle de compétences pour réaliser les estimations du Tier 1 (voir I04), une méthode réalisable telle que l'approche par étapes (voir P02) devrait être employée en tenant compte du développement des compétences.

### Que mesurer ?

L'objet de la REDD-Plus est la forêt. Une définition du terme forêt est déterminée individuellement par chaque pays dans les limites désignées par la CCNUCC (voir P01). Afin de réduire l'incertitude des estimations sur les volumes d'émissions, il est recommandé de créer des subdivisions pour les forêts en fonction des circonstances du pays. Par exemple, il est probable qu'appliquer des coefficients d'émissions différents en créant des catégories selon le genre de forêt ou le degré de perturbation et en évaluant la surface comporte moins d'incertitude qu'appliquer un seul coefficient d'émissions pour l'ensemble des forêts.

L'utilisation des terres auxquelles appartiennent les forêts comporte les subdivisions suivantes : terres exploitées et terres non exploitées (managed land/unmanaged land). Les terres exploitées sont des terres sur lesquelles s'étend une influence humaine en vue du développement de fonctions productives, écologiques ou sociales ou encore des terres sur lesquelles ont lieu des activités. Les terres non exploitées correspondent à toutes les autres terres qui n'entrent pas dans les critères de terres exploitées. Les activités de préservation dans le cadre de la REDD-Plus sont également reconnues en tant qu'activités cibles. Cependant, il n'existe pas de définition concrète du contenu pratique de ces activités (voir P01).

La partie où ont lieu les absorptions et émissions de carbone par stockage du carbone lors de l'utilisation de terres s'appelle un bassin et l'on définit cinq bassins de carbone différents tels que la biomasse aérienne et la biomasse souterraine. Par ailleurs, outre le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub> (méthane) et le N<sub>2</sub>O (oxyde d'azote) constituent des gaz à effet de serre (GES) sujets à notification. D'un point de vue du principe d'intégrité (voir I03), ces derniers sont tous soumis à une évaluation. Cependant, les impacts des bassins de carbone ou des gaz à effet de serre étant différents, le Tier 1) devant être appliqué diffère également. Dans les forêts, bien que l'impact des absorptions et des émissions de CO<sub>2</sub> dû aux variations des biomasses aérienne et souterraine soit en général important, Tier élevé est susceptible d'être envisagé également dans les autres bassins de carbone et gaz à effet de serre en fonction du type de forêt ou de la région (voir T02).

### Comment mesurer ?

En tant que méthode de mesure des stocks de carbone des forêts pour la REDD-Plus, la CCNUCC recommande la combinaison de télédétection et d'enquête de terrain 2).

Il existe deux méthodes d'estimation de l'évolution des stocks de carbone : la méthode par

défaut (méthode gains-pertes) et la méthode de différence des stocks (stock-change method ou stock difference method en anglais) (voir P07). La méthode par défaut consiste à estimer l'augmentation et la réduction du carbone dans chaque bassin de carbone forestier et à les ajouter au volume de variation global (Formule P04-1). Par exemple, il s'agit d'additionner l'augmentation provenant de la croissance de la biomasse, la réduction causée par le dépérissement des feuilles ainsi que les augmentations et réductions dues au changement d'utilisation des terres ou au détournement inverse, etc.

**INFO**

2) UNFCCC (2009) Decision 4/CP.15, FCCC/CP/2009/11/Add.1, 11-12, UNFCCC

$$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_L \quad (\text{P04-1})$$

Soit

$\Delta C$  : Cambio anual de carbono en el reservorio (t-C/año)

$\Delta C_G$  : Incremento anual de carbono (t-C/año)

$\Delta C_L$  : Descenso anual de carbono (t-C/año)

Par opposition, la méthode de différence des stocks consiste à procéder à l'estimation du volume des stocks de carbone des forêts en deux temps différents, puis à estimer la différence des stocks de carbone avec l'écart trouvé entre les deux temps (Formule P04-2).

$$\Delta C = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad (\text{P04-2})$$

Soit

$\Delta C$  : Cambio anual de carbono en el reservorio (t-C/año)

$C_{t_1}$  : La cantidad de carbono (t-C) en  $t_1$  (año 1)

$C_{t_2}$  : La cantidad de carbono (t-C) en  $t_2$  (año 2)

Les stocks de carbone d'une année correspondent à l'évaluation de la superficie de la forêt (ou d'une division de celle-ci) multipliée au volume des stocks de carbone par unité de surface.

Dans le cadre des estimations des stocks de carbone, la méthode par défaut peut être utilisée pour l'ensemble des Tier, du Tier 1 au Tier 3. En revanche, la méthode de différence des stocks est nécessairement employée pour le Tier 2 et le Tier 3. La méthode de différence des stocks est considérée comme capable d'estimer avec justesse l'augmentation et la réduction de volumes de carbone comparativement plus grands. Il s'agit d'estimer la superficie d'une forêt ou d'une division de celle-ci au moyen de la télédétection (voir P08), d'estimer le volume des stocks de carbone par unité de surface à l'aide des mesures au sol ou d'une méthode alternative (voir P09), puis d'estimer les variations des stocks de carbone des forêts en combinant ces deux estimations grâce à la méthode de différence des stocks.

## Notification du carbone des forêts

La recette ci-dessus correspond à la

Recette I03 Mesure, notification et vérification (MRV) de la surveillance des forêts

La notification constitue un processus de transmission d'informations conforme aux formalités et procédures déterminées à l'égard d'une institution définie. Ces informations comportent les valeurs estimées des volumes d'émissions et d'absorptions, les méthodes d'estimation, les procédures, le système et enfin les conditions de réalisation ainsi que les prévisions d'avenir des mesures mises en œuvre en vue de la réduction des émissions et en lien avec les puits de carbone. Aucun accord international n'a été conclu à l'heure actuelle au sujet des modalités (déroulement global, cadre général) des « notifications » relatives aux activités de la REDD-Plus dans le cadre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). C'est pour cette raison que cette recette décrit les conditions et les points de précautions fondamentaux indispensables aux « notifications » des volumes d'émissions et d'absorptions des gaz à effet de serre dans le domaine forestier tout en apportant une vue d'ensemble sur le déroulement des négociations internationales relatives aux « notifications » des volumes d'émissions et d'absorptions des gaz à effet de serre (GES) au niveau national.

### Qu'est-ce qu'une notification ?

Une notification est un processus de transmission d'informations conforme aux formalités et procédures définies à l'égard d'une institution définie. Ces informations comportent les valeurs estimées des volumes d'émissions et d'absorptions, la méthode d'estimation, les procédures, le système, les conditions de réalisation ainsi que les prévisions d'avenir des mesures mises en œuvre en vue de la réduction des émissions et en lien avec les puits de carbone. Elle est fortement significative dans le cadre de la garantie de transparence, car elle permet une comparaison des volumes de réductions et d'absorptions des émissions.

Il existe diverses formes de « notifications » selon que celles-ci soient réalisées au niveau national en vertu de la CCNUCC ou au niveau de projet conformément au mécanisme pour un développement propre (Clean Development Mechanism : CDM) ou à divers schémas de certification indépendants. Cependant, en tant qu'informations fondamentales, nous n'apportons ici qu'une vue d'ensemble sur les notifications requises au niveau national.

### Communications nationales (National communications)

Le premier alinéa de l'article 4 (Engagements) de la CCNUCC impose à l'ensemble des parties de produire un catalogue (inventaire) relatif aux émissions et aux éliminations artificielles des gaz à effet de serre dans leur propre pays en ayant recours à une méthode susceptible d'être comparée et approuvée par la Conférence des Parties (COP) tout en accordant une attention particulière aux responsabilités communes à tous les pays bien que différentes pour chacun de mettre à jour ce catalogue régulièrement, de le publier, de le soumettre à la Conférence des Parties et d'établir, de mettre en œuvre, de publier et de mettre régulièrement à jour un plan relatif aux mesures d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques.

Conformément à cette réglementation, l'article 12 de la CCNUCC détermine pour chaque pays le contenu et le calendrier des rapports apportant les informations par le biais du secrétariat de la Convention. On exige de l'ensemble des parties de réaliser des notifications sur le catalogue des émissions et des absorptions des gaz à effet de serre ainsi que sur l'aperçu des mesures mises en œuvre en vue de la réussite des objectifs de la Convention et précise que les pays visés à l'Annexe I sont tenus d'inclure dans leurs notifications le détail des politiques et mesures relatives aux changements climatiques, les prévisions futures des volumes d'émissions et d'absorptions, les conditions de soutien vers les pays en développement, etc. La soumission de ces informations se nomme une communication nationale (National Communication : NC) et les pays visés à l'Annexe I de la CCNUCC soumettent leur première notification dans les six mois à compter de la validité de la Convention pour le pays en question et dans les trois ans pour les pays en développement. Puis, la fréquence de soumission de ce rapport suit les décisions prises par la COP <sup>1)</sup>.

Aujourd'hui, au mois de juin 2012, l'ensemble des pays visés à l'Annexe I de la CCNUCC en sont à la soumission de leur cinquième communication nationale et la date limite pour le sixième rapport est fixée au 1er janvier 2014. D'autre part, 146 pays non visés à l'Annexe I de la CCNUCC ont soumis leur première communication nationale alors que la deuxième fois, seuls 74 pays ont soumis leur communications, et la troisième fois trois pays <sup>2)</sup> (Figure P05-1). Des discussions sont toujours en cours lors de la COP au sujet de la nécessité de respecter les délais de soumission et de renforcer les compétences de création de ces communications.

Par ailleurs, en vue du soutien des activités de création des communications nationales dans les pays non visés à l'Annexe I de la CCNUCC, un manuel de l'utilisateur <sup>3)</sup> ainsi qu'une guide de ressources offrant des explications plus détaillées sur la procédure de création sont publiés par la CCNUCC.

## Catalogue national des gaz à effet de serre (inventaire)

Nous avons rassemblé les valeurs estimées des volumes d'émissions et d'absorptions pour chaque pays dans leur ensemble en les classant par domaine. Les pays non visés à l'Annexe I de la CCNUCC concernent une partie des communications nationales mentionnées par pays. En ce qui concerne les pays visés à l'Annexe I de la CCNUCC, un cadre commun de présentation (Common Reporting Format : CRF) <sup>4)</sup> proposant sous forme de tableau le total des valeurs estimées quantitatives sur les volumes des émissions et des absorptions annuels entre 1990 et ces dernières années (le délai de soumission est le 15 avril, deux années après l'année concernée par la notification) ainsi qu'un rapport d'inventaire national (National Inventory Report : NIR) où sont décrits les méthodes de calcul, le contexte et les procédures sont produits et soumis chaque année. Un examen de ces derniers est réalisé par une équipe d'examen composée d'experts.

Les volumes d'émissions et d'absorptions des gaz à effet de serre sont calculés pour six domaines différents que sont l'énergie, les processus industriels, le changement d'utilisation des terres et forêts, l'utilisation de solvants et autres produits, l'agriculture et les déchets. Les volumes d'émissions et d'absorptions des forêts et du déboisement appartiennent au secteur de

### INFO

1) Decision 17/CP.8 Guidelines for preparation of national communications from Parties not included in Annex I of the Convention:  
UNFCCC (2003) Decision 17/CP.8, Guidelines for the preparation of national communications from Parties not included in Annex I to the Convention, FCCC/CP/2002/7/Add.2  
<http://unfccc.int/resource/docs/cop8/07a02.pdf#page=2>

### INFO

2) Non-Annex I national communications :  
[http://unfccc.int/national\\_reports/non-annex\\_i\\_natcom/items/2979.php](http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/items/2979.php)

### INFO

3) Reporting on Climate Change: user manual for the guidelines on national communications from non-Annex I Parties :  
[http://unfccc.int/files/essential\\_background/application/pdf/userman\\_nc.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/application/pdf/userman_nc.pdf)

### INFO

4) CRF of the LULUCF sector of Annex I Parties :  
UNFCCC (2005) Decision 14/CP.11, Tables of the common reporting format for land use, land-use change and forestry

l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie (secteur appelé communément UTCATF).

Les méthodes de calcul sont supposées se baser sur les lignes directrices du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) convenues lors des COP. Par ailleurs, pour les méthodes de calcul dans le domaine de l'utilisation des terres telles que les forêts, les pays non visés à l'Annexe I de la CCNUCC sont invités à utiliser les lignes directrices du GIEC de 1996. En ce qui concerne les pays visés à l'Annexe I de la CCNUCC, on utilise le GBP-UTCATF (Guide des bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie) du GIEC publié en 2003. Les pays signataires des objectifs de réduction des émissions reposant sur le Protocole de Kyoto sont invités à soumettre des informations complémentaires<sup>5)</sup> à propos des volumes d'émissions et d'absorptions créés par les activités des puits de carbone sur la base de l'alinéa 3 de l'article 3 du Protocole ainsi que des activités choisies dans l'alinéa 4 de l'article 3. Ces informations complémentaires ont trait à l'emplacement et à la superficie des terres concernées par les activités ainsi qu'aux volumes des émissions et des absorptions. Par ailleurs, outre un examen du catalogue basé sur la Convention, ces informations font l'objet d'une inspection par une équipe d'examen composée d'experts. En cas de défaut ou d'omission dans les résultats des examens ou les contenus des rapports, les pays se voient suggérer des recommandations à des fins d'amélioration et, si aucune amélioration n'est réalisée dans un délai défini, on procède à un «ajustement» par des spécialistes. De plus, en cas de défauts ou d'omissions dépassant les limites définies, le pays concerné se verra infliger des pénalités telles qu'une suspension de son éligibilité en tant que participant aux mécanismes du Protocole de Kyoto.

#### INFO

5) UNFCCC (2007) Decision 6/CMP.3, Good practice guidance for land use, land-use change and forestry activities under Article 3, paragraphs 3 and 4, of the Kyoto Protocol

### Rapports biennaux de mise à jour et consultation et analyse internationale

Pendant la COP 16 de 2010, les pays sont parvenus à un accord dans le dessein de promouvoir les mesures d'atténuation des pays en développement conformément aux mesures d'atténuation appropriées au niveau national (Nationally Appropriate Mitigation Action : NAMA) sur un processus de consultation et d'analyse internationale (International Consultation and Analysis : ICA) consistant à la soumission par les pays en développement d'un rapport biennal de mise à jour (Biennial Update Report : BUR)<sup>6)</sup> comportant un rapport d'inventaire ainsi que la description de l'état des engagements dans les activités d'atténuation et la nécessité ou l'état des soutiens provenant des pays développés entre autres de pair avec la soumission tous les quatre ans d'une communication nationale. Le délai et le contenu du rapport d'étape biennal sont définis dans les lignes directrices pour l'élaboration du rapport biennal de mise à jour convenues lors de la COP17 de 2011. Les pays en développement soumettent un premier rapport biennal de mise à jour d'ici à 2014, mis à jour tous les deux ans par la suite qui doit comporter un inventaire des plus récent datant au maximum de quatre ans avant la date de soumission et les rapports mis à jour par la suite doivent comprendre un rapport datant au maximum de trois années en arrière.

Le rapport d'inventaire compris dans le rapport biennal de mise à jour réalise ses calculs

#### INFO

6) UNFCCC (2010) Decision 2/CP.17, Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention, paragraph 39-44, UNFCCC biennial update reporting guidelines for Parties not included in Annex I to the Convention

et rapports conformément aux lignes directrices du GIEC de 1996, au GBP (Guide de bonnes pratiques) du GIEC de 2000 et au GBP-UTCATF du GIEC de 2003. En ce qui concerne le domaine de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie, il est recommandé dans la mesure du possible d'utiliser le cadre de présentation de l'annexe 3 du Chapitre 3 du GBP-UTCATF du GIEC de 2003 <sup>7)</sup>.

Par ailleurs, au cours de la COP17, les Parties se sont également accordées sur les modalités (déroulement global, cadre général) et des lignes directrices de la consultation et de l'analyse internationale <sup>8)</sup> en fixant notamment la mise en œuvre de la première consultation et analyse internationale dans les six mois après la soumission et une révision reposant sur l'expérience de ces modalités et lignes directrices d'ici à 2017. Cependant, les débats se poursuivent toujours au sujet de détails notamment de la composition de l'équipe d'experts pour réaliser cette consultation et analyse internationale.

## Exigences requises dans les rapports

Étant donné qu'aucun accord international n'a été trouvé au sujet des exigences requises dans le processus de « notification » du système de mesure, notification, vérification (MNV) de la REDD, il ne nous est pas possible ici de les décrire clairement. Nous devons garder un œil attentif à l'avenir sur l'évolution des discussions au sujet des relations entre les contenus des rapports et les processus présents dans les communications nationales ainsi que les rapports biennaux de mise à jour et sur les éléments imposés dans le cadre du système MNV de la REDD ainsi que sur la manière dont les activités de la REDD à différents niveaux de mise en œuvre s'ajustent à l'ensemble du système MNV.

Cependant, qu'il s'agisse d'une activité de mise en œuvre au niveau national ou au niveau de projet par un pays développé ou un pays en voie de développement, un rapport sur les volumes des émissions et absorptions exige transparence, exactitude, comparabilité, exhaustivité et cohérence. Par ailleurs, on considère dans tous les cas qu'indiquer avec clarté les principaux éléments de calcul tel que la définition de la forêt, les catégories des principaux niveaux de forêts, les méthodes de calcul et les principaux paramètres et faire attention à respecter la cohérence au sein d'un même type de rapport est recommandé afin de garantir ces cinq exigences dans les rapports sur le carbone des forêts.

Par ailleurs, à la différence des autres secteurs d'émissions, le domaine de l'utilisation des terres tel que la foresterie subit de façon complexe une grande influence de l'environnement naturel propre à chaque pays ainsi que des systèmes écosystémiques. Afin de réaliser des « notifications » présentant une haute fiabilité dans un tel contexte, une description (documentation) claire et convenable présentant des données quantitatives relatives aux volumes d'émissions et d'absorptions est essentielle. Par ailleurs, même au sujet des données qualitatives, il est important de s'aider des caractéristiques de l'environnement naturel en arrière-plan ou des conditions sociales ou économiques particulières qui y sont enracinées ainsi que les raisons sur le choix du processus ou de la méthode de calcul.

### INFO

7) Form: Chapter 3, Annex 3 in GPG-LULUCF :  
[http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf\\_files/Chp3/Anx\\_3A\\_2\\_Reporting\\_Tables.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/Chp3/Anx_3A_2_Reporting_Tables.pdf)

### INFO

8) UNFCCC (2010) Decision 2/CP.17, Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention, paragraph 56-62, Modalities and guidelines for international consultation and analysis

## Vérification du carbone des forêts

La recette ci-dessus correspond à la

Recette I03 Mesure, notification et vérification (MRV) de la surveillance des forêts

La « vérification » dans le cadre de la notification sur les volumes des réductions et absorptions des émissions est l'action consistant à garantir la fiabilité de la notification par un examen indépendant au sujet des valeurs estimées, du caractère adéquat ou non de la technique, des conditions du processus ainsi que de la rédaction. Il s'agit d'une action indispensable dans le cadre de l'évaluation de l'efficacité des mesures sur la base des inventaires de gaz à effet de serre (GES) ou des transactions de crédits provenant de projets de réduction des émissions devant être réalisés sous des contraintes réalistes de ressources, de ressources humaines ou de données. Étant donné que dans le cadre de la vérification dans le domaine forestier tel que la REDD-Plus ces contraintes sont particulièrement fortes, il est demandé de sélectionner une méthode de vérification réaliste et efficace adaptée à l'objectif du système ou du mécanisme. En ce qui concerne la vérification de la REDD-Plus, aucun accord n'a été trouvé à l'heure actuelle et il est possible qu'une méthode fondée sur des éléments particuliers à la REDD-Plus soit introduite en se référant à l'expérience jusqu'à présent.

### Qu'est-ce qu'une vérification ?

La définition générale de la « vérification » est « une action consistant à vérifier que des éléments requis ayant été définis sont réunis par la présentation de preuves objectives ». Dans tous les cas, que ce soit dans les rapports nationaux d'inventaire des gaz à effet de serre sous l'égide de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) ou dans les notifications au niveau de projets dans le cadre du mécanisme pour un développement propre (CDM) ou du système de crédits carbone indépendants, il s'agit d'une action indispensable dont les exigences requises ou la procédure à suivre diffèrent en fonction de l'objectif et du cadre des calculs ou de la notification.

Dans le cadre des rapports nationaux d'inventaire des gaz à effet de serre sous l'égide de la CCNUCC, la vérification est réalisée au sein d'un processus en série de contrôle de qualité (Quality Control : QC) et d'assurance de qualité (Quality Assurance : QA). La personne qui réalise les calculs ou un tiers examine le caractère adéquat des données quantitatives des activités sélectionnées, des paramètres ainsi que de la méthode de calcul en les comparant à un ensemble de données indépendant ou aux inventaires de pays voisins. D'autre part, dans les mécanismes tels que le mécanisme pour un développement propre (CDM) ayant pour prérequis le commerce de crédits ou le système de crédits carbone, la vérification consiste à vérifier a posteriori les volumes de réduction des émissions atteinte par le projet et est mise en œuvre en tant que processus d'examen afin d'apporter la fiabilité permettant des transactions de crédits. Il est exigé qu'un organisme tiers réalise les vérifications pour savoir si le projet est mis en œuvre conformément à la méthodologie ou aux contenus mentionnés dans le plan de projet.

## Éléments requis et processus de la vérification

Dans le cadre de la mise en œuvre de la vérification, il est nécessaire en premier lieu de vérifier les éléments requis et le processus de vérification prescrits par le système de calcul et de notification concerné. La vérification dans le cadre d'un rapport national d'inventaire sur les gaz à effet de serre repose sur les lignes directrices de 2006 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (Chapitre 6 du Premier volume, QA/QC et vérification) ou le GBP du GIEC (GBP 2000 et GBP-UTCATF de 2003). Par exemple, dans le cas du mécanisme pour un développement propre, la règle de vérification est conforme aux modalités et procédures convenues lors de la Conférence des Parties (COP) (déroulement global, cadre général) et au manuel approuvé par le conseil d'administration du CDM. D'autre part, dans le cas d'un cadre au niveau de projet basé sur des transactions de crédits, la mise en œuvre se base sur des lignes directrices indépendantes fixées par chacun de ces cadres en plus des lignes directrices du GIEC. Par exemple, les VCU (Verified Certification Units) qui sont les critères de vérification et de certification pour les transactions et les initiatives indépendantes au sein de l'Union européenne (UE) adoptent des lignes directrices conformes aux critères internationaux tels que ISO14064-03 qui sont les critères internationaux fixés par l'Organisation internationale de normalisation (International Organization for Standardization : ISO). Par ailleurs, les systèmes ayant pour objectif les transactions de crédits appliquent pour la plupart un système de certification conforme à ISO14065 afin de garantir les compétences de l'organisme tiers qui effectuent la vérification.

## Approche fondamentale de la vérification dans le domaine de la foresterie

La vérification des valeurs estimées sur les volumes de réduction et les volumes des absorptions des émissions est de manière fondamentale fondée sur les lignes directrices du GIEC. Celles-ci préconisent de sélectionner l'essentiel en créant un ordre de priorités des éléments concernés par l'approche en prenant en considération les contraintes techniques et budgétaires. Dans le cas d'un rapport d'inventaire national des gaz à effet de serre, on évalue (voir P12) en ce qui concerne chaque sous-catégorie et chaque gaz, leur importance au sein de l'ensemble des rapports et inventaires (résultats de l'analyse des catégories clés, importance dans le cadre des décisions politiques, etc.) ou leur degré d'incertitude et l'on sélectionne pour une vérification prioritaire les éléments ayant une importance ou une incertitude élevée.

Par ailleurs, le choix de l'approche relève d'une décision basée sur les possibilités de mise en œuvre et le caractère adéquat à la lumière des circonstances de chaque pays ou région. Cependant, il est nécessaire de prendre en considération également le degré d'intérêt, les coûts, la précision exigée, le niveau de complexité portant sur la planification et la mise en œuvre de l'approche de vérification ainsi que le niveau de spécialisation requis.

Dans le système de vérification tel que le mécanisme pour un développement propre, des vérifications conformes à des critères d'évaluation définis ont lieu à propos de la question tout d'abord de la cohérence avec les estimations présentes dans les lignes directrices du GIEC, mais également de savoir si la méthode d'estimation basée à l'origine sur les lignes directrices du

GIEC est employée, si la méthodologie d'application est suivie et si les contenus inscrits dans le document de conception de projet (Project Design Document : PDD) sont mis en œuvre correctement.

On donnera pour exemple cinq méthodes concernant l'approche principale qui s'applique dans le cadre de la vérification dans le secteur de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie (UTCATF) : 1) comparaison avec d'autres informations, 2) comparaison complète ou partielle avec une technique d'un Tier plus élevé, 3) observation directe, 4) télédétection, 5) modélisation (voir GBP-UTCATF du GIEC 2003).

Parmi ces méthodes, les méthodes 1) et 2) sont les plus représentatives parce qu'elles ont pour avantage de ne nécessiter aucune techniques ou connaissances spéciales et de pouvoir être réalisées à relativement bas coût à condition d'obtenir un ensemble de données et des paramètres. D'autre part, étant donné que les coûts, les efforts requis et le niveau de connaissances exigé diffèrent grandement en fonction de la méthode pour les méthodes 3), 4) et 5), la prise en compte d'un équilibre avec celles-ci doit être envisagée lors de leur adoption. La cohérence avec l'approche concernant les divers éléments du secteur de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie est organisée dans le tableau 5.7.1 du GBP-UTCATF de 2003 du GIEC (Tableau P06-1).

## Vérification de la REDD-Plus

En ce qui concerne les modalités de la vérification dans le cadre de la REDD-Plus (déroulement global, cadre général), il n'existe pas à l'heure actuelle de consensus international. En cas d'attribution d'incitations économiques en fonction des volumes de réduction ou des volumes d'absorptions des émissions, un processus de vérifications paraît indispensable pour garantir la fiabilité et l'impartialité. En particulier, dans le cas d'initiatives au niveau de projets basées sur des transactions de crédits, un système de vérification par un organisme tiers pourrait être introduit en se référant aux expériences du mécanisme pour un développement propre ou à des systèmes de certification de crédits indépendants.

Les critères d'évaluation dans le cas de la REDD-Plus ne sont pas définis à l'heure actuelle. Cependant, dans le cadre de la conception du système à l'avenir, en tant qu'élément propre à la REDD-Plus, des débats fondés sur l'expérience sur le terrain devraient s'avérer à nouveau nécessaires sur les questions de savoir s'il s'agit d'une initiative au niveau national, au niveau infranational ou au niveau de projets, mais également de savoir si les frontières sont déterminées de façon adéquate (zone du projet, zone de référence et ceinture de fuite, etc.), si le scénario ou les données sélectionnées sont adéquats en prenant convenablement en considération les facteurs de déboisement et de dégradation des forêts dans le cadre de la détermination d'une ligne de base (niveau de référence) et si un système de surveillance y compris dans le cas d'un modèle basé sur la participation des habitants est créé de manière correcte. Par ailleurs, les questions relatives à l'efficacité des activités de réductions des émissions telles que les activités de préservation des forêts, à l'impact sur l'écosystème tel que la biodiversité et à l'impact socio-économique et l'état de prise en charge des mesures de sauvegarde seront certainement sujets à débat à l'avenir.

Tableau P06-1 Applicabilité des approches de vérification pour l'identification de la superficie des terres, des bassins de carbone et des gaz à effet de serre autre que le CO<sub>2</sub>  
(extrait du point 5.7.1 Approche de vérification du chapitre 5 du GBP-UTCATF)

	Approche 1 Comparaison avec d'autres inventaires ou un ensemble de données.	Approche 2 Application d'une méthode supérieure	Approche 3 Observation directe	Approche 4 Télé-détection	Approche 5 Modélisation
Superficie de terrain	Approprié si les données existent	Approprié si les données existent	Application impossible	Approprié	Application impossible
<b>Bassins de carbone</b>					
Biomasse aérienne	Approprié si les données existent	Approprié si les données existent	Approprié (Mais il est nécessaire d'exploiter massivement les données.)	Approprié (il faut des données sur le terrain)	Approprié (modèle de régression, modèle d'écosystème, modèle de croissance)
Biomasse souterraine	Approprié si les données existent	Approprié si les données existent	Approprié (Mais il est nécessaire d'exploiter massivement les données.)	No applicable	Approprié (modèle de régression, modèle d'écosystème, modèle de croissance)
Bois mort	Approprié si les données existent	Approprié si les données existent	Approprié (Mais il est nécessaire d'exploiter massivement les données.)	Application impossible	Application possible (modèle d'écosystème, modèle basé sur l'inventaire)
Litière	Approprié si les données existent	Approprié si les données existent	Approprié (Mais il est nécessaire d'exploiter massivement les données.)	Application impossible	Application possible (modèle d'écosystème, modèle basé sur l'inventaire)
Sol	Approprié si les données existent	Approprié si les données existent	Approprié (Mais il est nécessaire d'exploiter massivement les données.)	Application impossible	Approprié (modèle d'écosystème)
Non gaz CO <sub>2</sub>	Approprié si les données existent	Approprié si les données existent	Approprié (Mais il est nécessaire d'exploiter massivement les données.)	Application impossible	Approprié (modèle d'écosystème)
Coefficient d'émission	Approprié si les données existent	Approprié si les données existent	Approprié (Mais il est nécessaire d'exploiter massivement les données.)	Application impossible	Approprié (modèle d'écosystème)
<b>Rapport sur les activités et les sols</b>					
Forêt, pré, terre cultivée et autres utilisations	Approprié si les données existent	Approprié si les données existent	Approprié (Mais il est nécessaire d'exploiter massivement les données.)	Approprié. Notamment pour connaître la couverture terrestre (utilisation) et son évolution	Approprié. Exploitation de grandes données. Application possible comme approche de substitution lorsque l'observation directe et la télé-détection ne sont pas applicables.
Nouvelle forêt plantée, forêt replantée, déboisement, activités de projet	Approprié si les données existent	Approprié si les données existent	Approprié (Mais il est nécessaire d'exploiter massivement les données.)	Approprié. Notamment pour connaître la couverture terrestre (utilisation) et son évolution	impraticable

## Références

Organisation internationale de normalisation (2005) ISO9000:2005

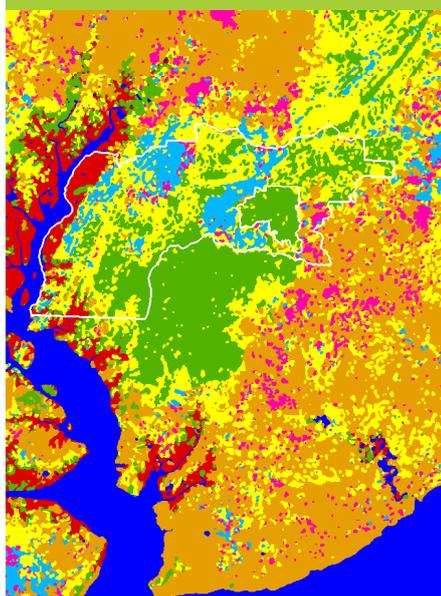
IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

IPCC (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IGES

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.htm>

# 5

## Chapitre 5 Surveillance grâce à la méthode de différence des stocks



La méthode de différence des stocks est encadrée par « l'estimation de la surface » et l'« estimation des stocks de carbone par unité de surface ». L'estimation de la surface peut être effectuée au moyen d'une série de méthodes de télédétection. D'autre part, l'estimation des stocks de carbone par unité de surface se divise grossièrement en deux catégories à la méthode de placettes d'échantillonnage permanentes ainsi que des méthodes ayant recours à un modèle d'estimation des stocks de carbone du peuplement forestier. Le présent chapitre apporte des explications détaillées sur la méthode de placettes d'échantillonnage permanentes au potentiel élevé de réalisation technique et présente quatre méthodes prometteuses ayant recours à un modèle d'estimation des stocks de carbone du peuplement forestier. Ensuite, il indique la procédure consistant à rechercher les volumes des absorptions et des émissions ainsi que leur degré d'incertitude en multipliant la surface des forêts estimée avec les stocks de carbone par unité de surface avant de terminer par des explications sur la mise en place de niveaux de référence et de niveaux d'émissions de référence de la REDD-Plus en se fondant sur les tendances des volumes des absorptions et émissions, sans oublier les défis qui se présentent aujourd'hui.

- P07 Méthode de différence des stocks
- P08 Estimation de la surface au moyen de la télédétection
- P09 Estimation des stocks de carbone par unité de surface
- P10 Méthode ayant recours aux placettes d'échantillonnage permanentes
- P11 Méthodes ayant recours à un modèle d'estimation des stocks de carbone du peuplement forestier
- P12 Calcul des volumes des absorptions et des émissions
- P13 Niveaux d'émissions de référence et niveaux de référence

## Méthode de différence des stocks

La recette précédente correspond à la

Receta P04 Mesure du carbone des forêts

La méthode de différence des stocks est une méthode, qui comme son nom l'indique, considère que la différence du volume des stocks de carbone à des moments différents correspond aux volumes des absorptions et des émissions. Elle est considérée comme pouvant être appliquée à grande échelle. D'autre part, cette méthode doit être à la fois solide et faire preuve de transparence. La présente recette donne des explications sur l'«évolution de la surface des forêts» et les « stocks de carbone par unité de surface» faisant parti de la méthode de différence des stocks.

### INFO

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

### INFO

2) UNFCCC (2009) Reducing emissions from deforestation in developing countries: approaches to stimulate action. FCCC/SBSTA/2009/L.19/Add.1

### INFO

3) Outre les forêts (Forest Land), les catégories suivantes existent : les terres agricoles (Cropland), les surfaces pastorales (Grassland), les zones humides (Wetlands), les terrains en développement (Settlements) et les autres terres (Other Land).

## Qu'est-ce que la méthode de différence des stocks ?

Les lignes directrices du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) de 2006 présentent deux méthodes en tant que méthodes de calcul du degré d'évolution des stocks de carbone de la biomasse forestière : la méthode par défaut (méthode gains-pertes [gain-loss method]) et la méthode de différence des stocks (stock-change method ou stock difference method en anglais)<sup>1)</sup>. La méthode par défaut est une méthode de calcul du degré d'évolution des stocks de carbone consistant à déduire des absorptions provenant de la croissance les émissions résultant des abattages et des perturbations naturelles (natural disturbance). D'autre part, la méthode de différence des stocks est une méthode consistant à rechercher le degré d'évolution à partir de l'écart entre les stocks de carbone à deux moments différents (= volumes des émissions et volumes des absorptions).

La méthode par défaut nécessite d'identifier les volumes d'abattage et les volumes de pertes dus à des perturbations, alors que dans la majorité des pays, il n'est pas possible d'obtenir des informations statistiques exactes permettant de les identifier. Par conséquent, on considère que la méthode de différence des stocks exprimée par l'évolution des stocks de carbone à deux moments donnés à savoir les volumes des émissions et des absorptions est une méthode dont les possibilités d'application sont plus étendues.

Pour l'identification du degré d'évolution des stocks de carbone au niveau national, nous constatons qu'une combinaison de la télédétection et de l'enquête de terrain est efficace<sup>2)</sup>. Ci-dessous, nous apportons des explications sur l'estimation de la surface en ayant recours à la télédétection et sur la manière de calculer les stocks de carbone par unité de surface grâce à une enquête de terrain.

## Estimation de la surface (voir P08)

Afin d'estimer les stocks de carbone des forêts, il est nécessaire d'identifier leur surface. Les forêts représentent une catégorie (categories) de l'utilisation des terres (land-use)<sup>3)</sup>. On assiste aussi bien à des conversions (conversion) de forêts vers

d'autres utilisations des terres qu'à des conversions d'autres utilisations de terres en forêts. Par ailleurs, il arrive que les catégories et sous-catégories soient stratifiées (stratification) en fonction du climat (climate), du sol (soil), de l'écosystème (ecological zone) ou des systèmes de gestion (management systems) <sup>4)</sup>.

Les lignes directrices du GIEC de 2006 fournissent les trois approches suivantes en tant que méthode de calcul des surfaces dans la catégorie de l'utilisation des terres <sup>4)</sup>.

- Approche 1: Trouver les accroissements et les réductions de superficie pour chaque subdivision d'utilisation des terres
- Approche 2: Identifier les volumes de surface des déplacements mutuels aux subdivisions d'utilisation des terres
- Approche 3: Identifier les utilisations de terre et le changement d'affectation de terre à chaque emplacement du territoire national

Ces trois approches diffèrent dans la manière d'appréhender la conversion de l'utilisation des terres. L'approche 1 enregistre pour l'ensemble du territoire national la superficie et l'évolution de celle-ci pour chaque catégorie d'utilisation des terres. Cependant, les conversions au sein des catégories ne sont pas prises en considération (de quelle catégorie vers quelle catégorie la conversion s'est-elle réalisée?). L'approche 2 enregistre les conversions au sein des catégories. Puis, l'approche 3 enregistre les lieux de ces conversions en les plaçant sur une carte <sup>5)</sup>. Dans la pratique, il est possible de combiner plusieurs des approches décrites ci-dessus.

Quelle que soit l'approche que vous utilisez parmi les trois approches mentionnées ci-dessus, il est nécessaire de compiler des données relatives à l'utilisation des terres sous une forme ou une autre. Afin de compiler des données concrètes relatives à l'utilisation des terres, les trois sources d'information suivantes <sup>4)</sup> sont disponibles

- Base de données déjà préparée à d'autres fins (database prepared for other purposes)
- Échantillonnage (collection by sampling)
- Inventaire ciblant l'ensemble du territoire (complete land inventory)

On commence par avoir recours aux informations existantes (cartes ou informations statistiques) <sup>6)</sup>. Ensuite, il est nécessaire d'obtenir de nouvelles données au moyen d'un échantillonnage dans le cas où les données existantes ne sont pas suffisantes. Le plan d'échantillonnage nécessite l'utilisation d'une méthode de stratification utilisant des informations préliminaires (auxiliary data and stratification) et à une méthode d'échantillonnage systématique (systematic sampling) <sup>7)</sup>. Lors de l'inventaire complet en troisième étape, il est possible d'obtenir une carte de l'utilisation des terres de l'ensemble du pays par le biais d'enquêtes régulières. Ces informations de cartes sur un vaste territoire sont réalisables grâce aux technologies de la télédétection <sup>8)</sup>.

#### INFO

4) IPCC (2006) Chapter 3: Consistent Representation of lands. In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use

#### INFO

5) En vue d'une identification précise des changements d'utilisation des terres d'un point de vue spatial qui s'avère nécessaire dans l'approche 3, on réalise une analyse en divisant la zone cible en carrés ou en petits polygones. Un aperçu de ces méthodes est présenté dans l'annexe 3A.4 du chapitre 3 du volume 4 des lignes directrices du GIEC de 2006.

#### INFO

6) Par exemple, lorsqu'un calcul au niveau national est envisagé, il est nécessaire de vérifier au préalable les informations utilisables dans le cadre de l'utilisation des terres. On peut donner pour exemple les bases de données pouvant être appliquées à la classification des terres, les bases de données nationales (National Databases) ainsi que les bases de données internationales (International Databases). Une liste de ces dernières est donnée dans le chapitre 3 du volume 4 des lignes directrices du GIEC de 2006 et leurs applications nécessitent de prendre garde aux différences de définitions concernant les catégories d'utilisation des terres ainsi qu'au degré de résolution <sup>4)</sup>.

#### INFO

7) Un aperçu sur la méthode d'échantillonnage est donné dans l'annexe 3 A.3 (Annex 3 A.3) <sup>4)</sup> des lignes directrices du GIEC de 2006.

#### INFO

8) Une enquête de terrain est nécessaire pour inspecter les résultats de classement par télédétection.

### INFO

9) Singh A (1989) Digital change detection techniques using remotely sensed data. *Int J Rem Sens* 10: 989-1003

### INFO

10) Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Toriyama J, Awaya Y, Asai H, Furuya N, Ochiai Y, Inoue Y, Sato T, Sophal C, Sam P Tith B, Ito R, Siregar C.A, Matsumoto M (2011) Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human intervention. *JARQ* 45(2): 233-242

### INFO

11) Fox JC, Yosi CK, Nimiago P, Oavika F, Pokana JN, Lavong K, Keenan RJ (2010) Assessment of aboveground carbon in primary and selectively harvested tropical forest in Papua New Guinea. *Biotropica* 42(4): 410-419

### INFO

12) Samreth V, Chheng K, Monda Y, Kiyono Y, Toriyama J, Saito S, Saito H, Ito E (2012) Tree biomass carbon stock estimation using permanent sampling plot data in different types of seasonal forest in Cambodia. *JARQ* 46(2): 187-192

## Estimation de l'évolution de la surface (voir P11)

En comparant les surfaces des forêts ayant été estimées grâce à la méthode décrite ci-dessus à deux moments différents, il est possible de trouver l'évolution de la surface des forêts. Grâce à l'utilisation de la télédétection, il est possible de détecter l'évolution des surfaces dont nous pouvons donner pour exemple les deux méthodes principales suivantes 9) :

- Comparaison des résultats pour chaque catégorie à deux moments différents
- Détection de l'évolution en fonction des catégories sur des images représentant différents moments

La première consiste en une méthode de comparaison des résultats des catégories en créant séparément une classification de couverture végétale pour deux images prises à deux moments différents alors que la seconde consiste à détecter directement les régions présentant une évolution grâce à l'utilisation d'une image ancienne et d'une image nouvelle. Étant donné que les résultats obtenus diffèrent en fonction de la méthode, il est nécessaire de choisir une méthode adéquate en identifiant les particularités de chacune.

## Estimation des stocks de carbone par unité de surface (voir P09)

La méthode de différence des stocks propose les cinq méthodes suivantes pour trouver les stocks de carbone par unité de surface 10)

- Placettes d'échantillonnage permanentes
- Hauteur telle que hauteur de l'état dominant
- Diamètre de la canopée
- Âge de la communauté
- Coefficient de rétrodiffusion par radar à synthèse d'ouverture(SAR)

Chacune des méthodes citées ci-dessus possède des avantages et des inconvénients et leurs conditions d'application diffèrent pour chacune. Les enquêtes terrestres ayant recours à des placettes d'échantillonnage permanentes peuvent être appliquées à une variété d'utilisations des terres telles que la conversion en terres agricoles ou l'abattage. Jusqu'à présent, des initiatives consistant à surveiller de manière étendue les stocks de carbone des forêts grâce à la méthode PSP (placettes d'échantillonnage permanentes) en disposant de nombreuses placettes d'échantillonnage permanentes au niveau national ont été mises en œuvre 11), 12) (voir P10).

## Estimation sur des stocks de carbone totaux et variations de ces derniers (voir P12)

La méthode de différence des stocks consiste à rechercher les variations des stocks de carbone en ayant recours à l'équation ci-dessous:

$$\Delta C = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \quad (\text{P07-1})$$

Soit  $\Delta C$  le degré de variation annuel des stocks de carbone du bassin de carbone (t-C/année),  $C_{t_1}$  le volume de carbone (t-C) dans  $t_1$  (année) et  $C_{t_2}$  le volume de carbone (t-C) au cours de  $t_2$  (année).

Par ailleurs, dans le cas de subdivision des catégories en sous-catégories par type de forêts ou forme de gestion de celles-ci, le volume de variation des stocks de carbone correspond à l'addition des volumes de variation de chacune des sous-catégories telles que dans l'équation suivante :

$$\Delta C = \sum_{ijk} \left[ \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1} \right]_{ijk} \quad (\text{P07-2})$$

Soit  $i$  le type de climat,  $j$  le type de forêt et  $k$  la forme de gestion.

Dans le cadre de l'estimation des stocks de carbone, il est nécessaire de mener des initiatives pour réduire au maximum les incertitudes en réalisant une évaluation de celles-ci (voir P12). Dans le cas de variations des estimations de la surface en ayant recours aux images satellites, l'utilisation de définitions différentes en fonction de l'époque des mesures ou de la présence de défaut dans le plan d'échantillonnage entraîne des incertitudes <sup>4)</sup>. D'autre part, en ce qui concerne l'incertitude de l'estimation des stocks de carbone, la disposition des placettes dans le cas par exemple des placettes d'échantillonnage permanentes ainsi que le nombre de mises en place prennent de l'importance.

### Références

- Köhl M, Magnussen SS, Marchetti M (2006) Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory. Springer-Verlag
- Ravindranath NH, Ostwald M (2008) Carbon Inventory Methods: Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects. Springer-Verlag

## Estimation de la surface au moyen de la télédétection

La recette précédente correspond à la

Recette P07 Méthode de différence des stocks

Cette recette apporte des explications au sujet de l'estimation de la surface grâce à la télédétection. Premièrement, nous décrivons les types de télédétection ainsi que les avantages et inconvénients de chaque sorte de capteur satellisé à partir du point de vue de la résolution spatiale ainsi que de la fréquence d'observation. Ensuite, nous apportons des explications au sujet du prétraitement des données indispensables à l'analyse des données de télédétection. Par ailleurs, le traitement de la classification nécessaire à l'estimation de la surface est expliqué en distinguant la manière de définir les classes, la méthode de compilation de la réalité de terrain, la méthode de classification ainsi que les vérifications des résultats de la classification. En dernier lieu, nous décrivons la méthode d'estimation des variations de surface grâce aux images des classifications disponibles avec les résultats de ces analyses.

### Types de données et de logiciels (voir T05)

Les données de télédétection sont classées grossièrement en fonction du capteur qui obtient les données de télédétection. Il existe divers types de capteurs, dont le capteur optique, le radar à synthèse d'ouverture (Synthetic Aperture Radar ; SAR) et la détection et localisation par la lumière (Light Detection And Ranging ; LiDAR). Les capteurs optiques observent la lumière réfléchie des objets ciblés. Ils permettent une compréhension intuitive par la ressemblance de leurs images avec les paysages que l'être humain voit et ressent. Ces capteurs, les plus employés en tout temps, excellent dans la discrimination des couvertures terrestres.

Le SAR irradie de micro-ondes la surface du sol en diagonale. L'intensité, la phase et le temps de la réflexion (rétrodiffusion) sont enregistrés. Le SAR est prometteur dans ses applications pour l'observation des forêts tropicales, car en traversant les nuages, il permet une observation en tout temps la nuit comme le jour.

En irradiant d'un laser à impulsion les objets ciblés, le LiDAR (détection et localisation par la lumière) mesure la distance entre le capteur et l'objet ciblé grâce à l'observation du temps d'arrivée ou de l'intensité de la lumière réfléchie. Le LiDAR permet de connaître la hauteur des arbres individuels ou du peuplement forestier et permet de mesurer la biomasse des forêts.

Tous les types de données de télédétection ont en commun la résolution spatiale, la résolution en longueur d'onde et la résolution temporelle. La résolution spatiale constitue un indice indiquant le degré de précision avec lequel il est possible de voir la terre. Elle s'étend de quelques centimètres à 1 m pour les photographies aériennes alors qu'avec un capteur d'un satellite artificiel, elle s'étend de 40 cm à plusieurs kilomètres. La résolution en longueur d'onde constitue un indice qui permet une observation en divisant en plusieurs champs de longueur d'onde observables. Elle comporte les capteurs à une longueur d'onde, les capteurs à longueurs d'onde multiples (multispectraux), mais également les capteurs hyperspectraux dotés de plusieurs dizaines de longueurs d'onde, etc. La résolution temporelle constitue la

fréquence d'observation. Elle varie d'un jour à plusieurs dizaines de jours ou peut correspondre à la trajectoire du satellite ou au champ d'observation du capteur. Les données de télédétection résultant d'une combinaison adéquate des différentes résolutions en tenant compte de leur objectif et leurs coûts doivent être utilisées.

En ce qui concerne le logiciel employé pour l'analyse des données de télédétection, il existe toutes sortes de logiciels, certains disposant déjà des fonctions nécessaires de prétraitement telles que la correction d'atmosphère et la correction géographique, les traitements des images tels que l'opération et la classification des images ainsi que l'élaboration de cartes. D'autres logiciels libres présentent uniquement certaines de ses fonctions. Par ailleurs, il existe également un logiciel spécialisé dans la catégorie de l'espace-objet beaucoup employé ces dernières années. Pour estimer la surface des forêts en ayant recours à la télédétection, outre un logiciel de traitement des images, un SIG s'avère également nécessaire pour l'élaboration de cartes à propos des résultats de l'analyse des images. Afin de sélectionner le SIG le plus approprié en fonction de l'objectif de l'utilisation et des compétences de l'utilisateur, l'avis d'un spécialiste ou d'un utilisateur expérimenté est nécessaire.

## Prétraitement des données (voir T06)

Étant donné que les données de télédétection présentent diverses déformations à l'étape de leur obtention, il est nécessaire de réaliser un prétraitement afin d'éliminer ces déformations et de les transformer en données appropriées à l'analyse. Le prétraitement comporte entre autres la correction de l'atmosphère, la correction de la géométrie et la correction topographique. La correction de l'atmosphère consiste à atténuer les impacts subis par les signaux réfléchis provenant de l'impact de l'atmosphère et la correction de la géométrie consiste à réaliser une correction afin d'adapter l'image à la carte. La correction topographique consiste à transformer les déformations provenant de la topographie présentant différents reliefs en projections orthographiques en utilisant les données topographiques.

De plus, dans les zones de forêt tropicale humide par exemple, il arrive souvent que l'on ne parvienne pas à obtenir d'images sans nuages avec une image unique, mais qu'il soit nécessaire de créer des images sans nuages en réalisant une pixellisation grâce à l'extraction de parties sans nuages à partir de multiples images. À cette occasion, il est nécessaire de faire attention au fait que le volume de rayonnement provenant de la lumière du soleil diffère pour chaque image. Par ailleurs, en cas de création d'une carte d'inventaire du peuplement forestier au niveau national, il est nécessaire de réaliser une pixellisation d'images obtenues à différentes périodes. Dans ce cas, dans les zones de forêts saisonnières, il arrive que l'on procède à un traitement d'atténuation de l'impact du changement de saison sur les forêts et en particulier des différences d'effeuillage. Ce traitement est considéré au sens large comme un prétraitement.

## Définition des différentes classes (voir T07)



Figure P08-1 Confirmation des coordonnées géographiques lors d'une étude sur la réalité de terrain

Il est nécessaire que chacune des classes soit définie en tant que classe complète et exclusive ne présentant pas de parties communes à une autre classe et que ces classes comprennent l'ensemble de la couverture végétale en tenant compte des particularités écologiques des forêts, du volume de biomasse et des conditions de gestion des forêts dans le pays cible. En cas d'utilisation de la télédétection, une classification à un degré de précision suffisant est possible à partir des données de télédétections utilisées. En même temps, il est nécessaire que ces classes ne soient pas en contradiction avec le système de classification du peuplement forestier existant.

## Réalité de terrain (voir T08)

Les données de référence fiables compilées pour l'analyse des données de télédétection telles que la couverture végétale, le type de forêts, la biomasse forestière et autres données sont appelées la réalité de terrain. Celles-ci sont en général divisées en données d'apprentissage et en données de vérification, les premières étant utilisées pour le processus de classification et les secondes pour l'évaluation des résultats de la classification. Ces données nécessitent dans la mesure du possible un échantillonnage aléatoire ou systématique afin de ne pas influencer de manière arbitraire sur l'analyse (Figure P08-1). Par ailleurs, il arrive que la garantie d'un nombre d'échantillons suffisants s'avère compliquée d'un point de vue de la nature de la cible, à savoir les forêts. Dans de tels cas, afin d'éviter toute distorsion, il est nécessaire de tenir compte du fait que les échantillons soient moins nombreux dans les endroits difficiles d'accès.

## Technique de classification (voir T09)

La classification est un processus consistant à rassembler les éléments présentant des caractéristiques statistiques similaires. Le processus de classification se divise en une classification non dirigée et une classification dirigée. La classification non dirigée consiste à réaliser des grappes par une classification en ayant uniquement recours aux particularités statistiques des informations spectrales des données de télédétection, puis d'apposer une étiquette à chaque grappe en utilisant les données de réalité de terrain. La classification dirigée consiste à extraire un schéma des caractéristiques spectrales à partir des données de télédétection de base en utilisant les données d'apprentissage au sein de la réalité de terrain et à effectuer à partir de ce schéma une classification en rassemblant les éléments ayant des particularités statistiques similaires. Par ailleurs, la classification peut également distinguer la base en pixel de la

base en objet. La classification basée sur le pixel correspond à une classification ayant recours pour chaque pixel d'image de télédétection (élément d'image) aux caractéristiques spectrales de chaque bande alors que la classification basée sur l'objet correspond à une classification ayant recours aux informations spectrales et texturales de la partie interne de l'objet en séparant l'image de télédétection en fonction objet grâce à des informations de couleur ou de morphologie (Figure P08-2). On considère que la classification basée sur l'objet est capable d'obtenir de façon efficace des résultats se rapprochant d'une lecture visuelle, car les lignes de démarcation sont tracées automatiquement par l'ordinateur.

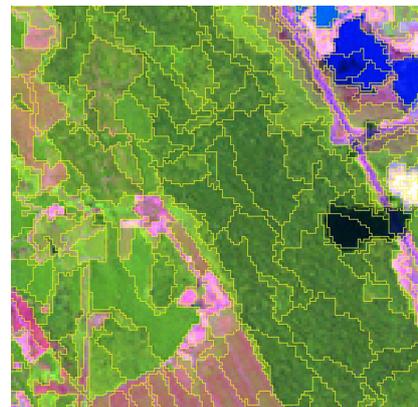


Figure P08-2 Classification orientée objet dans l'image satellite Landsat

### Verificación de la precisión de los resultados de clasificación (voir T10)

La vérification du degré de précision consiste à évaluer la validité des images classifiées. La vérification du degré de précision consiste à créer un tableau sur l'efficacité de la discrimination en ayant recours à des données de vérification disponibles à partir de la réalité de terrain. Il est possible d'employer en tant qu'indice de vérification du degré de précision, le degré de précision global, le degré de précision des utilisateurs, le degré de précision des créateurs, le coefficient Kappa, etc. À cette occasion, il semblerait que le nombre d'échantillons nécessaires est de 50 par classe. On évalue le degré de précision de ces derniers en utilisant le tableau d'efficacité de discrimination et procède si nécessaire à la rectification des écarts de surface.

### Estimation de l'évolution de la surface (voir T11)

Deux méthodes existent pour estimer l'évolution de la surface en ayant recours aux données de télédétection. La première consiste à comparer deux périodes différentes après la classification des images et la seconde consiste à extraire directement l'évolution de la couverture végétale en classant de manière groupée les images à deux périodes ou à des périodes multiples. La première des méthodes pose pour problème la nécessité d'une correction étant donné que le processus de classification est indépendant et que les lignes de démarcation des parties fixes ne sont pas alignées. La seconde pose le problème de la difficulté de l'interprétation ou de l'élaboration de cartes des résultats permettant d'analyser en une fois l'ensemble des schémas des classes fixes et des classes ayant changé entre elles.

### Références

- Lillesand TM, Kiefer RW, Chipman JW (2007) Remote Sensing and Image Interpretation, sixth edition. Wiley
- McCoy RM (2005) Field Methods in Remote Sensing. Guilford Press
- Alexander R, Millington AC (2000) Vegetation Mapping. Wiley

## Estimation des stocks de carbone par unité de surface

La recette précédente correspond à la

Recette P07 Méthode de différence des stocks

Pour élever l'estimation des stocks de carbone au Tier 2 ou au Tier 3, une collecte continue d'informations sur les stocks de carbone au niveau national est nécessaire. Il existe de multiples méthodes d'estimation des stocks de carbone par unité de surface susceptibles d'être utilisées dans la méthode de différence des stocks (stock-change method ou stock difference method). Celles-ci se résument à la méthode de placettes d'échantillonnage permanentes et aux méthodes ayant recours à un modèle. Cette recette apporte des explications à propos des deux méthodes d'estimation des stocks de carbone par unité de surface ci-dessus.

### INFO

1) D'ordinaire, quelle que soit la méthode, les résultats des mesures étant calculés en tant que biomasse (t/ha), il est nécessaire de convertir les stocks de carbone (t-C/ha) en les multipliant par 0,5 qui correspond au taux de la teneur en carbone.

### Ressources disponibles (voir T03)

L'estimation des stocks de carbone par unité de surface <sup>1)</sup> comporte une méthode consistant à mesurer directement les volumes du carbone des forêts ciblées par l'enquête (la méthode de placettes d'échantillonnage permanentes par exemple) et une autre consistant en une estimation indirecte grâce à un modèle d'estimation. Quelle que soit la méthode utilisée, le choix du lieu de mise en œuvre de l'enquête, le nombre de sites de l'enquête et l'acquisition de techniques par les responsables de l'enquête et de l'analyse influent fortement sur la valeur estimée. Ici, nous appellerons « ressources » les informations ou techniques utiles dans le cadre d'une estimation précise et commode des stocks de carbone.

En fonction du pays, il est arrivé que dans le passé des enquêtes sur la végétation, des enquêtes sur les ressources forestières, des investigations du sol - et d'autres enquêtes ciblant un pays ou une région d'un pays aient été mises en œuvre par le biais de divers projets. Les informations obtenues grâce à ces dernières peuvent constituer d'importantes ressources. Par exemple, il est possible de distinguer les terres ou les forêts en se basant sur des informations sur les forêts ou sur le sol ainsi que sur des distinctions en lien avec le climat. L'utilisation des données sur le diamètre ou les espèces d'arbres peut permettre d'estimer les stocks de carbone par unité de surface pour chaque type de forêt en plaçant ces données comme paramètres. Par ailleurs, connaître les types d'activité ayant causé un déboisement ou une dégradation des forêts permet de prévoir les schémas d'évolution des forêts. De telles ressources sont également utiles pour la détermination des sites d'installation des placettes ainsi que pour l'aménagement des placettes lors de la méthode de placettes d'échantillonnage permanentes. Les méthodes ayant recours à un modèle peuvent être utilisées pour un plan d'échantillonnage servant à compiler des paramètres plus commodes. Les informations des organismes ayant pris part aux enquêtes passées constituent également des ressources dans le cadre de la création d'un système d'exécution de l'enquête.

Toutes sortes de méthodes d'enquête ont été proposées jusqu'à présent, chacune avec ses avantages et ses inconvénients. Les équipements nécessaires, le degré de difficulté technique ainsi que les coûts diffèrent (Tableau P09-1) pour chacune des méthodes. La sélection de la méthode est réalisée en prenant pour critères les ressources utilisables ou réalisables sur le terrain.

### Méthode de mesure directe des stocks de carbone (méthode ayant recours aux placettes d'échantillonnage permanentes) (voir P10)

La méthode de mesure directe des stocks de carbone met en place plusieurs placettes d'échantillonnage permanentes (Permanent Sample Plot : PSP) dans les forêts. Il s'agit d'une

méthode de calcul des stocks de carbone qui se fonde sur les espèces, la taille et le nombre d'arbres qui y poussent. Cette méthode nécessite une main-d'œuvre importante pour la mise en place des placettes d'échantillonnage permanentes ainsi que pour les activités d'entretien sur place. Une enquête ne peut être réalisée que dans les endroits où les mesureurs peuvent entrer. Cependant, elle présente pour avantage d'avoir une méthode et des outils d'enquête simple et de permettre l'obtention de données d'un haut degré de précision.

### Méthode de mesure indirecte des stocks de carbone (méthode ayant recours à un modèle d'estimation) (ver P11)

Il existe plusieurs méthodes permettant d'estimer de manière indirecte les stocks de carbone dans les régions cibles à partir d'un satellite artificiel ou une analyse d'images telle que des photos aériennes. Ces méthodes donnent souvent lieu à des compromis en matière de coûts des machines nécessaires à l'analyse et de degré de précision de l'analyse. Dans le cas de forêts où le nombre d'arbres par unité de surface est connu et dont l'espèce des arbres, leur âge ou la taille de chacun d'entre eux sont les mêmes (plantation par exemple), une estimation est possible grâce à l'utilisation de relations de croissance relative entre l'âge des arbres et les stocks de carbone. Les méthodes ayant recours à un modèle d'estimation sont les suivantes : la méthode de hauteur de l'étage dominant (overstory height method), la méthode du diamètre de la canopée (crown diameter method), la méthode de l'âge de la communauté (community age method) ainsi que la méthode de rétrodiffusion par le radar à synthèse d'ouverture (SAR) (Backscattering coefficient method).

## Références

Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Toriyama J, Awaya Y, Asai H, Furuya N, Ochiai Y, Inoue Y, Sato T, Sophal C, Sam P Tith B, Ito R, Siregar CA, Matsumoto M (2011) Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human

Tableau P09-1 Comparaison des méthodes d'estimation des volumes d'émissions de gaz à effets de serre résultant d'activités humaines de toutes sortes (Kiyono et al., 2011 modifié)

Méthode d'estimation	Conditions nécessaires	Frais	Difficultés à obtenir les données d'une vaste zone	Difficultés techniques	Possibilité par méthode d'estimation des volumes d'émissions de gaz à effets de serre résultant d'activités humaines				Possibilité d'augmenter la précision de l'estimation par la participation d'habitants locaux à la surveillance
					Conversion en terre agricole	Réduction de la durée de la culture sur brûlis	Abattage	Collecte de bois de chauffage	
Placette d'échantillonnage permanente (PSP)	Mesures par enquête de terrain	Elevés	Difficile	Limite pour la représentativité et confidentialité des placettes	Possible	Possible	Possible	Possible	Elevés
Hauteur de l'étage dominant	SAR à interférences multipolaires	Bas	Moyens	Elle est encore au stade d'essai et les exemples de mise en œuvre sont encore peu nombreux.	?	?	?	Impossible	Bas
	LIDAR aéroporté	Elevés	Difficile	Rien à signaler	Possible	Possible	Possible	Impossible	Bas
	Capteur satellitaire de vision stéréoscopique	Moyens	Fácil	Impossible avec les images contenant des nuages. Il n'y a pas encore d'exemple réel	?	?	?	Impossible	Bas
	Mesures par enquête de terrain	?	Difficile	Il n'y a pas encore d'exemple réel L'étendue réalisable est limitée.	Possible	Possible	Possible	Impossible	Elevés
L'âge de la communauté	Image satellitaire en haute et moyenne résolution	Moyens	Fácil	Applicable au sol mis à nu périodiquement par la culture sur brûlis	Impossible	Possible	Impossible	Impossible	Bas
Le diamètre de la canopée		Elevés	Moyens	Impossible avec les images contenant des nuages. Pour certains types de forêt, il est difficile de saisir le diamètre de la canopée.	Partiellement possible	Impossible	Partiellement possible	Impossible	Bas
Coefficient de rétrodiffusion	SAR aux ondes supérieures à la Bande L	Bas	Moyens	Difficile à appliquer pour un terrain en grande pente. Application difficile pour les forêts denses	Partiellement possible	Partiellement possible	Impossible	Impossible	Bas

\*Ce tableau ne peut être appliqué aux forêts marécageuse (tourbière, mangrove).

## Méthode ayant recours aux placettes d'échantillonnage permanentes

La recette précédente correspond à la  
 Recette P09 Estimation des stocks de carbone par unité de surface

On appelle placettes d'échantillonnage permanentes (Permanent Sample Plot : PSP) les zones d'échantillonnage terrestres mises en place pour mesurer des éléments tels que le diamètre à hauteur d'homme et la hauteur des arbres une fois toutes les quelques années dans le but de déterminer les variations des forêts. La présente recette aborde les points de vigilance concernant le nombre requis et à la disposition de placettes d'échantillonnage permanentes ainsi qu'au plan et aux mesures effectués sur les placettes d'échantillonnage permanentes en se fondant sur une méthode d'enquête par échantillonnage et décrit la méthode d'estimation des stocks de carbone utilisant les données de placettes d'échantillonnage permanentes.

### INFO

1) Fox JC, Yosi CK, Nimiago P, Oavika F, Pokana JN, Lavong K, Keenan RJ (2010) Assessment of aboveground carbon in primary and selectively harvested tropical forest in Papua New Guinea. *Biotropica* 42(4): 410-419

### INFO

2) Gibbs KH, Brown S, Niles OJ, Foley AJ (2007) Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environ Res Lett* 2: 045023

### INFO

3) Pearson T, Walker S, Brown S (2005) Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank

### INFO

4) Kitahara F, Mizoue N, Yoshida S (2009) Evaluation of data quality in Japanese National Forest Inventory. *Environ Monit Assess* 159: 331-340

## Nombre requis et disposition des placettes

Afin d'estimer de manière efficace les stocks de carbone à vaste échelle (au niveau national voire infranational), il est nécessaire de prendre en considération le nombre requis et la disposition des placettes d'échantillonnage permanentes en se basant sur la méthode d'enquête par échantillonnage. Il est possible de calculer le nombre requis de placettes d'échantillonnage permanentes grâce aux équations <sup>1)</sup> et <sup>2)</sup> suivantes lorsque la population est suffisamment importante.

$$n \geq \left( \frac{t \cdot CV}{E} \right)^2 \quad (P10-1)$$

Soit  $E$  le taux d'erreur admissible (valeur après division de la moitié de la largeur de l'intervalle de confiance à 95 % par la valeur moyenne),  $CV$  le coefficient de variation,  $t$  la valeur lorsque le seuil de signification de la distribution est de 5 % et le degré de liberté de -1. À partir de cette équation, on comprend que lorsque  $E$  devient plus petit ou  $CV$  devient plus grand, le nombre de ( $n$ ) augmente. Par exemple, dans le premier inventaire forestier national réalisé au Japon en 1961, on a calculé  $n$  à partir de  $E=3\%$ ,  $t=2$ ,  $CV=150\%$ , como sigue:

$$n \geq \left( \frac{2 \times 1.5}{0.03} \right)^2 = 10000 \quad (P10-2)$$

Ainsi, le nombre requis est fixé à 10 000 placettes. Afin de déterminer le  $CV$  de manière adéquate, des informations préalables de l'ensemble de la forêt ou de chaque type de forêt ainsi que des estimations basées sur des enquêtes préliminaires ou des expériences passées sont indispensables.

Afin de ne pas se concentrer sur un endroit facile d'accès proche d'une route ou d'un hameau, la disposition des placettes d'échantillonnage permanentes doit être non biaisée et suivre la méthode <sup>3)</sup>, <sup>4)</sup> d'échantillonnage simple au hasard ou méthode <sup>3)</sup>, <sup>4)</sup> d'échantillonnage périodique. Par ailleurs, afin de réaliser l'enquête par échantillonnage de manière plus efficace, la méthode d'échantillonnage stratifiée <sup>3)</sup>, <sup>4)</sup> qui détermine le nombre d'échantillons et leur disposition pour chaque secteur de la forêt classifié à l'avance grâce notamment à la télédétection s'avère extrêmement efficace.

## Conception et mesures des placettes d'échantillonnage permanentes

Le plan de placettes d'échantillonnage permanentes doit permettre de rendre efficaces les

mesures sur le terrain. Les placettes sont en général de forme circulaire ou carrée, mais il arrive souvent de créer une placette formée d'emboîtement de plusieurs sections de différentes tailles où les arbres de petite taille sont mesurés dans des petites sections et les arbres de grosse taille dans de grandes sections <sup>5)</sup>. Par exemple, les placettes d'échantillonnage permanentes disposées dans l'ensemble du Japon selon maillage de 4 x 4 km présentent trois cercles concentriques d'un rayon de 5,64 m, 11,28 m et 17,84 m (Figure P10-1) et le diamètre minimal des arbres sur pied soumis à mesure sont respectivement de 1 cm, 5 cm et 18 cm <sup>6)</sup>.

Étant donné que les mesures se répètent chaque année, les placettes d'échantillonnage permanentes nécessitent de mettre en place des signaux indiquant l'entrée vers les placettes et les délimitations des placettes (Figure P10-2), d'attribuer des numéros aux arbres à l'aide de plaquettes en aluminium et de marquer l'emplacement à hauteur d'homme <sup>7)</sup>. Par ailleurs, des pertes de numéro des arbres se produisant souvent, un schéma d'emplacement des arbres sur pied doit impérativement être élaboré. En outre, des mesures de minimisation des erreurs de mesure sont nécessaires par la création d'un manuel précis de mesures ou par une formation préalable aux mesures adressée aux auteurs de l'enquête <sup>6), 7)</sup>.

## Analyse des données des placettes d'échantillonnage permanentes

Les stocks de carbone des arbres correspondent à la moitié de la biomasse (poids sec) <sup>5)</sup>. Les deux méthodes suivantes existent pour estimer la biomasse à partir des données de mesure des placettes d'échantillonnage permanentes <sup>8)</sup>. L'une consiste en une méthode ayant recours à une équation allométrique permettant d'estimer la biomasse par arbre y compris ramure et feuillage en entrant dans l'équation allométrique soit les données de diamètre à hauteur d'homme seules, soit les données de diamètre à hauteur d'homme et de hauteur d'arbre. Cette équation allométrique est créée à propos de diverses régions et espèces d'arbre (groupe), bien que l'équation standard ayant été développée par Brown <sup>7)</sup> et Chave <sup>8)</sup> au sujet des arbres de la zone tropicale soit souvent utilisée.

L'autre méthode est la méthode ayant recours à un facteur d'expansion de la biomasse (Biomass Expansion Factor : BEF) <sup>8)</sup>. Le facteur d'expansion de la biomasse constitue un facteur servant à convertir le volume des troncs ( $m^3$ ) rapporté depuis longtemps dans les enquêtes forestières ordinaires en biomasse y compris ramure et feuillage et est exprimé en taux de la biomasse sur le volume des troncs (Mg/M3). Le facteur d'expansion de la biomasse est créé pour chaque région et chaque espèce d'arbre (groupe).

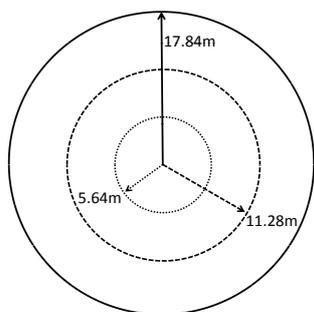


Figure P10-1 Forme des placettes dans le cadre de la PSP au Japon disposé selon un maillage de 4 x 4 km



Figure P10-2 Signalisation vers les placettes au Cambodge

### INFO

5) Kitahara F, Mizoue N, Yoshida S (2010) Effects of training for inexperienced surveyors on data quality of tree diameter and height measurements. *Silva Fennica* 44: 657-667

### INFO

6) Brown S (2002) Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environ Pollut* 116: 363-372

### INFO

7) Brown S (1997) Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. *FAO Forestry Paper* 134. FAO

### INFO

8) Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure J-P, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Riéa B, Yamakura T (2005) Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87-99

## Méthode ayant recours à un modèle d'estimation des stocks de carbone du peuplement forestier

La recette précédente correspond à la

Recette P09 Estimation des stocks de carbone par unité de surface

Pour estimer les stocks de carbone par unité de surface, outre la méthode des placettes d'échantillonnage permanentes qui mesure directement les arbres (P10), il existe une méthode ayant recours à un modèle d'estimation des stocks de carbone du peuplement forestier. Elle permet d'estimer grâce à un modèle les stocks de carbone à partir de paramètres, et plusieurs méthodes sont proposées en fonction des paramètres utilisés. Cette recette explique les caractéristiques des modèles ayant recours respectivement aux paramètres de hauteur de l'étage dominant, du diamètre de la canopée, de l'âge de la communauté ainsi que du coefficient de rétrodiffusion tout en énonçant l'importance de l'utilisation d'un modèle d'estimation.

### INFO

1) Le modèle utilisé ici consiste principalement à l'estimation des stocks de carbone des biomasses aérienne et souterraine. Ces méthodes ne sont pas toutes adaptées pour l'estimation du volume des bassins de carbone tels que le bois mort et la litière. Certaines de ces méthodes comportent des limites en termes de possibilité d'estimation des volumes et contenus. Par conséquent, afin d'estimer ces bassins de carbone, un ajustement tel que la combinaison avec une enquête de terrain devient nécessaire.

### INFO

2) Mascaro J, Asner GP, Muller-Landau HC, Breugel Mv, Hall J, Dahlin K (2011) Controls over aboveground forest carbon density on Barro Colorado Island, Panama. *Biogeosciences* 8: 1615-1629

### INFO

3) Saatchi SS, Harris NL, Brown S, Lefsky M, Mitchard ETA, Salas W, Zutta BR, Buermann W, Lewis SL, Hagen S, Petrova S, White L, Silman M, Morel A (2011) Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *PNAS* 108: 9899-9904

## Élaboration et vérification du modèle

La méthode des placettes d'échantillonnage permanentes (voir P10 et T12 à 14) permet de déterminer le déboisement et la dégradation des forêts dus à un changement d'affectation des terres tel que la conversion en terres agricoles ou à des perturbations telles que l'abattage. Son application excelle par son caractère polyvalent dans le fait qu'elle ne choisit pas les types d'arbres ou de végétaux. Cependant, dans le cadre de la REDD-Plus qui requiert des données de précision élevée, le nombre de placettes à mettre impérativement en place devient élevé ce qui pose des problèmes de quantité de travail et de coûts. La méthode consistant à une estimation indirecte par la modélisation d'une équation relationnelle entre les stocks de carbone et les paramètres en ayant recours à des paramètres obtenus sans passer par une enquête de terrain apparaît comme un choix valide <sup>1)</sup>. Cependant, la valeur d'estimation du modèle n'impliquant pas de vérification du degré de précision par une enquête de terrain, des problèmes du point de vue de la méthode de mesure, notification et vérification (MNV) du carbone des forêts surgissent. Afin de parvenir au degré visé de précision de l'estimation, il est nécessaire de choisir un plan d'enquête et un modèle en tenant compte des coûts nécessaires à l'acquisition des données et du nombre d'échantillons nécessaires à l'élaboration du modèle (voir T15).

Ci-dessous, nous expliquons l'aperçu des modèles d'estimation ayant recours respectivement aux paramètres de hauteur de l'étage dominant, de diamètre de la canopée, d'âge de la communauté et de coefficient de rétrodiffusion <sup>1)</sup>.

### Méthode de la hauteur de l'étage dominant (Overstory height method) (voir T16)

La méthode d'estimation des stocks de carbone par unité de surface qui prend pour indice la hauteur de l'étage dominant en utilisant les relations de proportionnalité <sup>2)</sup>, <sup>3)</sup> et <sup>4)</sup> entre la hauteur de l'étage dominant et la biomasse de la communauté est appelée la méthode de la hauteur de l'étage dominant. On obtient les informations sur la hauteur de l'étage dominant par des mesures terrestres ou la télédétection (avion LiDAR, satellite LiDAR, SAR à interférences multipolaires, capteur à vision stéréoscopique satellitaire). Les coûts de réalisation et la représentativité à grande échelle (taille de la section faisant l'objet de l'analyse) dépend du capteur utilisé. L'équation relationnelle entre la hauteur de l'étage dominant et la biomasse a un caractère très polyvalent alors que des équations relationnelles dues aux différences de type de forêt ou aux séries de transition ne sont pas claires <sup>3)</sup>. Pour créer les équations relationnelles ci-dessus, les données sur la hauteur totale des arbres provenant des enquêtes de chaque arbre sont nécessaires et le degré de précision des mesures ainsi que le nombre d'échantillons s'avèrent également importants.

### Méthode du diamètre de la canopée (Crown diameter method) (voir T17)

La méthode consistant à estimer les stocks de carbone par unité de surface en prenant pour indice les informations sur le diamètre de la canopée grâce à la relation de croissance exponentielle de la biomasse de chaque arbre individuel par rapport à la canopée <sup>5)</sup> est appelée la méthode du diamètre de la canopée. Les informations sur le diamètre de la canopée s'obtiennent grâce à des photographies aériennes ou des images satellitaires à haute résolution. Les coûts de réalisation sont élevés et les nuages peuvent avoir un impact en cas d'utilisation de capteurs optiques. Il est possible de détecter et de quantifier la dégradation des forêts liées à l'abattage d'arbres à grand diamètre. La confirmation visuelle de la canopée est une condition nécessaire et convient uniquement à des forêts d'arbres à grand diamètre ainsi qu'à des arbres épars alors qu'elle n'est pas adaptée aux forêts secondaires jeunes ainsi qu'aux forêts de bambou. Les informations sur le diamètre de la canopée susceptibles d'être obtenues depuis le ciel concernent uniquement les arbres de la strate supérieure alors que la biomasse des arbres des strates intermédiaire et inférieure nécessite une estimation séparée.

#### INFO

4) Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Toriyama J, Awaya Y, Asai H, Furuya N, Ochiai Y, Inoue Y, Sato T, Sophal C, Sam P, Tith B, Ito E, Siregar CA, and Matsumoto M. (2011) Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human intervention. *JARQ* 45: 233-242

### Méthode de l'âge de la communauté (Community age method)(ver T18)

La méthode consistant à estimer les stocks de carbone par unité de surface en prenant pour indice les informations sur l'âge de la communauté grâce à la relation selon laquelle la biomasse de la communauté subit une augmentation monotone par le traçage d'une courbe de saturation en fonction de l'âge de la communauté <sup>6)</sup> est appelée la méthode de l'âge de la communauté. Les informations sur l'âge de la communauté sont obtenues par la surveillance des périodes et des emplacements de survenance de terrains nus en ayant recours à des données satellitaires à résolution moyenne au minimum. La perte de détection des terrains nus est directement liée à la baisse du degré de précision si bien qu'une fréquence de surveillance d'une fois par an au minimum s'avère nécessaire. Les coûts sont moyens. Elle s'avère efficace pour les systèmes d'utilisation cyclique des terres pour lesquels il existe une période de dénudation en première période de formation de la communauté tels que les brûlis ou les plantations de caoutchouc. Elle permet d'estimer l'évolution des stocks de carbone liés au raccourcissement du nombre d'années de jachère des brûlis ou à une conversion vers des forêts artificielles.

#### INFO

5) Inoue Y, Kiyono Y, Asai H, Ochiai Y, Qi J, Oliosio A, Shiraiwa T, Horie T, Saito K, Dounagsavanh L (2010) Assessing land-use and carbon stock in slash-and-burn ecosystems in tropical mountain of Laos based on time-series satellite images. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 12(4): 287-297

### Méthode du coefficient de rétrodiffusion (Backscattering coefficient method) (ver T18)

La méthode consistant à l'estimation de la biomasse aérienne par unité de surface à partir du coefficient de rétrodiffusion obtenu à l'aide d'un radar à synthèse d'ouverture (SAR, Synthetic Aperture Radar) <sup>7)</sup> ( $\sigma^0$ , dB) s'appelle la méthode du coefficient de rétrodiffusion. La biomasse aérienne suit une augmentation monotone en traçant une courbe de saturation face au coefficient de rétrodiffusion. Pour cela, l'estimation du peuplement forestier intermédiaire et élevé des stocks grâce à une équation simple d'estimation est compliquée et nécessite de faire preuve d'ingéniosité comme envisager l'introduction de données empiriques <sup>8)</sup>. Les micro-ondes du SAR traversant les nuages, une utilisation dans une région où les nuages sont nombreux toute l'année <sup>9)</sup> est prévue. Les micro-ondes dotées d'une longueur d'onde élevée sont favorables à l'analyse des forêts. Les coûts de réalisation sont faibles, la comparaison de scènes multiples est facile et elle excelle dans la représentativité à grande échelle. D'autre part, avec l'influence de la structure du peuplement forestier, de la topographie, de la teneur en eau des sols, de l'état de la surface du sol ainsi que des réflexions multiples, l'analyse n'est pas aisée et il subsiste de considérables problèmes techniques à surmonter.

#### INFO

6) Carreiras J, Vasconcelos MJ, Lucas RM (2012) Understanding the relationship between aboveground biomass and ALOS PALSAR data in the forests of Guinea-Bissau (West Africa). *Remote Sens Environ* 121: 426-442

#### INFO

7) Ju J, Roy DP (2008) The availability of cloud-free Landsat ETM+ data over the conterminous United States and globally. *Rem Sens Environ* 112: 1196-1211

## Calcul des volumes des absorptions et des émissions

La recette précédente correspond à la

Recette P07	Méthode de différence des stocks
Recette P08	Estimation de la surface au moyen de la télédétection
Recette P09	Estimation des stocks de carbone par unité de surface

Cette recette énonce la méthode de calcul des stocks de carbone ainsi que de leurs variations (volumes des absorptions et émissions). Par ailleurs, afin d'augmenter la fiabilité des crédits carbone, il est nécessaire de diminuer les incertitudes (Uncertainties) des valeurs estimées des volumes des absorptions et des émissions <sup>1)</sup>. Nous expliquons à présent la combinaison de composantes d'incertitudes (Method to Combine Uncertainties) <sup>2)</sup> ainsi qu'un exemple de calcul ayant recours à des données d'échantillonnage.

### INFO

1) L'incertitude de la valeur moyenne calculée est la proportion (%) de l'écart entre la limite supérieure de l'intervalle de confiance de 95 % (ou la limite inférieure) et la valeur moyenne sur cette valeur moyenne. En supposant une distribution normale, l'écart entre la limite supérieure de l'intervalle de confiance et la valeur moyenne correspond à 1,96 fois l'écart-type et l'incertitude (%) est calculée d'après l'équation ci-dessous à partir de la valeur d'estimation moyenne et l'écart-type.

$$U = 100 \times (1,96 \times \sigma) / \mu$$

### INFO

2) À la place d'une combinaison de composantes d'incertitude, il est également possible d'évaluer l'incertitude grâce à la méthode de Monte Carlo (Monte Carlo Method). Dans ce cas, on estime un intervalle de confiance de 95 % à partir de la distribution des volumes des absorptions et des émissions calculés à partir d'une simulation en ayant recours à un logiciel générant des nombres au hasard (Microsoft Excel, R, etc.). Finalement, dans le cas de l'utilisation des données du tableau P12-1, les valeurs — 622,5 (t-C/année) et  $U\Delta c = 30,9$  (%) ont été obtenues avec 10000 itérations.

## Calcul des stocks de carbone et leurs variations

Dans la méthode de différence des stocks, on calcule les stocks de carbone (t-C) en calculant la superficie forestière (ha) ainsi que les stocks de carbone par unité de surface (t-C/ha). En premier lieu, on cherche grâce à une équation (P12-1) les stocks de carbone complets à partir de la superficie de chaque type de forêts et des stocks de carbone par unité de surface.

$$C_t = \sum_{i=1}^n (A_i \times C_i) \quad (\text{P12-1})$$

Soit  $C_t$  le total des stocks de carbone dans un certain temps  $t$  (t-C),  $A_i$  la superficie (ha) comprenant le type de forêt du nombre ordinal  $i$  et  $C_i$  les stocks de carbone par unité de surface (t-C/ha) que possède un type de forêts du nombre ordinal  $i$ .

Ensuite, on calcule les volumes des absorptions et des émissions à partir d'une équation (P12-2).

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \quad (\text{P12-2})$$

Soit  $\Delta C$  le volume des absorptions et des émissions (t-C/année),  $C_{t_2}$  et  $C_{t_1}$  les stocks de carbone totaux (t-C) dans les temps  $t_2$  et  $t_1$  (année).

Les stocks de carbone et le volume des absorptions et des émissions calculés ainsi constituent non seulement des données de surveillance, mais sont également employés dans la mise en place de niveaux d'émissions de référence et de niveaux de référence (voir P13).

## Incertaince de la quantité calculée

L'incertitude des stocks de carbone d'un type de forêts est calculée par un synthèse des incertitudes sur la surface et les stocks de carbone individuels sous forme de l'équation (P12-3).

$$U_i = \sqrt{U_{A_i}^2 + U_{C_i}^2} \quad (\text{P12-3})$$

Soit  $U_i$  l'incertitude de l'estimation des stocks de carbone du type de forêts d'un nombre ordinal  $i$  (%),  $U_{Ai}$  l'incertitude de l'estimation de la surface d'un type de forêt d'un nombre ordinal  $i$  (%),  $U_{Ci}$  l'incertitude de l'estimation des stocks de carbone par unité de surface d'un type de forêt d'un nombre ordinal  $i$  (%).

$U_i$  est calculé pour tous les types de forêts et est utilisé dans l'équation (P12-4).

$$U_t = \sqrt{\sum_{i=1}^n (U_i \times M_i)^2} / \left| \sum_{i=1}^n M_i \right| \quad (\text{P12-4})$$

Soit  $U_t$  l'incertitude du total des stocks de carbone à un temps donné (année) (%),  $M_i$  le total des stocks de carbone d'un type de forêts d'un nombre ordinal  $i$  ( $= A_i \times C_i$ ) (t-C).

En dernier, l'incertitude des volumes des émissions et des absorptions entre  $t_1$  et  $t_2$  est calculée avec l'équation (P12-5).

$$U_{\Delta C} = \sqrt{(U_{t_2} \times C_{t_2})^2 + (U_{t_1} \times C_{t_1})^2} / |C_{t_2} - C_{t_1}| \quad (\text{P12-5})$$

Soit,  $U_{\Delta C}$  l'incertitude des volumes des absorptions et des émissions entre les temps  $t_1$  et  $t_2$  (%).

Essayons maintenant de calculer les volumes des absorptions et émissions et leur incertitude en ayant recours à des données hypothétiques d'enquête. Nous avons montré dans le tableau P12-1 des données d'enquête de deux types de forêts, à savoir les forêts sempervirentes et les forêts caducifoliées. À ce moment, les volumes des absorptions et des émissions  $\Delta C$  et l'incertitude  $U_{\Delta C}$  sont calculés tels que ci-dessous en se basant sur les équations (P12-2) et (P12-5). t-C/année

$$\Delta C = (16204 - 22440) / (2010 - 2000) = -623.6$$

$$U_{\Delta C} = \sqrt{(6.5 \times 16204)^2 + (7.2 \times 22440)^2} / |16204 - 22440| = 30.9 \%$$

## Références

GOFC-GOLD (2011) A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation: GOFC-GOLD Report version COP17-1. GOFC-GOLD

IPCC (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.IGES

Tableau P12-1 Exemples de calcul des stocks de carbone forestier et des volumes des absorptions et des émissions (les caractères en italique correspondent aux résultats des calculs)

Données de carbones	$A_i$	$U_{Ai}$	$C_i$	$U_{Ci}$	$A_i \times C_i$	$\sqrt{U_{Ai}^2 + U_{Ci}^2}$	$C_t$	$U_t$
(unité)	(ha)	(%)	(t-C/ha)	(%)	(t-C)	(%)	(t-C)	(%)
Forêt sempervirente Année 2000	100	6	150	8	<i>15000</i>	<i>10.0</i>	<i>22440</i>	<i>7.2</i>
Forêt décidue Année 2000	93	4	80	7	<i>7440</i>	<i>8.1</i>		
Forêt sempervirente Année 2010	88	8	120	9	<i>11560</i>	<i>9.5</i>	<i>16204</i>	<i>6.5</i>
Forêt décidue Année 2010	68	2	83	5	<i>5644</i>	<i>5.4</i>		

## Niveau d'émissions de référence et niveaux de références

La recette précédente correspond à la

Recette P12 Calcul des volumes des absorptions et des émissions

Dans le cadre de la REDD-Plus, afin de quantifier la diminution des émissions relevant des activités de la REDD-Plus, on compare les volumes d'émissions réels en mettant en place des niveaux d'émissions de référence et des niveaux de référence. Cette recette apporte des explications au sujet de la mise en place de niveaux d'émissions de référence et de niveaux de référence reposant sur le débat du rassemblement de spécialistes organisé sur demande de l'Organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologiques (SBSTA) mis en place sous l'égide de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et met de l'ordre au sujet des débats ayant lieu au sein de la CCNUCC ainsi que des défis apparaissant dans le cadre de la mise en place de niveaux d'émissions de référence et de niveaux de référence.

### Mise en place de niveaux d'émissions de référence et de niveaux de référence

L'idée fondamentale de la REDD-Plus consiste à fournir certaines incitations économiques (fonds, crédits) pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> par le biais d'initiatives menées par les pays en développement en vue de réfréner le déboisement et la dégradation des forêts (les activités de la «REDD»), mais également en vue de la prévention des émissions de carbone ou de la réduction du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère par la fixation du carbone grâce à la préservation des forêts (les activités «Plus»). À cette occasion, afin de calculer la réduction effective en établissant une comparaison avec des cas où aucune initiative pour la REDD-Plus n'a été réalisée, des niveaux d'émissions de référence ainsi que des niveaux de référence sont mis au point.

La différence entre les niveaux d'émissions de référence et les niveaux de référence a été débattue lors des deux rassemblements de spécialistes organisé sur la demande du SBSTA <sup>1)</sup>, <sup>2)</sup>. En conclusion, les pays ont émis deux opinions différentes : certains ont nommé les émissions nettes au niveau national les niveaux d'émissions de référence et les absorptions nettes les niveaux de référence, alors que pour d'autres, les éléments liés aux activités de réduction d'émissions liées au déboisement et à la dégradation des forêts se rapportent aux niveaux d'émissions de référence et les éléments liés aux activités «Plus» se rapportent aux niveaux de référence. Dans certains cas, il arrive qu'un même pays adopte ces deux opinions. Par ailleurs, afin qu'il soit possible, dans le cadre d'une stratégie nationale et de plans d'action pour chacun des pays en développement, d'inclure progressivement de plus en plus d'activités de la REDD-Plus, de nombreux spécialistes partagent l'opinion selon laquelle on devrait faire preuve de souplesse dans les décisions sur les niveaux d'émissions de référence et les niveaux de référence.

Afin de déterminer les niveaux d'émissions de référence ainsi que les niveaux de référence, des données historiques relatives au déboisement et à la dégradation des forêts sont nécessaires. Il est possible de spécifier le déboisement de façon

#### INFO

1) UNFCCC (2009) FCCC/SBSTA/2009/2, UNFCCC

#### INFO

2) UNFCCC (2011) FCCC/SBSTA/2011/INF.18, UNFCCC

relativement aisée en ayant recours à des données satellites dans une série chronologique passée parce que celui-ci constitue un changement accompagnant un changement d'affectation des terres. Cependant, il est nécessaire, lors de la mise en place de niveaux d'émissions de référence et de niveaux de référence, d'estimer les stocks de carbone des forêts avant l'abattage étant donné que celui-ci constitue un changement des stocks de carbone des forêts. Par ailleurs, la surveillance de la dégradation des forêts comporte des difficultés d'ordre technique supérieures à la surveillance du déboisement. Néanmoins, en ce qui concerne la dégradation accompagnant la diminution drastique des stocks de carbone des forêts, il arrive souvent qu'une surveillance due à la télédétection soit possible. Pour cette raison, bien que la pensée selon laquelle il faut impérativement tenir compte des émissions provenant du déboisement dans le cadre de la mise en place de niveaux d'émissions de référence et de niveaux de référence soit partagée lors de rassemblements de spécialistes, l'opinion selon laquelle il n'est pas nécessaire d'inclure les émissions provenant de la dégradation des forêts si celles-ci ne sont pas significatives a été énoncée. Par ailleurs pour spécifier la dégradation des forêts, outre la télédétection, la surveillance et les mesures des stocks de carbone sur une base terrestre sont considérées comme indispensables.

## Débats actuels au sein de la CCNUCC

Lors de la COP15, il a été décidé qu'en cas de détermination par les pays en développement de niveaux d'émissions de référence ainsi que de niveaux de référence, ces derniers devaient être définis en tenant compte de la situation de chacun des pays tout en garantissant la transparence grâce à l'utilisation de données historiques. La COP16 a décidé que des niveaux d'émissions de référence des forêts ou des niveaux de référence des forêts au niveau national (au niveau infranational en tant que mesure transitoire) devaient être établis en tant que mesure de la REDD-Plus dans les pays en développement. Pourtant, à l'heure actuelle, leur définition ou leur méthode de détermination n'ont toujours pas été montrées.

À l'occasion de la COP17, les débats ont porté sur les modalités (déroulement global, cadre général) des niveaux d'émissions de référence et des niveaux de référence. Les niveaux de référence et les niveaux d'émissions de référence sont des critères d'évaluation des résultats de chaque pays dans le cadre de la mise en œuvre des activités. On y a montré la représentation de la conversion du carbone, l'élaboration de ces niveaux tout en respectant la cohérence avec les volumes des émissions et des absorptions provenant des forêts comprises dans l'inventaire des gaz à effets de serre de chaque pays, de meilleures données ou des méthodes améliorées pour le développement de niveaux d'émission de référence et de niveaux de référence, la validité de l'approche par étape consistant à intégrer en plus les bassins

de carbone si cela est adapté et la possibilité de les établir au niveau infranational en tant que mesures immédiates au sein d'une transition au niveau national.

## Organisation des différents défis à relever

Afin de déterminer des niveaux d'émissions de référence et des niveaux de référence, des données historiques s'avèrent nécessaires. Or, il est possible qu'en fonction de l'intervalle temporel pour l'obtention de ces données historiques ainsi que du type de modèle utilisé, les niveaux d'émissions de référence et les niveaux de référence mis en place diffèrent grandement. Dans le cas de l'utilisation d'un modèle minutieux, des données plus fréquentes s'avèrent nécessaires. Des discussions suffisantes sur le choix d'un modèle permettant de faire des prévisions d'avenir ainsi que sur l'intervalle temporel adéquat de l'obtention des données historiques nécessaires à cette création deviennent indispensables.

On considère qu'en vue de la transformation des stocks de carbone en crédits, une surveillance au degré de précision particulièrement élevé dans le cadre du processus de mesure, notification et vérification (MNV) est requise. D'autre part, en ce qui concerne les données historiques, leur obtention comporte des limites et la clé majeure pour la réussite de la REDD-Plus se situe dans la manière de mettre en place des niveaux d'émissions de référence ainsi que des niveaux de référence après avoir assuré la transparence et la fiabilité ainsi que dans la manière d'ajuster en fonction de la situation dans chacun des pays. Les niveaux des techniques ou des données nécessaires à la mise en place de ceux-ci se situent à des phases diverses dans les pays en développement, et étant donné que la situation est extrêmement différente pour chacun de ces pays, un développement des compétences adaptées à la situation de ces pays est nécessaire. À l'avenir, dans le cadre des activités de démonstration dans les pays en développement, les niveaux d'émissions de référence et les niveaux de référence seront mis en place à titre d'essai. L'organisation des points problématiques à partir de ces exemples et le passage à la mise en œuvre complète de la REDD-Plus paraissent indispensables.



# Technique

# 6

## Chapitre 6 Préparation dans le cadre de la mise en œuvre de la REDD-plus



Les conditions de distribution des forêts ainsi que les données concernant la quantité des ressources dans le cadre de la mise en œuvre de la REDD-Plus ont-elles été préparées dans le pays de mise en œuvre ? Quels sont les gaz à effet de serre devant être mesurés de manière prioritaire sur le terrain ? En définissant les conditions énoncées ci-dessus, les pays de mise en œuvre sont tenus de sélectionner une méthode d'estimation des stocks de carbone adaptée aux conditions des ressources utilisables.

Ce chapitre apporte un aperçu des inventaires forestiers nationaux et fournit des explications sur les gaz à effet de serre mesurés, les bassins de carbone ainsi que les ressources utilisables pour l'estimation des stocks de carbone des forêts. En outre, il présente les activités d'attribution de crédits issus de systèmes indépendants dont les initiatives se répandent dans le monde.

- T01 Les inventaires forestiers nationaux
- T02 Que mesurer ?
- T03 Les ressources disponibles
- T04 Les systèmes de certification de crédits indépendants

## Les inventaires forestiers nationaux

La recette précédente correspond à la

Recette I03 Mesure, notification et vérification (MNV) de la surveillance des forêts

Dans la plupart des principaux pays tels que les États-Unis et les pays européens, un inventaire sur les ressources forestières est réalisé régulièrement selon une méthode unifiée afin de déterminer le volume des ressources forestières de l'ensemble du pays. Ces inventaires sont appelés inventaires forestiers nationaux (National Forest Inventory, NFI). Nous décrivons ci-dessous de manière succincte le plan d'échantillonnage statistique, la forme des parcelles ainsi que la méthode d'investigation des inventaires forestiers nationaux.

### Qu'est-ce qu'un inventaire forestier national ?

Dans la plupart des principaux pays tels que les États-Unis et les pays européens, un inventaire sur les ressources forestières est réalisé régulièrement et de façon continue selon une méthode unifiée afin de déterminer le volume des ressources forestières de l'ensemble du pays. Les enquêtes forestières réalisées dans ce but sont appelés inventaires forestiers nationaux. L'inventaire forestier national a fortement tendance aujourd'hui à reposer sur une enquête sur les placettes au moyen d'un échantillonnage statistique. Celle-ci constitue également une méthode d'investigation adaptée en cas de nécessité d'un rapport doté d'un degré de précision statistique tel qu'un rapport sur les absorptions de carbone par les forêts.

### Le plan d'échantillonnage statistique des inventaires forestiers nationaux

Étant donné qu'il s'agit d'échantillons statistiques, la plupart des pays installent des placettes ou des groupes de placettes (grappes) grâce à la mise en place sur les terres d'un grillage à un intervalle de 0,5 à 20 km en prenant pour point de référence le grillage en question ou des points éloignés selon une règle définie (Figure T01-1). Les placettes étant susceptibles de se retrouver à des endroits ne correspondant pas à une zone forestière, l'estimation de la surface forestière peut être effectuée en vérifiant sur des photographies aériennes ou au moyen d'une exploration par exemple si les placettes correspondent ou non à une zone forestière.

Il existe une variété de possibilités concernant la forme des placettes ou l'utilisation ou non des grappes de placettes qui reflètent les différences telles que l'environnement

forestier de chaque pays. Les pays de l'Europe occidentale et méridionale comme la France, mais également le Japon, utilisent une méthode à placettes individuelles sans utiliser de grappes (Figure T01-2). Les pays du centre de l'Europe tels que l'Allemagne ont recours à des grappes de petite taille en disposant quatre placettes séparées de 150 à 500 mètres en forme de carré alors

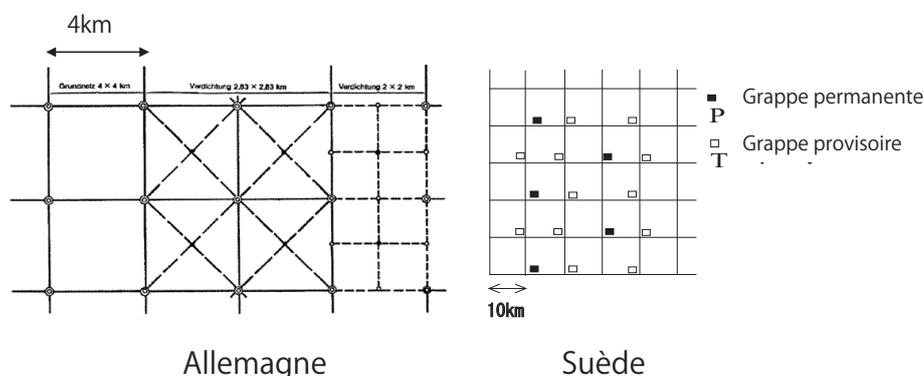


Figure T01-1 Exemple de grillage pour l'échantillonnage dans le cadre d'un inventaire forestier national

que l'Europe nordique utilise des grappes de grande taille dans lesquelles sont disposées plus de dix placettes en forme de rectangle de plus de 1 000 m de côté. Certains pays ont également recours à des grappes en forme de triangles rectangles tels que les États-Unis d'Amérique ou en forme de croix telles que le Brésil.

L'utilisation des grappes représente un avantage, car elle permet de mesurer de nombreuses données sur les placettes en peu de temps en cas d'accès facile aux arbres. En revanche, le dépouillement des données statistiques est complexe, car l'indépendance statistique n'est pas garantie pour les placettes d'une même grappe.

## Placettes et investigations des inventaires forestiers nationaux

Les stocks des forêts sont estimés à partir des mesures des arbres sur pieds dans les placettes. La forme des placettes est circulaire pour de nombreux pays à part pour les forêts naturelles en Chine, au Brésil et en Nouvelle-Zélande dans lesquelles elle est carrée. Les parcelles circulaires dans la plupart des pays s'organisent au moyen de deux ou quatre cercles concentriques dans lesquelles, plus le cercle se trouve vers le centre, plus on réalise les mesures des arbres sur pied à petit diamètre.

Par exemple, en France, on utilise des parcelles circulaires comportant trois cercles concentriques de 6, 9 et 15 m de rayon dans lesquelles on mesure les diamètres des arbres sur pied dotés d'un diamètre à hauteur d'homme à partir de 7, 20 et 37 cm. Les mesures de la hauteur totale des arbres nécessitant de l'énergie, elles ne sont en général réalisées que sur une sélection d'arbres sur pied. En fonction de la biodiversité ou d'un autre besoin, des descriptions et mesures de la végétation pastorale de sous étage, des arbres tombés, des souches d'arbres ainsi que de la matière organique du sol, etc. sont réalisées.

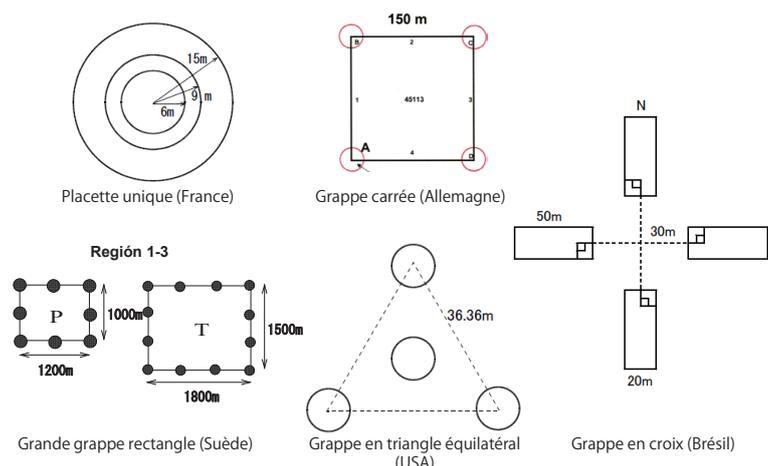


Figure T01-2 Modèle de disposition des placettes dans le cadre d'un inventaire forestier national

## Les inventaires forestiers nationaux dans les pays tropicaux

À cause de difficultés d'accès aux forêts ainsi que de problèmes techniques, l'inventaire forestier national tel qu'il est pratiqué dans les pays en Europe et aux États-Unis n'est pas réellement répandu dans les pays tropicaux. Nous décrivons à présent le cas du Brésil qui s'est lancé dans un nouvel inventaire forestier national depuis 2005 <sup>1)</sup>. Une partie du territoire du Brésil a été couvert de grillages à des intervalles de 20 km environ et quatre placettes rectangulaires de 20 m × 50 m ont été disposées en forme de croix. Les mesures des arbres sur pied d'un diamètre minimum à hauteur d'homme de 10 cm ont été réalisées. Des sous-placettes de 10 m × 10 m et 5 m × 5 m composées d'arbres à petits diamètres ou servant aux plants existent également à l'intérieur de ces placettes.

### INFO

1) Tomppo E, Gschwantner M, Lawrence M, McRoberts RE (2010) National Forest Inventories. Springer-Verlag

## Que mesurer ?

La recette précédente correspond à la Recette P04 Mesure du carbone des forêts

Afin de réaliser de manière efficace une surveillance des gaz à effet de serre, il est important de déterminer clairement les éléments faisant l'objet des mesures. Cette recette décrit les gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote) concernés par la REDD-Plus et les cinq bassins de carbone (biomasse aérienne, biomasse souterraine, bois mort, litière, matière organique du sol).

### INFO

1) S'il existe un élément de mesure dont la contribution est au minimum de 25 % du volume global des émissions, cet élément de mesure devrait être inclus de préférence dans les critères d'évaluation. En outre, il serait encore mieux que le total des contributions provenant d'éléments de mesure représente au minimum 95 % du volume global des émissions. De manière générale, les éléments de mesure faisant l'objet d'une surveillance et dotés d'un degré de priorité élevé sont appelés catégories clefs (Key Category).

### INFO

2) Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Hirai K, Saito H, Toriyama J, Monda Y, Awaya Y, Shimada M, Inoue T, Hatano R, Sophal C, Samreth V, Sum T, Kanzaki M, Limin SH, Jaya INS (2011) Important subcategory of greenhouse gas emissions from degraded forestland: CO<sub>2</sub> emissions from biomass in a seasonal forest in Cambodia and soil organic matter in a peat swamp forest in Indonesia. The Kanto Forest Research 62: 167-170

## Les gaz à effet de serre concernés par la REDD-plus

Le CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone), le CH<sub>4</sub> (méthane) et le N<sub>2</sub>O (protoxyde d'azote) sont les trois gaz à effet de serre qui font l'objet d'une surveillance dans le cadre de la REDD-Plus. Quel que soit le type d'écosystème forestier, la première exigence est la mesure du CO<sub>2</sub>. Ensuite, dans les régions où les forêts sont en proie à des incendies, les mesures du CH<sub>4</sub> et du N<sub>2</sub>O pourraient s'avérer nécessaires alors que dans les régions où sont répandues les forêts de tourbières, il pourrait être nécessaire de mesurer le CH<sub>4</sub>. On décide de la mise en œuvre des éléments de mesures, y compris du CH<sub>4</sub> et du N<sub>2</sub>O, d'après le degré de contribution de chacun des éléments par rapport au volume global des émissions, y compris les autres éléments de mesure <sup>1)</sup>. La Figure T02-1 présente un exemple d'estimation de la contribution de chaque élément de mesure par rapport au volume global des émissions en ayant recours aux valeurs par défaut du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) ainsi qu'à des valeurs observées indépendantes <sup>2)</sup>.

D'autre part, même si la réalisation des mesures est jugée nécessaire, celle-ci peut présenter des difficultés. Nous pouvons donner pour exemple deux types de méthodes principales : la méthode de différence des stocks ayant pour objet le CO<sub>2</sub> (stock-change method ou stock difference method) et la méthode des flux ciblant le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O. En revanche, la méthode des flux est chronophage et coûteuse, car elle nécessite l'introduction d'un matériel d'analyse (chromatographie en phase gazeuse) ainsi que la formation du personnel. La fréquence d'observation est d'une fois toutes les deux à quatre semaines et nécessite à chaque fois que le personnel se rende sur le terrain. Afin de

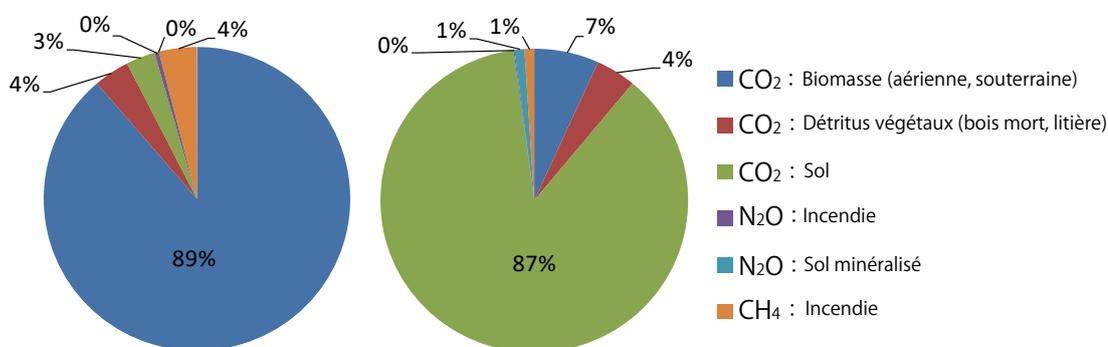


Figure T02-1 Estimation des contributions de chacun des éléments de mesure par rapport au volume global des émissions <sup>2)</sup>.

À gauche : Forêt tropicale saisonnière (425 t - CO<sub>2</sub>/ha/10 années au total)

À droite : Forêts de tourbières (avec eau de drainage : 878 t-CO<sub>2</sub>/ha/10 années au total)

contenir les coûts de surveillance, on emploiera les valeurs disponibles si une université ou un organisme de recherche réalise déjà la méthode des flux dans la zone du projet.

En cas d'impossibilité d'obtention de ces valeurs, on peut également envisager d'utiliser les coefficients d'émissions par défaut du GIEC <sup>3)</sup>. Cette recette est dédiée au thème de la méthode de différence des stocks présentant une forte probabilité de réalisation dans de nombreux projets et se limite à une simple présentation de références <sup>4)</sup> à propos de la méthode des flux (Figure T02-2).



Figure T02-2 Mesures des gaz à effets de serre grâce à la méthode des flux <sup>4)</sup>

- A) Installation d'un récipient hermétiquement clos (caisson)
- B) Absorption des gaz au moyen de cylindres
- C) Injection et conservation des gaz dans le bocal en verre sous vide

#### INFO

3) On peut consulter la base de données du coefficient des émissions en cliquant sur l'URL ci-dessous : <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>

#### INFO

4) Sakata T, Ishizuka S, Takahashi M (2004) A method for measuring fluxes of greenhouse gases from forest soils. Bulletin of FFPRI 392: 259-265

## Les cinq bassins de carbone

La méthode de la différence des flux considère que la biodiversité des forêts comporte cinq bassins <sup>5)</sup>. Il s'agit de la biomasse aérienne, de la biomasse souterraine, du bois mort, de la litière et de la matière organique du sol. Il est important que chacun de ces bassins apporte sa contribution. Dans le cas des forêts tropicales saisonnières tel que dans la Figure T02-1, la contribution du CO<sub>2</sub> originaire des biomasses aérienne et souterraine est importante. La mesure de celui-ci de façon indépendante (sans avoir recours à un coefficient d'émissions par défaut) permet de contribuer à l'amélioration du degré de précision des estimations du volume global des émissions. D'autre part, dans les forêts de tourbières indiquées dans la Figure T02-1, le CO<sub>2</sub> provenant de la matière organique du sol (tourbe) représente un élément majeur. Les recettes P10 et P11 expliquent la méthode de différence des stocks ayant pour objet les biomasses aérienne et souterraine. Cependant, même lorsque l'on prend pour objet les débris végétaux ou la matière organique du sol, la méthode consistant à chercher les stocks de carbone par unité de surface (t-C/ha) et à les multiplier par la superficie (ha) est commune. Par conséquent, il est souhaitable de ne pas mettre en œuvre les mesures des débris végétaux et de la matière organique du sol, mais d'envisager des mesures en fonction de la contribution des éléments de mesure (ordre de priorité) après avoir compris la méthode de différence des stocks.

#### INFO

5) Dans la méthode de différence des stocks, les variations annuelles dans un bassin de carbone calculé (t-C/ha/année) sont converties en une variation annuelle en CO<sub>2</sub> (t-CO<sub>2</sub>/ha/année) grâce à une multiplication par le facteur 44/12.

## Références

GOFC-GOLD (2011) A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals caused by deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation: GOFC-GOLD Report version COP17-1.

## Les ressources disponibles

La recette précédente correspond à la  
 Recette P09 Estimation des stocks de  
 carbone par unité de  
 surface

Pour la détermination du volume de carbone des forêts exigé dans la REDD-Plus, des données sur les ressources forestières du pays cible ainsi qu'un modèle d'estimation de la biomasse sont nécessaires. Il faut réaliser des investigations sur ces données et sur les conditions d'aménagement du modèle dans le pays cible et choisir une méthode adaptée aux conditions de ressources disponibles.

### Les ressources de télédétection

Les techniques de télédétection ont fait un chemin dans le développement de la sophistication du degré de résolution des surfaces terrestres ainsi que de la résolution en longueur d'onde ainsi que dans la diversité de capteurs. En matière de capteur optique, les satellites haute résolution sont capables d'observer les canopées individuelles grâce à un degré de résolution des surfaces terrestres de 50 cm. Le prix par unité de surface a tendance à être plus élevé par rapport au degré de résolution des surfaces terrestres. D'autre part, la télédétection ayant recours à des techniques de radar est remarquable dans le cadre de l'observation des forêts en zone tropicale pour l'avantage qu'elle présente de permettre une observation à travers les nuages. Les problèmes de l'utilisation de données provenant de radars dans le domaine des forêts résident notamment dans le fort impact provenant de la topographie et dans le fait que les radars ne soient pas adaptés à l'observation de la biomasse aérienne. Le développement technique relatif à la correction de la topographie et de la géométrie se poursuit et un degré de précision supérieur est désormais possible.

Ainsi, les techniques de télédétection possèdent chacune des avantages et des désavantages. Pour cette raison, lors de l'application de ces techniques, une combinaison prenant en considération l'échelle ainsi que les conditions naturelles de la région cible constitue une clef majeure (voir T05).

### Les ressources de l'enquête de terrain

Afin de calculer les stocks de carbone des forêts par unité de surface, il est nécessaire d'obtenir certaines informations tel que de savoir si une équation d'estimation de la biomasse a été développée dans le pays ou si des données sur l'inventaire forestier national (NFI) (voir T01) ont été préparées. En cas de présence d'une équation d'estimation de la biomasse ou de données d'un inventaire forestier national utilisables dans le pays de mise en œuvre de la REDD-Plus, il est possible de les utiliser pour la réalisation du calcul des stocks de carbone.

Dans le cas où aucun inventaire forestier national n'a été effectué dans le pays de mise en œuvre de la REDD-Plus, il est nécessaire de concevoir et d'élaborer un

système d'enquête à l'aide de placettes d'échantillonnage permanentes afin de compiler les données (voir P10 et T12 à 14). Par ailleurs, dans les pays de mise en œuvre de la REDD-Plus qui ne disposent pas de modèle statistique pour calculer la biomasse ou les stocks de carbone des forêts, le développement d'un modèle adapté à chacun de ces pays s'impose (voir P11 et T15 à 19).

## Continuité des ressources

---

La REDD-Plus réalise des prévisions futures sur les volumes des émissions à partir des stocks de carbone des forêts dans le passé. Étant donné que l'écart entre les valeurs de prévision d'avenir et les stocks réels de carbone des forêts constitue la base de l'attribution des incitations économiques dans le cadre de la REDD-Plus, il est nécessaire de pouvoir comparer les tendances passées déterminées avec les résultats de la surveillance par la suite. Dans le cadre du choix de la méthode de détermination des stocks de carbone des forêts, il est essentiel de réaliser une évaluation en termes de technologie et de coûts afin de juger de la durabilité de la méthode dans le temps. Par ailleurs, lors de la détermination de l'évolution de la surface des forêts par la télédétection, la cohérence et la fiabilité de la méthode constituent la base de l'examen par un tiers. Il est nécessaire de veiller à ne pas combiner trop d'éléments, car cela entraverait la cohérence et la fiabilité de la méthode.

## Les systèmes de certification de crédits indépendants

La recette précédente correspond à la  
Recette I04 Conception d'un système  
de surveillance des forêts

À côté de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et du Protocole de Kyoto, se répandent des systèmes de certification de crédits indépendants délivrant des crédits échangeables (REV) en évaluant les activités de réduction des émissions et d'absorption. Parmi ces systèmes, le VCS (Verified Carbon Standards) est déjà utilisé dans des projets indépendants ayant pour objet les activités du secteur forestier, y compris de la REDD-Plus.

### Situation actuelle du système de certification REV

Le Protocole de Kyoto reconnaît les échanges des volumes d'émissions dans le mécanisme de Kyoto grâce aux crédits du mécanisme pour un développement propre (Clean Development Mechanism : CDM). Dans ce cas, les crédits obtenus sont appelés les CER (certified Emission Reduction) alors que les autres crédits provenant d'un système indépendant sont appelés VER (Verified Emission Reduction).

Les CER sont susceptibles d'être utilisés pour le respect des engagements (conformité) envers les objectifs de réduction de la CCNUCC et du Protocole de Kyoto alors que les VER ne peuvent pas être employés à ces fins, mais sont en général utilisés pour le respect d'engagements indépendants ou dans le cadre d'activités permettant de s'acquitter de la responsabilité sociale des entreprises (Corporate Social Responsibility : CSR). Au Japon, le système J-Credit (ancien système J-VER) dont les volumes des absorptions par les forêts permettent l'obtention de crédits est largement reconnu.

Bien qu'aucun système dans le cadre de la CCNUCC n'a été créé pour la REDD-Plus, des projets indépendants prennent le devant dans chacun des pays. À l'heure actuelle, seuls des systèmes de certification indépendants sont disponibles notamment le système du VCS qui est employé dans de nombreux projets.

### Aperçu du VCS

Le VCS présente des critères de vérification et de certification d'initiatives indépendantes dont un organisme privé du même nom a été fondé en 2005. Il vise à promouvoir les activités de réduction des émissions par l'intermédiaire du mécanisme de marché au crédit qu'il délivre (Verified Carbon Units : VCU).

La structure du VCS est fondée sur les « critères VCS » (VCS Standard <sup>1)</sup>) qui sont les règles de mise en œuvre du système dans son ensemble, ceux-ci étant appuyés par des « exigences » (Requirements) indiquant les éléments exigés par un domaine particulier ainsi que les procédures de mise en œuvre notamment. Les exigences au sujet de la REDD-Plus sont présentes dans les exigences de l'Agriculture, foresterie et autres affectations des terres (Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) <sup>2)</sup>. En outre, on y présente des « méthodologies (Methodologies) » dans lesquelles des méthodes précises adaptées au projet cible sont indiquées.

#### INFO

1) VCS (2012) VCS Standard v 3.2  
[http://v-c-s.org/sites/v-c-s.org/files/VCS%20Standard%2C%20v3.2\\_0.pdf](http://v-c-s.org/sites/v-c-s.org/files/VCS%20Standard%2C%20v3.2_0.pdf)

#### INFO

2) VCS (2012) AFOLU Requirements  
<http://v-c-s.org/sites/v-c-s.org/files/AFOLU%20Requirements%20v3.2.pdf>

Le VSC vise à prendre pour objet des projets indépendants individuels alors que le système de la REDD-Plus de la CCNUCC vise à prendre pour objet des initiatives au niveau national ou infranational sans que leur relation mutuelle n'ait été clarifiée. Pour cette raison, le VCS a développé le cadre de la REDD-Plus juridictionnelle et imbriquée (JNR) <sup>3</sup> où l'on y indique une manière de fusionner un projet individuel avec une initiative au niveau national ou infranational.

La méthodologie relative à la REDD-Plus indiquée dans le Tableau T04-1 est approuvée. Le développement d'une méthodologie n'est pas facile, mais il est facile de faciliter l'action en utilisant une méthodologie déjà enregistrée. Les documents expliquent la formation du projet en prenant pour point de vue le choix de la méthodologie.

### INFO

3) Shoch D, Eaton J, Settelmyer S (2011) Project Developer's Guidebook to VCS REDD Methodologies [http://www.conservation.org/about/centers\\_programs/carbon\\_fund/Pages/resources.aspx](http://www.conservation.org/about/centers_programs/carbon_fund/Pages/resources.aspx)

## Les défis d'avenir

Le gouvernement japonais poursuit depuis 2013 un système de crédit bilatéral (Joint Crediting Mechanism : JCM) en tant que mesure contre le réchauffement climatique. Le JCM est un système de crédits reposant sur des accords bilatéraux entre le Japon et les pays de mise en œuvre gérés par un comité paritaire (Joint Committee) créé par les deux pays. Aujourd'hui, au mois d'octobre 2014, le Japon a conclu cet accord avec douze pays. L'introduction à l'avenir de la REDD-Plus dans les activités du JCM est prévue et le développement de lignes directrices est en cours en tenant compte de la cohérence avec la CCNUCC ou les systèmes de certification existants.

Tableau T04-1 Méthodologie d'approbation du VCS et conditions d'application

Numéro Méthodologie	Types d'activités de REDD-Plus	Application	
		Zone applicable	Forêt applicable
VM0003	Amélioration de la gestion forestière (Allongement de l'âge d'exploitabilité)	Le monde entier	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forêt certifié FSC/Forêt certification FSC demandée</li> <li>Les forêts de tourbière gérées ne sont pas visées</li> </ul>
VM0004	Freinage du déboisement planifié	Asie du Sud-Est, Zone tropicale	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forêt tropicale de tourbière</li> <li>Les terrains habitables sont exclus</li> </ul>
VM0005	Amélioration de la gestion forestière (Augmentation de la productivité)	Zone tropicale	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forêt tropicale humide sempervirente naturelle</li> <li>La tourbière est en principe exclue</li> </ul>
VM0006	Freiner la dégradation des forêts et du déboisement en mosaïque	Le monde entier	<ul style="list-style-type: none"> <li>toutes les forêts</li> </ul>
VM0009	Freiner la dégradation des forêts et du déboisement en mosaïque	(lorsque le sol est compris dans la cible) zone tropicale et semi-sèche tropicale	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le sol de la tourbière et le sol organique sont exclus</li> <li>Les zones où l'abattage est admis légalement sont exclues</li> </ul>
VM0010	Amélioration de la gestion forestière (Conversion de forêt à abattre en forêt réservée)	Le monde entier	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le marécage et la tourbière sont exclus</li> </ul>
VM0011	Amélioration de la gestion forestière (Conversion de forêt à abattre en forêt réservée)	Zone tropicale	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forêt tropicale humide sempervirente, forêt humide décidue, forêt tropicale sèche, forêt tropicale de haute altitude</li> <li>Forêts légalement admises à l'abattage sélectif</li> </ul>
VM0012	Amélioration de la gestion forestière (Conversion de forêt à abattre en forêt réservée)	Zone tempérée, zone semi-froide	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forêt privée de propriété personnelle</li> <li>Les forêts de tourbière gérées ne sont pas visées</li> </ul>
VM0015	Freinage du déboisement hors planning	Le monde entier	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les forêts de tourbières qui grandissent sont exclues</li> </ul>

### Références

Site internet de VCS : <http://v-c-s.org/>

Site internet de J-VER : <http://www.j-ver.go.jp/>

# 7

## Chapitre 7 Estimation de la surface de forêt au moyen de la télédétection



Pour faire la mesure, la notification, et la vérification (MNV) des stocks de carbone dans le cadre de la REDD-Plus, il est avant tout nécessaire d'estimer les stocks de carbone des forêts au niveau national. En tant que méthode de mesure des stocks de carbone des forêts pour la REDD-Plus, la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) recommande de combiner télédétection et enquête de terrain. En particulier, la télédétection devrait être utilisée pour connaître la surface de la forêt et son évolution. Le présent chapitre présente les connaissances de base et les méthodes nécessaires pour déterminer la surface de chaque type de forêt en utilisant la technologie de télédétection. Il est également proposé d'évaluer le volume des stocks de carbone par unité de surface de forêt en combinant télédétection et enquête de terrain, cette approche étant expliquée en chapitre 9.

- T05 Différents types de données et leur choix
- T06 Masquage des nuages et ajustement de la saisonnalité
- T07 Définition des classes de terrains
- T08 Réalité de terrain
- T09 Méthode de classification
- T10 Evaluation de la précision
- T11 Estimation du changement de surface

## Différents types de données et leur choix

La recette précédente correspond à la

Recetta P08 Estimation de la surface au moyen de la télédétection

Pour connaître la surface forestière, le type de forêt, le degré de détérioration par les données d'image obtenues par télédétection, il faut choisir un capteur optimal selon l'objectif, la zone à étudier ou la surface. La présente recette consiste en une présentation par tableaux des basiques nécessaires pour opérer ce choix et des spécifications des capteurs des principaux satellites optiques ainsi que les prix des données.

### Plateforme

Les capteurs de télédétection sont montés sur des plateformes qui sont des satellites ou des avions. La plateforme d'observation de la Terre la plus éloignée de la Terre est le satellite météorologique géostationnaire qui reste sur un point fixe à peu près à 35,800 km au dessus de l'équateur. La plateforme appelée satellite d'observation de la Terre suit une orbite circulaire de 450 - 1,000 km au-dessus de la terre et observe périodiquement les mêmes points. Lorsque le capteur est doté d'une fonction de visée oblique (fonction de dépointage) perpendiculairement à l'orbite, il peut observer le point donné plus fréquemment que la période de récurrence. L'avion est choisi en fonction de l'objectif d'observation, soit un appareil à voilure tournante (hélicoptère) qui volent de quelques centaines de mètres à quelques milliers de mètres au-dessus du sol, soit un appareil à voilure fixe (avion à hélice ou jet) qui vole de quelques centaines à vingt milles mètres au-dessus du sol. Pour une observation à partir d'une hauteur près du sol, on utilise un ballon captif, un avion à commande radio, UAV (véhicule aérien sans pilote), une nacelle élévatrice ou un homme.

S'il y a des plateformes de différentes hauteurs, c'est parce que l'on peut faire une observation détaillée quand on est près du sol mais on ne peut observer une zone étendue en une fois, en revanche, quand on se situe à une hauteur éloignée du sol on peut observer une zone étendue mais on ne peut faire une observation détaillée. Il faut donc établir un bon compromis selon l'objectif d'observation. A part les satellites, on peut commander des plateformes, ce qui donne la possibilité de faire une observation en fonction de l'objectif, mais il faut prendre en charge les frais pour chaque observation selon la surface d'observation et le temps requis.

### Capteur

Le capteur est un appareil qui mesure l'onde électromagnétique réfléchie ou radiée de l'objet cible. Les capteurs peuvent être classés en système passif (capteur passif) et en système actif (capteurs actif). L'appareil photo analogique/digital est un capteur typique du système passif. Il mesure la lumière solaire ou la lumière

d'éclairage réfléchi par l'objet cible (ou l'onde électromagnétique radiée par l'objet cible selon la bande de longueur d'onde utilisée pour l'observation). Les capteurs optiques utilisés pour l'observation de la Terre sont conçus sur les mêmes principes. Par contre les capteurs actifs émettent les ondes magnétiques vers l'objet cible et mesurent les ondes réfléchies. Pour l'observation de la Terre, on utilise le radar à synthèse d'ouverture (SAR : Synthétique Aperture Radar) et LiDAR (LiDAR : Light Detection And Ranging). Les exemples représentatifs de ces appareils sont les radars météorologiques et les instruments de mesures de distance électromagnétique.

Le capteur optique observe de la lumière visible aux rayons infrarouges en les classant en plusieurs bandes de longueurs d'onde. L'étendue d'observation est de la lumière visible (longueur d'ondes de  $0,4 \sim 0,7 \mu\text{ m}$  environ), les rayons infrarouges réfléchis du IR proche ( $0,7 \sim 1,3 \mu\text{ m}$  environ) à IR ondes courtes ( $1,3 \sim 3 \mu\text{ m}$  environ) ainsi que le rayonnement synchrotron de IR onde moyen ( $3 \sim 8 \mu\text{ m}$  environ) et de IR thermique ( $8 \sim 14 \mu\text{ m}$  environ). Les capteurs ont chacun leur résolution au sol, résolution longueur d'onde ou résolution temporelle mais ont évolué vers la haute résolution et offrent la possibilité d'une observation plus détaillée. Les capteurs sont montés sur les satellites, avions ou tenus par les hommes. Les données collectées par un capteur optique comportent de nombreux avantages. Si les données sont visualisées comme une image monochrome avec graduation ou une image synthétisée de couleur RGB, cette image optique peut être comprise intuitivement parce qu'elle ressemble à ce que nous voyons à l'œil humain. Par la modélisation des propriétés optiques spectrales obtenue à de multiples longueurs d'onde ou des textures on peut discerner l'état de couverture terrestre. Ainsi, les capteurs optiques sont très pratiques et sont les plus utilisés comme capteurs jusqu'à maintenant. En revanche, un capteur optique présente des inconvénients. Lorsque le ciel est couvert de nuages, il est impossible de connaître l'état terrestre. Lorsqu'il y a une quantité importante de brume ou de poussières dans l'atmosphère, cela provoque des parasites. Pendant la nuit, il n'est pas possible d'observer par la bande du visible aux rayons rouges réfléchis.

Le radar à synthèse d'ouverture (RSO) envoie des impulsions électromagnétiques de micro-ondes (longueur d'ondes de 7 à 1000 mm environ) par un capteur vers le sol obliquement et enregistre l'intensité, la phase et le temps de la réflexion (rétrodiffusion). Il existe des capteurs qui peuvent observer les ondes polarisées. La rétrodiffusion des micro-ondes réfléchies varie en fonction de la forme, la grandeur, la répartition, la densité et la propriété diélectrique de l'objet. En observant cette variation de rétrodiffusion, on peut identifier l'objet cible. Le RSO est monté sur satellite ou avion pour son usage. La rétrodiffusion varie également en fonction de la longueur des micro-ondes. Lorsqu'on observe la forêt à l'aide de la bande L (longueur d'ondes : 150 à 300 mm env.) ou la bande P (longueur d'ondes : 300 à 1.000 mm env.) la rétrodiffusion que l'on obtient est composée de trois principales réflexions : les réflexions du sol ou de la surface de la couronne d'arbre (diffusion de surface) , les réflexions des feuilles intérieures de la couronne (diffusion de volume) les doubles

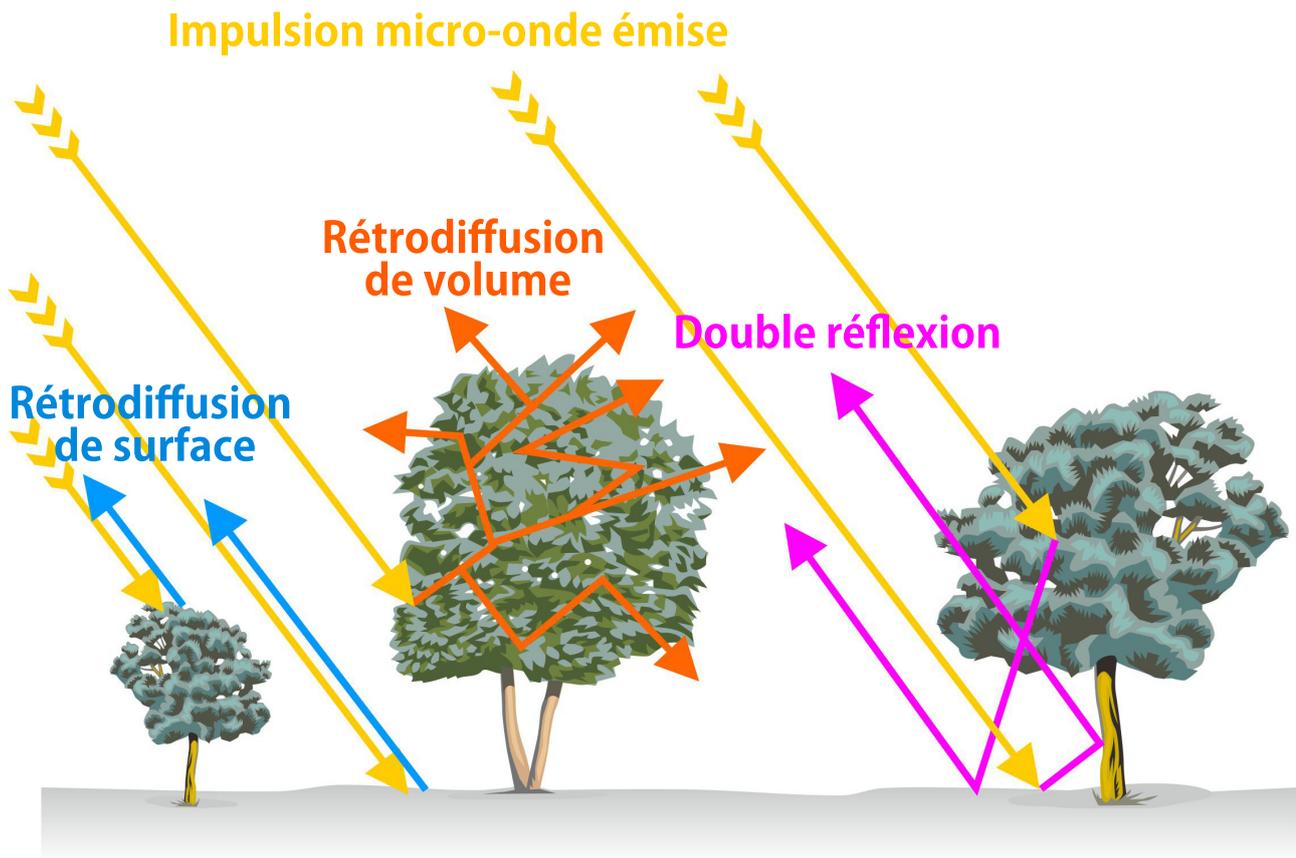


Figure T05-1 3 composants de la rétrodiffusion du RSO pour la détection de la forêt

réflexions (la diffusion de volume ou la réflexion du sol se heurtent aux troncs ou aux couronnes puis retournent au capteur) (T05-1). Les recherches avec les données RSO pour appréhender l'état de la forêt (espèces d'arbres composant la forêt ou la biomasse) progressent. On étudie également l'application sur la forêt de la méthode de mesure de la hauteur de surface terrestre (évolution) par l'analyse interférentielle des données d'une même zone obtenues à des moments (époque) différents. Le RSO est un système actif et l'utilisation d'une bande de micro-ondes traversant le nuage permet de faire une observation même la nuit sous toutes conditions météorologiques. Le RSO suscite une grande attente en ce qui concerne l'observation des forêts tropicales. Cependant ce système a quelques inconvénients : Comme l'observation par micro-ondes détecte aussi ce que les hommes ne peuvent voir, l'image obtenue est complètement incompréhensible intuitivement, le mécanisme de rétrodiffusion complexe n'est pas encore très clair et l'observation oblique cause des distorsions des images obtenues et des points qu'on ne peut observer.

LiDAR est un système visant à mesurer la distance entre le capteur et l'objet cible en envoyant vers l'objet cible un rayon laser pulse à une fréquence de quelques dizaines à centaines de kHz et en observant le temps ( et l'intensité) de retour de la lumière réfléchies jusqu'au capteur. Le LiDAR aéroporté envoie continuellement un rayon laser pulse perpendiculairement à la direction d'avancement et

verticalement sous le capteur avec un angle de balayage jusqu'à quelques dizaines de degrés sur les deux cotés. La position et l'inclinaison du capteur sont mesurées précisément à l'aide d'une unité de mesure inertielle (UMI) <sup>1)</sup>. On arrive ainsi à mesurer la hauteur de la surface terrestre. La hauteur de la surface terrestre peut être mesurée avec une résolution plus élevée par un rayon laser pulsé émis à une fréquence plus élevée à partir d'un avion à vitesse basse. Lorsque le LiDAR vise une forêt, ces rayons laser pulsés peuvent être réfléchis par la surface de la couronne d'arbre, les feuilles à l'intérieur de la couronne ou le sol. Un modèle numérique de surface (MNS) de la couronne d'arbre est créé à partir des composants du laser impulsional retournés les premiers au capteur (premières impulsions) et un modèle numérique de terrain (MNT) est créé par les composants retournés les derniers (dernières impulsions). Lorsque l'on soustrait du MNS le MNT on peut obtenir un modèle numérique de couronne (MNC) et on peut connaître la hauteur d'un arbre seul ou celle d'un peuplement forestier. Avec ces informations on peut estimer la biomasse d'un peuplement forestier. En plus, les composants qui se situent entre les premières et les dernières impulsions étant les impulsions réfléchies de l'intérieur de la couronne ou de végétaux de couches inférieures, on peut connaître avec toutes ces données la structure détaillée

### INFO

1) Unité de mesure inertielle (IMU) : Appareil de mesure précise de la position et de la posture du capteur par combinaison du système de positionnement par satellites (GNSS) et du système de navigation inertielle. Le GNSS est l'appellation générale pour GPS aux Etats Unis, GALLILEO en Europe, GLONASS en Russie.

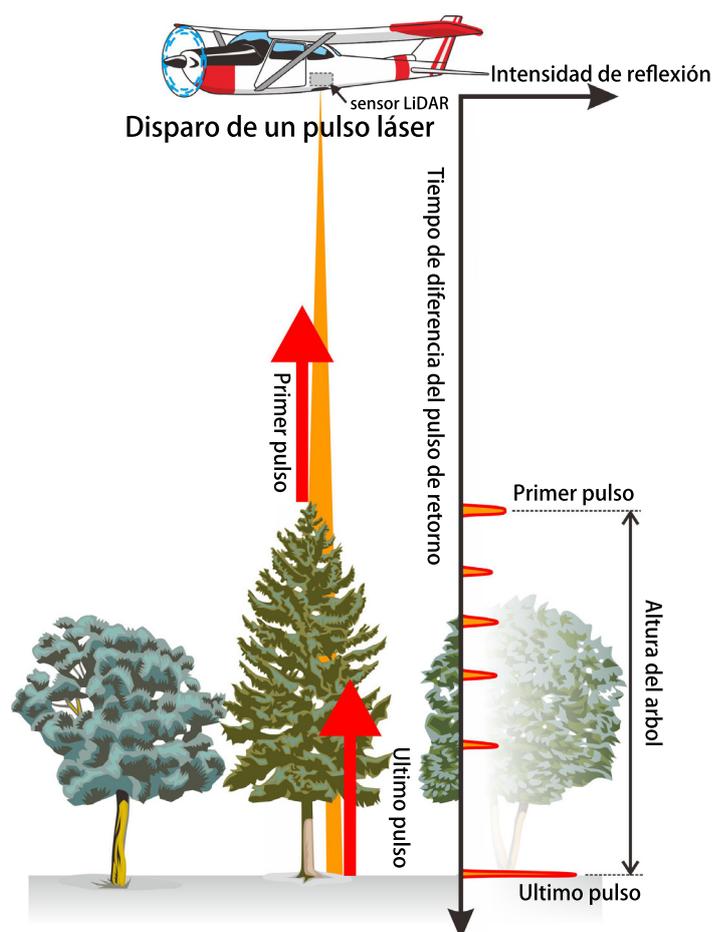


Figure T05-2 Concept de l'acquisition de données par LiDAR

en 3 dimensions de la forêt. Pour obtenir des données de haute résolution avec LiDAR, il est nécessaire de voler à basse altitude (basse vitesse), ce qui est difficile dans une région montagneuse et l'observation d'un large espace requiert beaucoup de temps (argent). En outre, s'il y a des nuages ou du brouillard entre le capteur et le sol, l'observation est difficile et les données ainsi obtenues ont tendance à être volumineuses, ce qui rend le traitement difficile.

### Résolution spatiale, résolution en longueur d'ondes et résolution temporelle

La performance d'un capteur peut être définie par la résolution spatiale (niveau de reconnaissance du plus petit objet), la résolution en longueur d'ondes (largeur d'une gamme d'onde et nombre de subdivisions) et la résolution temporelle (l'intervalle d'observations de la même zone cible). Il est nécessaire de choisir un capteur optimal en fonction de la cible, des buts et de la grandeur (surface) de la cible. La résolution spatiale pour une photographie aérienne est de quelques cm à 1 m environ et pour un capteur par satellite de 40 cm à quelques km. La résolution temporelle est de 1 jour à quelques dizaines de jours, la résolution en longueur d'ondes est d'une bande à quelques centaines de bandes.

Lorsqu'il faut une information pour chaque arbre, la résolution spatiale devrait être inférieure à quelques mètres. Dans ce cas, si la zone d'observation est large les données seront volumineuses, ce qui rend le traitement des données difficile. Lorsque la résolution spatiale est augmentée, la surface qu'on peut observer en une fois s'amenuise, il est donc difficile d'observer une large zone en peu de temps. Pour l'observation d'un peuplement forestier, il suffit d'utiliser des images d'une résolution moyenne d'à peu près 10 m à quelques dizaines de mètres. Cependant, pour distinguer les peuplements forestiers ou le degré de détérioration des peuplements, il est nécessaire de disposer d'une haute résolution en longueur d'ondes. Si le but est seulement d'étudier la couverture terrestre et de distinguer les forêts des non-forêts, un capteur d'une résolution basse est dans la majeure partie des cas suffisant s'il peut capter la lumière visible et le rayon infrarouge proche.

Pour l'observation de la forêt on a tendance à considérer que la résolution temporelle n'est pas plus importante. Cependant, dans le cas d'un capteur monté sur satellite, ce qui est important n'est pas la résolution temporelle proprement dite mais l'intervalle réel des moments où on peut obtenir les données concernant la surface terrestre. Dans les régions tropicales et les régions de mousson où les nuages empêchent souvent l'observation par le haut, plus la zone d'observation est large plus l'observation en une fois devient difficile. Il est nécessaire de faire une image composite à partir de plusieurs résultats d'observations qui sont proches temporellement. Par conséquent, un capteur à haute résolution temporelle est plus approprié pour ce type d'observation. La résolution temporelle est augmentée si la visée oblique ou l'observation par plusieurs satellites est possible.

## Présent, passé et futur

Les images de télédétection archivées peuvent être considérées comme une machine à remonter le temps. Les données permettant de connaître l'état ancien de la surface terrestre d'une grande zone avec précision y compris la date n'existent pas en dehors des images de télédétection. Avec les images obtenues par le capteur à balayage multispectral (MSS) monté sur le premier satellite d'observation de la Terre Landsat 1, on peut remonter pour quelques zones jusqu'aux années 70. Mais il est évident que plus on remonte dans le passé plus la performance du capteur baisse, le choix des capteurs et des images est restreint ou inexistant par région. Les données en images prises par les capteurs sont archivées chez l'organisation qui a les collectées ou dans le centre d'archives et depuis quelques temps beaucoup d'organisations publient ces données sur leur site web et l'on peut effectuer des recherches ou en faire la commande pour acquisition.

D'autre part pour les données dans le futur, il est possible de réserver la prise de vue par la commande à des satellites de haute résolution ou à certains satellites. Dans le cas de commande, il est très souvent nécessaire de payer le prix de commande en plus du prix d'une image ordinaire. Mais, comme les prises de vue par commande sont effectuées en priorité, il vaudrait mieux étudier cette commande si le planning de prises est déjà fixé.

## Choix de données

Les capteurs satellitaires optiques représentatifs figurent dans le tableau T05-1 avec leurs caractéristiques sur les points expliqués ci-dessus. Les images obtenues par Landsat et archivées à l'Institut d'études géologiques des États-Unis (USGS) peuvent être téléchargées sur le site web indiqué dans le tableau. On peut télécharger également des images orthorectifiées sur le site web de landsat.org. (<http://landsat.org>) Mais toutes les images de Landsat ne sont pas archivées chez USGS. Pour les images réceptionnées par les stations de réception de chaque pays, il faut effectuer des recherches sur le site web de chaque pays et ces images sont payantes. Pour les images, propriétés des entreprises privées telle que GeoEye, DigitalGlobe, SpotImage, il faut les acquérir auprès des agences locales et les prix ne sont pas les mêmes.

## Logiciel

Pour traiter les images numériques de télédétection, on peut utiliser l'application ordinaire de retouche photo lorsqu'il s'agit d'une présentation ou d'une synthèse de couleur. Mais lorsqu'il s'agit d'une analyse complexe ou de l'utilisation des données SIG, il faut une application d'analyse d'image de télédétection. Depuis quelques temps

il y a de plus en plus d'applications d'analyse d'images de télédétection gratuites ou open source qui sont presque équivalentes aux applications payantes au niveau des fonctions. Au moment du choix de l'application, le prix sera un facteur important. Mais il faut également étudier le service de support technique, la fréquence des mises à jour pour corriger les bugs, l'existence d'une communauté d'utilisateurs et une formation de bonne qualité. Lorsque les utilisateurs de la même application peuvent communiquer sur toutes les questions, on peut considérer que c'est le meilleur environnement de travail.

Tableau T05-1 Spécification et prix de données de principaux capteurs satellitaire optique.

(Les prix des données mentionnés correspondent principalement aux prix au Japon en juillet 2012.)

Satellite	Capteur	Année de lancement	Fin d'exploitation	Résolution au sol	Largeur d'observation (km)	Visée oblique	Longueur d'ondes d'observation (Nombre de bandes dans la parenthèse)	Altitude (km)	Période de retour (jours)	Répetitivité (jours)	Capture d'image sur commande	Prix Scène entière (JPY)	Prix unitaire (JPY/km <sup>2</sup> )	Développement et opération du capteur	Commentaire
Landsat 1-3	MSS	1972	1983	68 x 83 m	185	x	Visuel (2), IR proche (2)	915	18	18	x	40 740 *	1.3	USA (NASA)	※ Les données de Landsat archivées par USGS sont accessibles au public gratuitement. ( <a href="https://earthexplorer.usgs.gov">https://earthexplorer.usgs.gov</a> )
Landsat 4-5	MSS	1982	1995*	68 x 83 m	185	x	Visuel (2), IR proche (2)	705	16	16	x	40 740*	1.3	USA (NASA)	* Remise en opération partielle en 2012
	TM	1982	En opération*	30 m (Bande 6: 120m)	185	x	Visuel (3), IR proche (1), IR moyen (2), IR thermique (1)				x	88 200*	2.8		* En arrêt depuis 2011
Landsat 7	ETM+	1999	En opération*	30m (Bande 6: 60m, Bande 8: 15m)	183	x	Visuel (3), IR proche (1), infrarouge intermédiaire (2), IR moyen (2), IR thermique (1), Visuel-IR proche (1)	705	16	16	x	88 200*	2.8	USA (NASA)	* SLC en arrêt depuis 2003
EO 1	ALI-Pan, MS	200	En opération*	MS:30m Pan: 10m	37	x	Pan: Visuel (1) MS: Visuel (4), IR proche (3), IR moyen (3)	705	16	16		0	0	USA (NASA)	Possible de télécharger gratuitement au site <a href="http://eo1.usgs.gov/">http://eo1.usgs.gov/</a>
	Hyperion			30m	7.5	x	Visuel-IR moyen (220)								
EOS-Terra/EOS Aqua	MODIS	1999	En opération*	250m/500m/1km	2330	x	250m: Visuel (1), IR proche (1) 500m: Visuel (2), IR proche (1), IR moyen (2), 1km: Visuel (7), IR proche (5), IR moyen (9), IR thermique (8)	705	16	16		0	0	USA (NASA)	Possible de télécharger gratuitement au site <a href="https://reverb.echo.nasa.gov/reverb/">https://reverb.echo.nasa.gov/reverb/</a>
Spot 1-3	HRV-XS, P	1986	1993	XS:20m P:10m	60	O	XS: Visuel - IR proche (1) P: Visuel (1)	822	26	3.7	x	294 000*	8.2	France (Sté Spot Image)	*Prix : SPOT scène-niveau 2A, Le même prix pour XS et P.
Spot 4	HRVIR-X, M	1998	En opération*	X: 20m P:10m	60	O	X: Visuel (2), IR proche (1), IR moyen (1) M: Visuel (1)	822	26	3.7	O	294 400*	8.2	France (Sté Spot Image)	*Prix : SPOT scène-niveau 2A, Le même prix pour XS et P.
Spot 5	HRG-X, P	2002	En opération*	X: 10/20m P: 2.5m	60	O	X: Visuel (2), IR proche (1), IR moyen (1) M: Visuel (1)	822	26	2-3	O	521 850*	145	France (Sté Spot Image)	*Même prix pour la résolution 10m X et la résolution 5m P. Prix : SPOT scène-niveau 2A
Spot 4-5	VEGETATION	1998	En opération*	1.15km	2250	X	Visuel (2), IR moyen (1), IR moyen (1)	822	26	1	X	0	0	France (Sté Spot Image)	Possible de télécharger gratuitement au site <a href="http://free.vgt.vito.be/">http://free.vgt.vito.be/</a>
Pleiades	Pan/Multi	2011	En opération*	Pan: 0.7m Multi: 2.8m	20	O	Pan: Visuel - IR proche (1) Multi: Visuel (3), IR proche (1)	694	26	1	O	*		France (Sté Spot Image)	* Prix non encore fixé ?
IRS 1A, 1B	LISS-I, II	1988	2003	I: 73 II: 36.5m	I: 185 II: 37	X	Visuel (3), IR proche (1)	904	22	22	X	?		Inde (ISRO)	
IRS 1C, 1D	LISS-III	1995	2010	23.7/73km	100	O	Visuel (2), IR proche (1), IR moyen (1)	817	24	3	x	128 100	6.5	Inde (ISRO)	* Acquisition depuis avril 2001, Prix : LISS3-140
	Pan			0.9km	1500	X	Visuel (2)				x	128 100	26.1		* Acquisition depuis avril 2001, Prix : PAN-70
IRS-P2	LISS-II	1994	1997	32x27m	131	O	Visuel (3), IR (1)	817	24	5	X			Inde (ISRO)	
IRS-P6 (Resourcésat 1)	LISS-III, IV	2003	En opération*	III: 23.5 IV: 5.8	III: 140 IV: 23	O	III: Visuel (2), IR proche (1), IR moyen (1) IV: Visuel (2), IR proche (1)	817	24	5		270 000*	13.8	Inde (ISRO)	*En euro chez EuroMap Prix pour LISS-III Multi 140x140km 1EUR=100 JPY
MOS 1,1b	MESSR	1987	1996	50m	100	X	Visuel (2), IR proche (2)	909	17	17	x	2 310	0.3	Japon (NASDA)*	*JAXA actuel
ALOS	AVNIR-2	2006	2011	10m	70	O	Visuel (3), IR proche (1)	692	46	46	X	26 250*	5.4	Japon (JAXA)	*Pour l'utilisation A (usage interne), prix des données après traitement standard
	PRISM			2.5m	35	devant / derrière	Visuel - IR proche (1)				X	26 250*	21.4		
EOS -Terra	ASTER-VNIR, SWIR, TIR	1999	En opération*	VNIR: 15m SWIR: 30m TIR: 90m	60	O	VNIR: Visuel (2), IR proche (1) SWIR: IR moyen (6) TIR: IR thermique (5)	705	16		O	10 290*	2.9	Japon (ERSDAC)	*Prix : Niveau 1B
IKONOS 1	Pan/Multi	1999	En opération*	Pan: 1m, Multi: 4m	11	O	Pan: Visuel - IR proche (1), Multi: Visuel (3), IR proche (1)	681	11	1.6	O	-	4 500*	USA (Sté GeoEye)	*Prix Kit de produits GEO Pan+Multi, Surface de commande minimale 25 km <sup>2</sup>
QuickBird	Pan/Multi	2001	En opération*	Pan: 0.61m, Multi: 2.5m	16.5	O	Pan: Visuel - IR proche (1), Multi: Visuel (3), IR proche (1)	450	20	1 à 3.5	O	-	3 400*	USA (Sté Digital Globe)	*Image standard, Kit de Pan + 4bandes Multi, Surface de commande minimale 25 km <sup>2</sup>
GeoEye 1	Pan/Multi	2008	En opération*	Pan: 0.41m, Multi: 1.65m	15.2	O	Pan: Visuel - IR proche (1), Multi: Visuel (3), IR proche (1)	684	11	3	O	-	9 000*	USA (Sté GeoEye)	*Prix Kit de produits GEO Pan+Multi, Surface de commande minimale 25 km <sup>2</sup>
WorldView 1	Pan	2007	En opération*	0.5 a 0.59m	17.6	O	Visuel - IR proche (1)	496		1.7	O	-	2 800*	USA (Sté Digital Globe)	*Prix d'une image standard, Surface de commande minimale 25 km <sup>2</sup>
WorldView 2	Pan/Multi	2009	En opération*	Pan: 0.46m, Multi: 1.84m	20	O	Pan: Visuel (1) Multi: Visuel (5), IR proche (3)	770		1.1	O	-	6 400*	USA (Sté Digital Globe)	*Image standard, Kit de Pan + 8 bandes Multi, Surface de commande minimale 25 km <sup>2</sup>
RapidEye1-5*	Multi	2008	En opération*	6.5 m(5m après r é échantillonnage)	77	O	Visuel (3), IR proche (2)	630	5.5	1	O	-	220**	Allemagne (Sté RapidEye)	*5 satellites lancés en même temps ** Surface de commande minimale 500 km <sup>2</sup>
THEOS	Pan/Multi	2008	En opération*	Pan: 2m, Multi: 15 m	Pan: 22 Multi: 90	O	Pan: Visuel - IR proche (1), Multi: Visuel (3), IR proche (1)	822	26	2		75 000*	Pan: 155.0 Multi: 9.3	Thaïlande (GISTDA)	* Le même prix pour Pan et Multi. 100,000 JPY pour les images de moins de 6 mois après la prise.
NOAA 6-19*	AVHRR	1979	En opération*	1.1km	2800	X	Visuel (1) - IR proche (1), IR moyen (2), IR thermique (2)	814	0.5	0.5	X	0	0	USA (NOAA)	*Satellite d'observation météorologique

## Masquage des nuages et ajustement de la saisonnalité

La recette précédente correspond à la

Recetta P08 Estimation de la surface au moyen de la télédétection

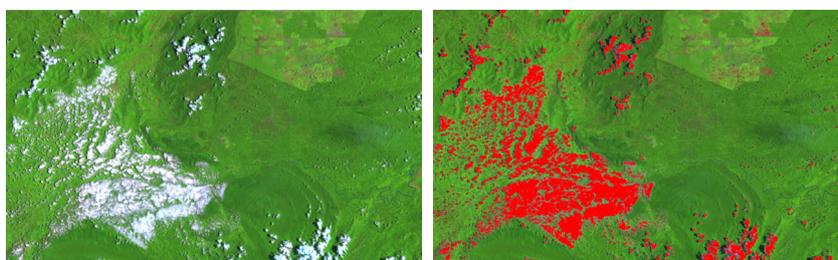
Il existe 2 problèmes qui gênent souvent l'observation de la forêt tropicale d'une grande zone par image satellitaires optique. L'un est relatif aux nuages qui existent toujours quelque part dans le ciel et l'autre la différence des moments de la prise d'image qui donne un aspect différent des végétaux selon la saison. Dans la présente recette, on explique comment supprimer les nuages par utilisation de plusieurs images et mise en mosaïque de ces images et le moyen de régler la saisonnalité.

### Masquage des nuages

Dans les données obtenues par capteur optique, lorsqu'il y a présence de nuages, de brume ou d'ombres de nuages, cela empêche de voir la couverture terrestre, ce qui cause une entrave à l'estimation de la surface. Dans les pays tropicaux, surtout dans les zones de forêts tropicales, il est très rare de pouvoir obtenir des images sans aucun nuage. Dans ce cas-là, on utilise plusieurs images qui sont prises avant et après le moment de prise programmé. On découpe les nuages de ces images. On superpose ensuite ces images (traitement mosaïque) afin d'obtenir une image sans nuage. Le processus de cette opération est désigné comme masquage des nuages. Dans ce traitement, on identifie les nuages, la brume et les ombres de nuages dans l'image d'origine puis on les découpe afin d'obtenir un mask-image (Figure T06-1). L'opération visuelle sur l'écran par l'homme est la méthode la plus précise pour reconnaître les nuages, brume et ombres de nuages afin de créer les mask-images. Mais l'opération par l'homme nécessite beaucoup de temps. On développe actuellement des algorithmes qui reconnaissent et découpent les nuages et leur ombres (Exemple 1) Lorsque la reconnaissance automatique n'est pas suffisante, on combine la reconnaissance automatique et l'opération manuelle (visuelle). Ainsi à partir des images prises à plusieurs moments différents on crée des images sans nuages qui sont mises en mosaïque afin de créer une image composite sans

#### INFO

1) Zhu Z, Woodcock CE (2012) Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. Remote sensing of Environment 118: 83-94



Avant traitement

Après traitement

Figure T06-1 Exemple du masquage de nuages Landsat 7 ETM+ image (Malaisie) On a extrait les nuages en détectant visuellement des valeur de Seuil de luminance appropriées

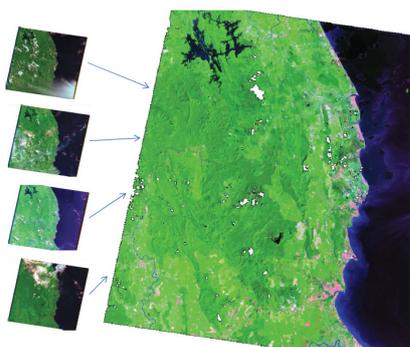


Figure T06-2 Image composite sans nuage une image prise (en Malaisie) par Landsat7 ETM+. Comme il est expliqué par INFO1), les nuages sont masqués. Les parties blanches sont des zones de nuages dans toutes les images obtenue.

nuage. (Fig. T06-2) Lorsqu'on utilise ce type d'image composite, il faut prendre en considération le fait que les images d'origine sont différentes chacune selon l'altitude ou la direction du soleil ou l'état de la végétation au sol.

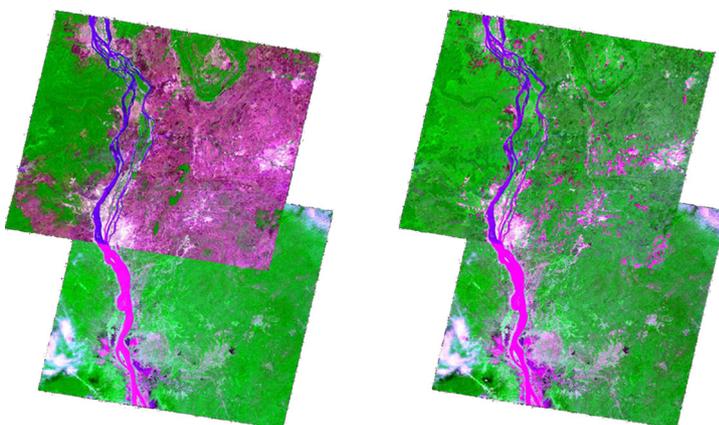
## Ajustage de la saisonnalité

Pour estimer la surface d'une zone très étendue au niveau national, lorsqu'une seule image prise par satellite ne peut couvrir le pays entier, il est nécessaire d'assembler plusieurs images. Et il n'est pas certain que l'on puisse obtenir les images de la même saison. Dans le cas de la forêt décidue, la canopée a une saisonnalité de feuillaison et effeuillaison. Si l'on utilise des images de saisons différentes, un peuplement forestier identique risque d'être pris pour une couverture terrestre ou un peuplement forestier de type différent. Par exemple, la forêt tropicale à rythme saisonnier est reconnue comme forêt pendant la saison humide où les arbres ont des feuilles mais elle risque d'être prise pendant la saison sèche pour un pré ou un sol nu selon la végétation en sous-étage parce que les arbres n'ont pas de feuilles. Et lorsque deux images de saison différentes sont juxtaposées, il peut y avoir à l'endroit de jointure une discontinuité non naturelle. Pour éviter ces problèmes, il faut collecter uniquement les images de même saison. Cependant, cette opération est souvent difficile à réaliser. Dans ce cas, il faut régler l'influence de la saisonnalité avant la classification du sol ou effectuer la classification pour chaque image puis les assembler

Pour ajuster la saisonnalité, lorsqu'il y a des végétations qui ne sont pas influencées par la saison dans la zone commune d'images, on utilise la brillance de ces végétaux ou celle d'une parcelle déjà connue comme base de brillance et on ajuste la brillance des autres parties par un programme tel que la spécification de l'histogramme <sup>2)</sup>. La figure T06-3 montre les images avant et après ajustement.

### INFO

2) Roy DP, Ju J, Lewis P, Schaaf C, Gao F, Hansen M, Lindquist E (2008) Multi-temporal MODIS-Landsat data fusion for relative radiometric normalization, gap filling, and prediction of Landsat data, *Remote Sensing of Environment*, 112: 3112-3130



(a) Images d'origine (b) L'image supérieure est ajustée à l'image inférieure

Figure T06-3 Exemple d'ajustement de l'influence (Langner, inédit) Image par HRVIR de SPOT4 (Cambodge). Comme l'image supérieure a été prise pendant la saison sèche, l'effeuillaison a avancé dans la forêt décidue et ces forêts sont indiquées en rose. Mais après ajustement de la saisonnalité, la réflexion avant effeuillaison est récupérée et la jointure non naturelle a diminué.

© CNES2007, Distribution Astrium Services/ Tokyo Spot Image

## Définition des classes de terrains

La recette précédente correspond à la

Recetta P08 Estimation de la surface au moyen de la télédétection

Pour définir les classes exhaustives et exclusives mutuellement, il faut penser à la structure hiérarchique. Les classes que l'on utilise pour la classification peuvent être relativement grossières telle que zone forestière, zone agricole ou zone urbanisée. Elles peuvent être plus précises comme forêt sempervirente, forêt décidue.<sup>1)</sup> En adoptant une structure hiérarchique où les classes grossières existent au niveau supérieur et que ces classes grossières sont divisées en classes plus précises qui sont au niveau inférieur, on peut éviter qu'une zone appartienne à deux classes ou qu'une zone ne trouve pas sa classe.

### Classes exhaustives et exclusives

Ce qui est important pour définir les classes, c'est indiquer les classes exhaustives et exclusives mutuelles. Par classes exhaustives, on entend toutes les parties d'un domaine à classer ayant trouvé chacune sa classe correspondante. Les classes doivent donc être définies afin de permettre cette distribution complète. Pour que la classification soit exhaustive, il faut non seulement définir les classes des objets concernés mais également les classes des objets qui ne sont pas concernés. L'exclusivité mutuelle signifie qu'un objet ne sera pas distribué à plus de deux classes différentes. Autrement dit les classes ne seront pas définies de façon à ce qu'une zone soit classée dans deux classes différentes. Par exemple, la forêt et la forêt sempervirente ne peuvent pas être définies comme classes au même niveau puisqu'il y a des zones qui peuvent appartenir à ces deux catégories.

Pour définir les classes exhaustives et exclusives mutuellement, il faut penser à la structure hiérarchique. Les classes que l'on utilise pour la classification peuvent être relativement grossières telle que zone forestière, zone agricole ou zone urbanisée. Elles peuvent être plus précises comme forêt sempervirente, forêt décidue <sup>1)</sup>. En adoptant une structure hiérarchique où les classes grossières existent au niveau supérieur et que ces classes grossières sont divisées en classes plus précises qui sont au niveau inférieur, on peut éviter qu'une zone appartienne à deux classes ou qu'une zone ne trouve pas sa classe.

#### INFO

1) Campbell JB (2006) Image classification In: Introduction to Remote Sensing Fourth Edition. Guilford Press, 324-366

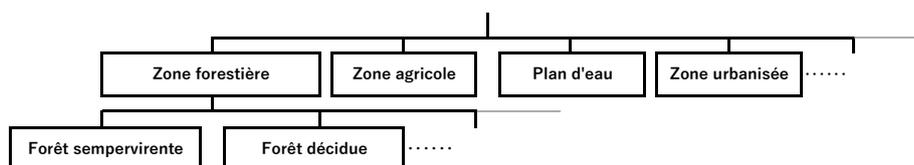


Figure T07-1 Structure hiérarchique des classes

## Classification demandée

Les postes de classification demandés par l'utilisateur ne sont pas toujours identiques aux classes utilisables pour la classification des données obtenues par le capteur <sup>2)</sup>. Lorsqu'il y a des postes impossibles à appliquer à la classification, il faut les intégrer aux autres postes que l'on peut obtenir par télédétection. Lorsqu'on intègre les classes, il faut veiller à ce qu'il n'y ait pas d'incohérence avec le système de classification existant.

Il arrive aussi qu'il soit possible de fournir exactement ce que l'utilisateur demande en ce qui concerne la classification en modifiant la classification des données ou en modifiant le type de données à obtenir par télédétection. Par exemple, en utilisant les données d'une résolution spatiale plus élevée, on peut établir une classification avec des classes plus précises. D'autre part, la forêt décidue donne des images très différentes selon la saison. C'est pourquoi il arrive que la classification devienne possible quand on utilise des images de saisons différentes. Au moment de définir les classes, il faut étudier le choix des données et de la méthode de classification.

### INFO

2) Cihlar J, Ly H, Xiao Q (1996) Land cover classification with AVHRR multichannel composites in northern environments. *Remo Sens Environ* 58: 36-51

## Intégration de classes après classification

Il arrive que quelques classes demandées par l'utilisateur ne soient pas assez précises parce que cette classification n'a pas été effectuée aisément par télédétection. Dans ce cas, on peut intégrer ces classes après classification et on peut obtenir une précision plus élevée. Mais il ne faut pas que la classe intégrée soit incompatible avec la classification existante, ce qui est une condition préalable. Il y a des éléments que l'on souhaiterait intégrer dans la même classe mais cette opération s'avère difficile parce que les images sont nettement différentes à cause de la configuration du sol ou d'autres causes, la classification par télédétection est alors malaisée. Par exemple la forêt en pente exposée au soleil et la forêt en pente à l'ombre illustrent ce cas (Figure T07-2). Il faut alors classer la forêt en pente exposée au soleil et la forêt en pente à l'ombre en deux classe différentes, puis on intègre ces deux classes dans la classe de forêt.

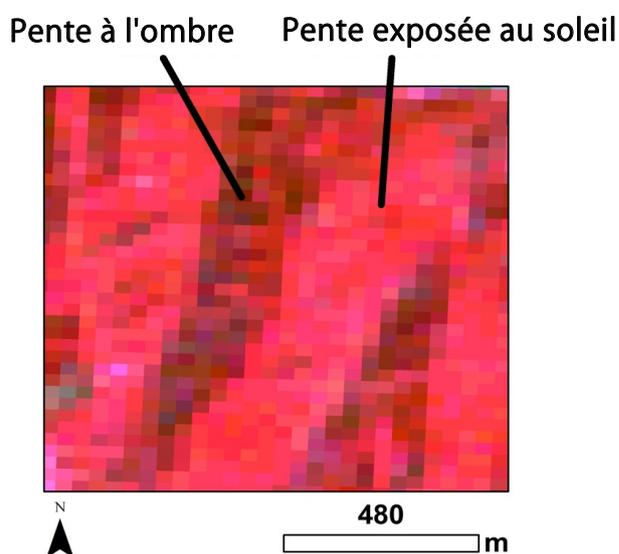


Figure T07-2 La forêt sur pente ensoleillée et pente à l'ombre.

### Références

Franklin SE (2001) *Remote Sensing for Sustainable Forest Management*. Lewis Publishers

## Réalité de terrain

La recette précédente correspond à la

Recetta P08 Estimation de la surface au moyen de la télédétection

La réalité de terrain signifie les informations réelles relatives à l'objet cible sur la terre, celles-ci étant nécessaires pour établir la classification des couvertures des sols par télédétection et pour vérifier les résultats de la classification. Pour que la réalité de terrain soit comparée avec l'image satellite, la précision est requise non seulement concernant les informations relatives à la réalité du terrain mais aussi concernant la localisation de cette réalité de terrain. Pour que le résultat d'analyse soit stable au niveau statistique, il y a nécessité de collecter des échantillons en quantité suffisante afin d'éviter tout biais éventuel pour la réalité de terrain.

### Qu'est-ce que la réalité de terrain ?

La réalité de terrain signifie les informations des objectifs observés, mesurés et collectés afin d'éclaircir les correspondances entre les données de télédétection et les cibles d'observation. Pour la classification des couvertures terrestre par la télédétection, la réalité de terrain est nécessaire avec ces données de formation utilisé pour la classification supervisée et des données de vérification utilisées pour contrôler la précision de la classification. Lorsque l'enquête de terrain est difficile à mener, on peut utiliser à la place l'image satellite haute définition, des photographies aériennes ou les informations cartographiques qui constituent les éléments de la réalité de terrain.

### Informations sur la localisation et la précision de la réalité de terrain

Pour obtenir les informations sur la localisation sur le terrain, on peut utiliser le GPS, les informations cartographiques existantes ou l'interprétation des photographies aériennes ou des images. La précision du GPS étant bien moindre sous la canopée forestière qu'en clairière, il est conseillé selon les circonstances de combiner les informations données ci-dessus. Pour augmenter la précision du GPS on peut utiliser soit le GPS différentiel soit la valeur moyenne de plusieurs mesures. La précision de localisation requise dépend de la résolution spatiale des données de télédétection. Dans le cas d'une classification orientée-objets, il faut prendre des précautions pour que la localisation ne soit pas sur plusieurs segments.

Il faut également prendre en compte les variations de la végétation selon la saison ou l'année. Ceci est particulièrement important quand on utilise l'indice de végétation ou pour une grande forêt qui varie considérablement selon les saisons comme la forêt tropicale à rythme saisonnier.

L'appareil photo GPS qui enregistre les informations sur la localisation, l'orientation de l'appareil au moment de la prise est pratique pour enregistrer la situation du terrain.

### Méthode d'échantillonnage

La réalité de terrain devra être recherchée d'une manière correcte statistiquement. Pour l'échantillonnage, les méthodes sont nombreuses : échantillonnage aléatoire simple, échantillonnage stratifié, échantillonnage périodique etc. Chaque méthode a ses avantages et

#### INFO

1) Jones HG, Vaughan RA (2010) Remote sensing of vegetation: Principles, techniques, and applications. Oxford University Press

#### INFO

2) Jensen JR (2005) Introductory digital image processing: a remote sensing perspective (Third edition). Prentice Hall

#### INFO

3) Hirzel AH, Guisan A (2002) Which is the optimal sampling strategy for habitat suitability modelling. Ecol Model 157: 331-341

ses inconvénients <sup>1), 2)</sup> (Figure T08-1, Tableau T08-1). L'échantillonnage stratifié est une des bonnes méthodes pratique et valable. Avec cette méthode, si on prend un seul taux de sondage pour tous les strates, il y aura trop de différence au niveau de la taille d'échantillon suivant la surface, il est préférable de modifier le taux de sondage suivant la surface pour avoir une taille d'échantillon constante pour toutes les strates, ce qui donne un résultat plus robuste <sup>3)</sup>. D'autre part, on peut économiser les frais d'accès par la combinaison de l'échantillonnage stratifié et l'échantillonnage par transect suivant le gradient de l'environnement <sup>4)</sup>.

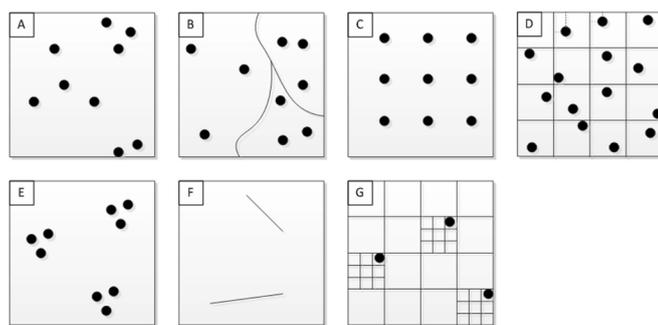


Figure T08-1 Méthodes d'échantillonnages Les méthodes A~G correspondent au tableau T08-1.

## Tailles d'échantillon

Dans le cas de la classification supervisée, la taille d'échantillon de chaque classe devra être supérieure à 10 fois <sup>1),2)</sup> de variables explicatives (ex. nombre de bandes de longueur d'onde). Par exemple, lorsque le nombre de variable est de 6, il faut tirer au moins 60 unités d'échantillon pour chaque classe. Plus l'homogénéité de classe sera basse, plus le nombre d'échantillons nécessaires sera important.

Pour vérifier la précision du résultat de la classification, le nombre d'unités d'échantillonnage de chaque classe à tirer est d'environ plus de 50 quand on considère l'équilibre de pratique et validité statistique <sup>2), 5)</sup>.

Les réalités de terrain utilisées pour les données de formation et celles utilisées pour la vérification devront être différentes. Car si l'on réutilise les réalités de terrain employées pour les données de formation, la précision est estimée plus élevée que la réalité.

### INFO

4) Wessels KJ, Jaarsveld AS, Grimbeek JD, Van Der Linde MJ (1998) An evaluation of the gradsect biological survey method. *Biodivers Conserv* 7: 1093-1121

### INFO

5) Congalton RG, Green K (1999) *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. CRC Press

## Références

McCoy RM (2004) *Field Methods in Remote Sensing*. Guilford Press

Tableau T08-1 Les avantages et les inconvénients de chaque méthode d'échantillonnage (Tableau basés sur la note INFO<sup>1)</sup> avec textes ajoutés en bleu.)

N°	Méthode d'échantillonnage	avantages	inconvénients
A	Aléatoire simple (simple random)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Statistiquement optimal.</li> <li>Moins de risque de biais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nombreux problèmes d'exécution. ex: l'endroit difficile d'accès peut être relevé.</li> <li>Des catégories réduites mais importantes peuvent être sous-échantillonnées ou manquées.</li> <li>Points non uniformément répartis sur toute la zone d'étude.</li> </ul>
B	Stratifié et au hasard	<ul style="list-style-type: none"> <li>Même les catégories réduites peuvent être échantillonnées.</li> <li>Souvent la méthode la plus efficace sur le pant pratique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Il reste des problèmes d'exécution. ex: l'endroit difficile d'accès peut être relevé.</li> <li>Il faut une carte thématique couvrant la zone d'étude pour stratifier la population.</li> </ul>
C	Systématique (ré)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facile à opérer</li> <li>Peut couvrir uniformément la totalité de la zone d'observation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'intervalle d'échantillonnage peut coïncider à la périodicité (ex. cimes et vallées) non apparente de l'objet d'observation.</li> <li>Difficulté à saisir l'objet en forme de ligne.</li> <li>La taille d'échantillon risque d'être trop grande ou trop petite selon la surface d'observation.</li> <li>La disposition ou la direction des points prélevés dépend du premier prélèvement.</li> </ul>
D	Systématique (non aligné)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Facile à opérer</li> <li>Peut couvrir uniformément la totalité de la zone d'observation</li> <li>Peut être aléatoire à chaque grille.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Difficulté à saisir l'objet en forme de ligne.</li> <li>La taille d'échantillon risque d'être trop grande ou trop petite selon la surface d'observation.</li> </ul>
E	Grappe (cluster)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les frais d'accès à l'enquête de terrain pourront être réduits.</li> <li>Par la bonne combinaison de l'échantillonnage stratifié aléatoire et l'échantillonnage par grappes, on peut établir un bon équilibre entre la pertinence statistique et la faisabilité. (Jensen, 2005)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peut être influencé facilement par l'autocorrélation spatiale.</li> </ul>
F	Transect (transect)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les frais d'accès à l'enquête de terrain pourront être réduits.</li> <li>On peut utiliser le gradient environnemental connu (par exemple</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Il risque d'avoir un biais due à la méthode d'extraire le transect.</li> <li>Il est difficile de couvrir suffisamment la surface de la zone d'étude.</li> </ul>
G	A plusieurs degrés (multistage)	<ul style="list-style-type: none"> <li>On peut économiser frais et temps d'échantillonnage.</li> <li>En général, il y a moins d'erreur d'échantillonnage en comparaison des erreurs de l'échantillonnage par grappes.</li> <li>On peut extraire à plusieurs étages en fonction d'images satellitaires de résolution différente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'échantillonnage à plusieurs degrés a tendance à générer plus d'erreurs que l'échantillonnage aléatoire simple ou stratifié aléatoire.</li> </ul>

\*Les méthodes A-G correspondent à la Figure 9-1

## Méthode de classification

La recette précédente correspond à la

Recetta P08 Estimation de la surface au moyen de la télédétection

Pour élaborer une carte d'occupation des sols de haute précision il faut prêter attention aux classifications des données obtenues par télédétection. Il existe de nombreuses méthodes de classification qui sont divisées grossièrement en deux groupes selon l'existence d'échantillons d'apprentissage ou non. Depuis quelques années, en plus de la classification conventionnelle par pixel on établit également une classification en prenant les objets comme plus petite unité. Dans la présente recette, on explique sommairement la méthode de classification utilisée pour analyser les données obtenues par télédétection.

### Classification dans la télédétection

Le processus d'attribution d'une classe de couverture terrestre à chaque pixel en utilisant ses caractéristiques telles que la valeur des pixels de chaque bande obtenue par télédétection est appelée classification de la couverture terrestre. Deux approches statistiques utilisées pour cette classification sont la classification supervisée et la classification non supervisée. Pour la classification supervisée on utilise des données de formation (des données composées de classes cibles et leurs valeurs caractéristiques). Dans cette classification, un modèle pour identifier une classe (classificateur) est structuré à l'aide des données de formation et une classe est affectée à chaque pixel inconnu à l'aide de ce modèle. Pour cette classification supervisée, l'estimation de maximum de vraisemblance est souvent utilisée. Dans la classification non supervisée, le degré de similitude entre les pixels est déterminé en utilisant uniquement l'image satellitaire, et tous les pixels sont regroupés en sous-ensembles similaires de pixels appelés grappes (partitionnement de données ou clustering).

Étant donné que cette méthode d'analyse n'attribue pas de classe (Figure T09-1), un analyste doit ensuite interpréter le résultat et attribuer une classe à chaque grappe. Cette interprétation est faite souvent par comparaison avec des données

satellitaires de résolution plus élevée ou avec des photographies aériennes. Les données représentatives de la classification non supervisée est ISODATA. D'autres techniques, telles que la carte auto-organisatrice, l'arbre de classification ou le réseau neuronal peuvent également être utilisées pour la classification.

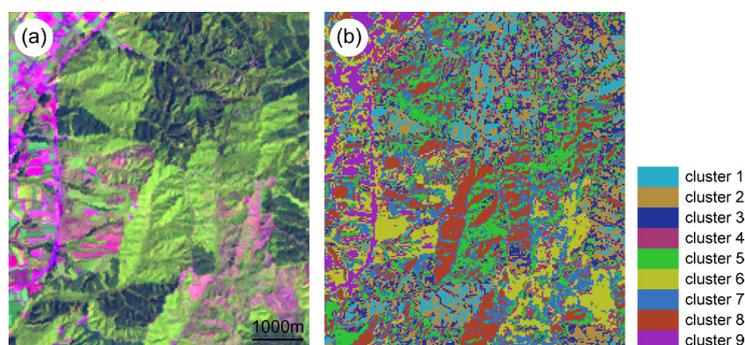


Figure T09-1 Regroupement en grappes par la méthode ISODATA

- (a) Les données d'origine de Landsat ETM+ et
- (b) le résultat de clustering lorsque le nombre de grappe est fixée à neuf

## La classification basée pixel et la classification orientée-objets

Dans une forêt, un pixel des données satellitaires à moyenne résolution spatiale (par exemple, 30 m × 30 m) représente des réflexions de lumière solaire des différentes parties (les parties exposées au soleil et les parties qui sont à l'ombre) de plus d'une couronne d'arbres. Cependant, dans le cas des données satellitaires à haute résolution, un seul pixel est inférieur à une couronne d'arbre, de sorte que chaque pixel représentant une réflexion du rayonnement solaire différente peut avoir une valeur différente même dans le cas d'observation d'un seul objet. Dans ce cas là, si on opère la classification conventionnelle basée sur les pixels, la variance de données dans une seule classe devient excessivement grande et il sera très difficile d'obtenir un résultat correct. Pour éviter ce problème, on a commencé à utiliser la classification orientée-objet <sup>1)</sup> dans laquelle des pixels adjacents ayant des caractéristiques semblables sont regroupé (segmentation).

Dans le cas de classification orientée-objet, les valeurs de pixels utilisées comme caractéristique pour la classification basée pixel sont utilisés pour calculer la valeur moyenne à l'intérieur des objets et les autres caractéristiques obtenues par segmentation telles que la variance de valeur de pixels, la texture, la forme d'objets etc. sont également utilisés pour la classification. Un avantage de la classification orientée-objet est que grâce à la segmentation, la carte de couverture terrestre établie par cette classification ne montre normalement pas de petit domaine de motif poivre et sel. La classification orientée-objet est efficace non seulement pour les images satellitaires de haute résolution, mais aussi pour les images satellitaires à résolution moyenne, et a été utilisée pour les recherches par télédétection dans le cadre de l'évaluation des ressources forestières mondiales 2010 de FAO (FRA2010) <sup>2)</sup>.

Pour la classification orientée-objet les résultats de segmentation varient en fonction des réglages de paramètres initiaux (Figure T09-2), la méthode essai et erreur est utilisée pour déterminer les paramètres optimaux. En outre, comme les valeurs des paramètres sont propres à chaque jeu de données, les valeurs appropriées doivent être choisies pour chaque ensemble de données. Pour régler les valeurs de paramètres, il faut prendre en compte la taille d'une parcelle moyenne du terrain cible ou l'unité minimale cartographique.

### Références

Bishop C.M. (2006) Pattern Recognition and Machine Learning. Springer

#### INFO

1) FAO, JRC, SDSU, UCL (2009) The 2010 Global Forest Resources Assessment Remote Sensing Survey: an outline of the objectives, data, methods and approach. Forest Resources Assessment Working Paper 155. FAO with FRA RSS partners

#### INFO

2) Le paramètre d'échelle est un paramètre qui influence principalement la taille des objets.

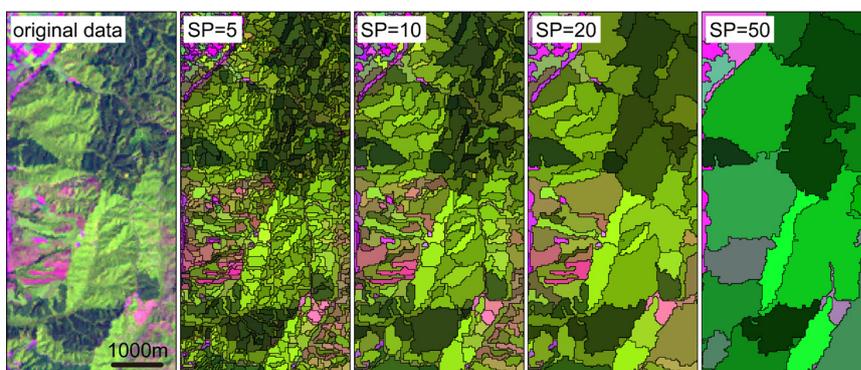


Figure T09-2 Les données d'origine de Landsat ETM+ et Résultats des segmentations suivant les différents paramètres d'échelle (SP)

## Evaluation de la précision

La recette précédente correspond à la  
Recetta P08 Estimation de la surface  
au moyen de la  
télédétection

La couverture terrestre indiquée par la cartographie établie à partir de la classification des images ne coïncide pas complètement avec la couverture terrestre réelle. Lorsque l'on utilise la cartographie qui comporte des écarts il faut connaître sa précision et les biais de cette cartographie. L'auteur de la carte devra indiquer l'indice de précision. Cette section décrit le principe et la méthode de l'évaluation de la précision à l'aide d'une matrice d'erreurs et la méthode pour estimer plus correctement la surface en effectuant la correction des biais présents dans la classification. Quand on évalue la précision de la classification avec une matrice d'erreurs, la précision de l'estimation de cette matrice influence considérablement le résultat. Il faut donc procéder de manière correcte.

### Matrice d'erreur et indice de précision

Lorsque la classe réelle sur la terre (classe de référence) et la classe de la cartographie établie par la classification des images (classe de classification) sont identiques pour un point géographique, on peut considérer que ce point est classé correctement. Par contre au cas où ce point n'est pas dans la même classe, la classification ne peut être correcte. (Figure T10-1)

Lorsque l'on classe une image en nombre de classes  $r$ , on peut obtenir une matrice de  $r \times r$  avec les éléments  $N_{ij}$ , les classes de classification  $i$  ( $1 \leq i \leq r$ ) et les classes de référence  $j$  ( $1 \leq j \leq r$ ) et la surface (= nombre de pixels  $\times$  la surface d'un pixel). À partir de ce tableau une matrice d'erreurs (error matrix) peut être établie (Tableau T10-1) servant à évaluer par différentes façons la précision de la cartographie. Dans cette matrice, les éléments de la diagonale  $N_{jj}$  ( $1 \leq j \leq r$ ) sont les éléments correctement classés. D'autre part,  $N_i$  = surface attribué à la classe de classification,  $N_j$  = surface de la classe de référence  $j$ ,  $N$  = la surface totale cartographie

Précision globale (overall accuracy)  $A$  : précision de la cartographie, ratio de la surface de la couverture correctement classée. Lorsque le ratio est de 1, la cartographie est identique à la réalité, s'il est de zéro, la cartographie est complètement différente. Dans nombre de cas, l'objectif est une précision  $A \geq 0,85$ .

$$A = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^r N_{jj} \quad (\text{T10-1})$$

Précision de l'utilisateur (user's accuracy)  $au_i$  : Ratio de la surface classée correctement à la classe de référence  $i$  par rapport à la surface classée à la classe  $i$  del mapa.  $1 - au_i$  est appelée erreur de commission (commission error).

$$au_i = N_{ii} / N_i. \tag{T10-2}$$

Précision du producteur (producer's accuracy)  $ap_j$  : Ratio de la surface classée correctement à la classe de classification  $j$  par rapport à la surface classée à la classe de référence  $j$ .  $1 - ap_j$  est appelée erreur d'omission (omission error).

$$ap_j = N_{jj} / N_j \tag{T10-3}$$

Coefficient Kappa  $\kappa$  : meilleur indice indiquant la précision globale en prenant en compte l'influence de la concordance due au hasard. Comme dans le cas de la

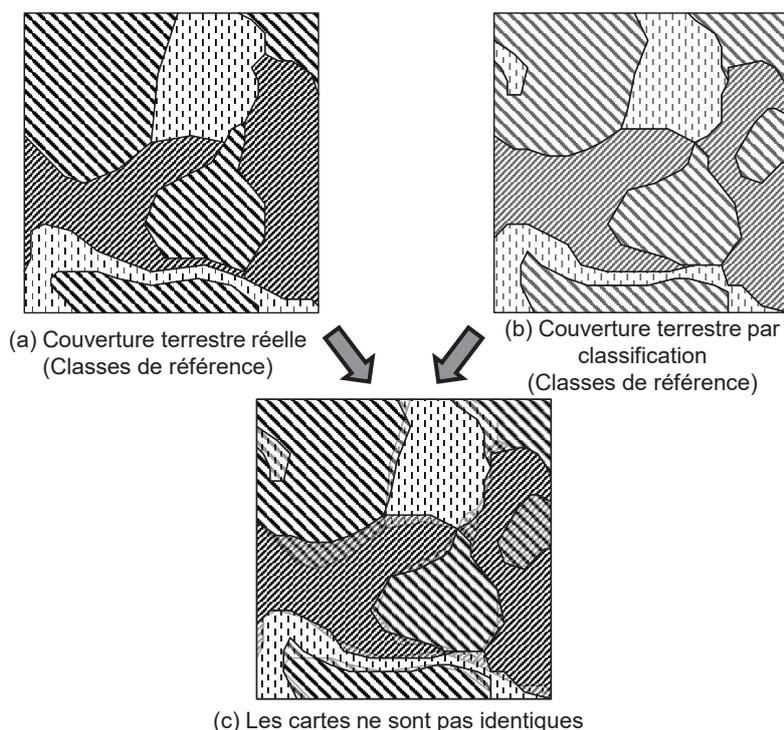


Figure T10-1 la couverture terrestre réelle et celle obtenue par classification en réalité (a) n'est pas connue. On ne peut obtenir que (b). Il faut donc prendre un échantillon (réalités de terrain) dans la cartographie et comparer (a) et (b) pour évaluer la précision et les biais.

Tableau T10-1 Matrice d'erreur (lorsque la population est constituée par l'image entière)

		Classes de référence					Sous total
		1	...	$j$	...	$r$	
Classes de classification	1	$N_{11}$	...	$N_{1j}$	...	$N_{1r}$	$N_{1.}$
	⋮	⋮				⋮	⋮
	$i$	$N_{i1}$		⋮		$N_{ir}$	$N_{i.}$
	⋮	⋮				⋮	⋮
	$r$	$N_{r1}$	...	$N_{rj}$	...	$N_{rr}$	$N_{r.}$
Sous total		$N_{.1}$	...	$N_{.j}$	...	$N_{.r}$	$N$

précision globale, l'indice varie de zéro à 1 et plus la valeur est élevée plus il est considéré comme meilleur.

$$\kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r N_{ii} - \sum_{i=1}^r (N_i \cdot N_{\cdot i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (N_i \cdot N_{\cdot i})} \tag{T10-4}$$

### Les réalités de terrain à utiliser pour l'évaluation de la précision

Dans l'exemple du paragraphe précédent, les classes de référence étaient connues pour tous les endroits, il était donc possible d'établir une matrice d'erreurs complète. Mais dans la réalité, toutes les classes de référence ne sont pas connues pour tous les endroit (si tout est connu, la télédétection n'est pas nécessaire.) Pour vérifier la précision, il est nécessaire de collecter les réalités de terrain (voir T08) et d'estimer les diverses précisions et la matrice d'erreurs. Afin de mener une estimation correcte et efficace, il faut planifier correctement la recherche de réalités de terrain et utiliser une méthode d'estimation exacte qui y correspond.

Pour collecter les réalités de terrain pour l'évaluation de la précision, il y a deux méthodes d'échantillonnage : l'échantillonnage aléatoire simple et l'échantillonnage stratifié. Dans le cas de l'échantillonnage aléatoire simple, les réalités de terrain sont collectées sans faire de distinction à la classification. La probabilité d'être pris en échantillon est donc considérée proportionnelle à la surface. On peut utiliser au lieu de l'échantillon aléatoire simple l'échantillon systématique à grande échelle pris pour l'inventaire forestier national. Lorsque l'échantillon est petit, il est possible qu'il y ait une marge d'erreur importante pour les classes de petites surfaces.

Dans le cas de l'échantillonnage stratifié, on attribue à chaque strate une taille d'échantillon qui n'est forcément pas la même taille et on tire un échantillon aléatoire et simple de chaque strate. Comme on peut utiliser efficacement les ressources, ce type de échantillonnage est souvent utilisé aux études de télédétection.

Pour l'échantillonnage aléatoire et simple et l'échantillonnage stratifié, les matrices

Tableau T10-2 Matrice d' erreur  
(Cas de l'échantillonnage aléatoire simple)

		Classes de référence					Sous total	
		1	...	j	...	r		
Classes de classification	1	$n_{11}$	...	$n_{1j}$	...	$n_{1r}$	$n_{1\cdot}$	$N_{1\cdot}$
	⋮	⋮				⋮	⋮	⋮
	i	$n_{i1}$		⋮		$n_{ir}$	$n_{i\cdot}$	$N_{i\cdot}$
	⋮	⋮				⋮	⋮	⋮
	r	$n_{r1}$	...	$n_{rj}$	...	$n_{rr}$	$n_{r\cdot}$	$N_{r\cdot}$
Sous total		$n_{\cdot 1}$	...	$n_{\cdot j}$	...	$n_{\cdot r}$	$n$	
		$\hat{N}_{\cdot 1}$	...	$\hat{N}_{\cdot j}$	...	$\hat{N}_{\cdot r}$		$N$

Tableau T10-3 Matrice d' erreur  
(Cas de l'échantillonnage stratifié)

		Classes de référence					Sous total	
		1	...	<i>j</i>	...	<i>r</i>		
Classes de classification	1	$n_{11}$	...	$n_{1j}$	...	$n_{1r}$	$n_{1.}$	$N_{1.}$
	⋮	⋮				⋮	⋮	⋮
	<i>i</i>	$n_{i1}$		⋮		$n_{ir}$	$n_{i.}$	$N_{i.}$
	⋮	⋮				⋮	⋮	⋮
	<i>r</i>	$n_{r1}$	...	$n_{rj}$	...	$n_{rr}$	$n_{r.}$	$N_{r.}$
		$\hat{N}_{.1}$	...	$\hat{N}_{.j}$	...	$\hat{N}_{.r}$		$N$

d'erreur sont indiquées dans le tableau T10-2 et le tableau T10-3.

Soit  $n_{ij}$ , la taille d'échantillon de la classe de classification  $i$  et la classe de référence  $j$ . On peut obtenir les équations suivantes comme le paragraphe précédent

$$n_{i.} = \sum_{j=1}^r n_{ij}, n_{.j} = \sum_{i=1}^r n_{ij}, n = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^r n_{ij}.$$

Dans le cas de l'échantillonnage aléatoire simple la taille d'échantillon total  $n$  est définie préalablement et dans le cas de l'échantillonnage stratifié la taille d'échantillon de chaque strate  $n_{i.}$  est définie préalablement.

Les surfaces des classes sur la terre réelle ne sont pas les surfaces des classes de classification  $N_{i.}$ , mais celle des de référence  $N_{.j}$ . La surface totale de la carte  $N$  et la surface de chaque classe de classification sont connues. Mais la surface  $N_{.j}$  étant inconnue il faut rechercher la valeur d'estimation  $N_{.j}$ .

Soit  $\pi_i$  le ratio de surface de la classe  $i$  de la classification par rapport à la cartographie, le ratio de la surface estimée  $\hat{p}_{ij}$  de la classe  $i$  de la classification et de la classe  $j$  de référence est obtenu par les équations suivantes :

$$\pi_i = N_{i.}/N \quad (\text{T10-5})$$

$$\hat{p}_{ij} = \pi_i n_{ij}/n_{i.} \quad (\text{T10-6})$$

La surface et la précision estimée des classes de référence ainsi que leurs écart type sont calculées selon les équations suivantes. Les équations marquées [SRS] sont les équations pour l'échantillonnage aléatoire et simple. Les équations marquées [SS] sont les équations pour l'échantillonnage stratifié. Les équations sans marque sont communes aux deux types d'échantillonnages.

**INFO**

1) Card DH (1982) Using Known Map Category Marginal Frequencies to Improve Estimates of Thematic Map Accuracy. Photo Engin Rem Sens 48: 431-439

Surface de la classe de référence  $j$  <sup>1)</sup>:

$$\hat{N}_{.j} = N \sum_{i=1}^r \hat{p}_{ij} \quad (T10-7)$$

$$SE(\hat{N}_{.j}) = N \left\{ \sum_{i=1}^r \hat{p}_{ij} (\pi_i - \hat{p}_{ij}) / (\pi_i n) \right\}^{1/2} \quad [\text{SRS}] \quad (T10-8)$$

$$SE(\hat{N}_{.j}) = N \left\{ \sum_{i=1}^r \hat{p}_{ij} (\pi_i - \hat{p}_{ij}) / n_i \right\}^{1/2} \quad [\text{SS}] \quad (T10-9)$$

Précision globale <sup>1)</sup>:

$$\hat{A} = \sum_{i=1}^r \hat{p}_{ii} \quad (T10-10)$$

$$SE(\hat{A}) = \left\{ \sum_{i=1}^r \hat{p}_{ii} (\pi_i - \hat{p}_{ii}) / (\pi_i n) \right\}^{1/2} \quad [\text{SRS}] \quad (T10-11)$$

$$SE(\hat{A}) = \left\{ \sum_{i=1}^r \hat{p}_{ii} (\pi_i - \hat{p}_{ii}) / n_i \right\}^{1/2} \quad [\text{SS}] \quad (T10-12)$$

Précision de l'utilisateur <sup>1)</sup>:

$$\hat{a}u_i = n_{ii} / n_i. \quad (T10-13)$$

$$SE(\hat{a}u_i) = \left\{ \hat{p}_{ii} (\pi_i - \hat{p}_{ii}) / (\pi_i^3 n) \right\}^{1/2} \quad [\text{SRS}] \quad (T10-14)$$

$$SE(\hat{a}u_i) = \left\{ \hat{p}_{ii} (\pi_i - \hat{p}_{ii}) / (\pi_i^2 n_i) \right\}^{1/2} \quad [\text{SS}] \quad (T10-15)$$

Précision du producteur <sup>1)</sup>:

$$\hat{a}p_j = \frac{N_{.j} \cdot n_{jj}}{\hat{N}_{.j} n_j} = \frac{N_{.j}}{\hat{N}_{.j}} \hat{a}u_j \quad (T10-16)$$

$$SE(\hat{a}p_j) = \left\{ \hat{p}_{jj} \left( \frac{\hat{N}_{.j}}{N} \right)^{-4} \left[ \hat{p}_{jj} \sum_{i \neq j}^r \frac{\hat{p}_{ij} (\pi_i - \hat{p}_{ij})}{\pi_i n} + (\pi_j - \hat{p}_{jj}) \left( \frac{\hat{N}_{.j}}{N} - \hat{p}_{jj} \right)^2 / (\pi_j n) \right] \right\}^{1/2} \quad [\text{SRS}] \quad (T10-17)$$

$$SE(\widehat{ap}_j) = \left\{ \widehat{p}_{jj} \left( \frac{\widehat{N}_{.j}}{N} \right)^{-4} \left[ \widehat{p}_{jj} \sum_{i \neq j}^r \frac{\widehat{p}_{ij}(\pi_i - \widehat{p}_{ij})}{n_i} + (\pi_j - \widehat{p}_{jj}) \left( \frac{\widehat{N}_{.j}}{N} - \widehat{p}_{jj} \right)^2 / n_j \right] \right\}^{1/2} \quad [SS] \quad (T10-18)$$

*khat* (valeur estimée du coefficient Kappa)<sup>2),3),4),5)</sup>:

$$\hat{\kappa} = \frac{n \sum_{i=1}^r n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_i \cdot n_i}{n^2 - \sum_{j=1}^k n_i \cdot n_i} \quad [SRS] \quad (T10-19)$$

$$SE(\hat{\kappa}) = \left\{ \frac{1}{n} \left[ \frac{\theta_1(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1)(2\theta_1\theta_2-\theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2(\theta_4-4\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4} \right] \right\}^{1/2} \quad [SRS] \quad (T10-20)$$

$$\hat{\kappa} = \frac{N\widehat{D} - \widehat{G}}{N^2 - \widehat{G}} \quad [SS] \quad (T10-21)$$

$$SE(\hat{\kappa}) = \left\{ \sum_{i=1}^r N_i^2 (1-f_i) \widehat{V}_i / n_i \right\}^{1/2} \quad [SS] \quad (T10-22)$$

Avec ses valeurs estimées, les résultats de classification peuvent être comparés. Soient  $\hat{\kappa}_1$  et  $\hat{\kappa}_2$  respectivement les valeurs de *khat* du résultat de deux classifications différentes, l'hypothèse nulle  $H_0: \kappa_1 - \kappa_2 = 0$  est refusée lorsque la quantité de tests statistiques  $Z$  sur hypothèses de distribution normale devient  $Z \geq Z_{\alpha/2}$ .

Dans cette équation,  $Z_{\alpha/2}$  est la valeur limite pour un seuil de signification 100 (1- $\alpha$ ) %. Lorsque  $\alpha$  est 0,05 et 0,01, elles sont respectivement 1,96 et 2,58.

La taille d'échantillon nécessaire par classe de classification est considérée par expérience de plus de 50 unités. Lorsque la surface de l'objet est étendue (par exemple, centaines de 1000 ha) ou les classes sont nombreuses (par exemple, plus de 12 classes) la taille d'échantillon nécessaire est de plus de 75 unités. Pour l'estimation de la fiabilité, si on réutilise des réalités de terrain ayant servi comme échantillons d'apprentissage, la précision pouvant être surestimée, il faut utiliser des échantillons indépendants

**INFO**

2) Congalton RG, Green, K (1999) Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. CRC Press, 137pp

**INFO**

3) Soit,  $\theta_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r n_{ii}$ ,  
 $\theta_2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^r n_i \cdot n_i$ ,  
 $\theta_3 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^r n_{ii}(n_i + n_i)$ ,  
 $\theta_4 = \frac{1}{n^3} \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r n_{ij}(n_i + n_j)^2$

**INFO**

4) Stehman SV (1996) Estimating the Kappa Coefficient and its Variance under Stratified Random Sampling. Photo Engin Rem Sens 62: 401-407

**INFO**

5) Soit,  $\widehat{D} = \sum_{i=1}^r \frac{N_i}{n_i}$ ,  
 $\widehat{G} = \sum_{i=1}^r N_i \cdot \widehat{N}_i$ ,  $f_i = \frac{n_i}{N_i}$ ,  
 $\widehat{V}_i = \frac{u_i^2 - n_i \cdot \bar{u}_i^2}{n_i - 1}$ ,  
 $\bar{u}_i = 1/n_i \cdot \left\{ n_{ii} \left[ \frac{N}{N^2 - \widehat{G}} \right] + \frac{N(\widehat{D} - N)}{(N^2 - \widehat{G})^2} \sum_{j \neq i}^r n_{ij} N_j \right\}$ ,  
 $u_i^2 = n_{ii} \left[ \frac{N}{N^2 - \widehat{G}} + \frac{N_i N (\widehat{D} - N)}{(N^2 - \widehat{G})^2} \right]^2 + N^2 \frac{(\widehat{D} - N)^2}{(N^2 - \widehat{G})^4} \sum_{j \neq i}^r n_{ij} N_j^2$

## Estimation du changement de surface

La recette précédente correspond à la

Recetta P08 Estimation de la surface au moyen de la télédétection

La présente recette explique le contour de l'approche utilisée pour estimer l'évolution de la surface des forêts à l'aide des images et les problèmes concernant cette approche. Avec des images d'une seule époque on ne peut saisir que la couverture terrestre du moment, pour étudier l'évolution de la forêt il faut des images de plus de 2 époques. Lorsqu'il y a une série temporelle d'images nous avons 2 approches différentes pour saisir l'évolution. (1) on opère la classification sur chaque image puis on compare les résultats de classification et saisit évolution. (2) une série d'images sont classifiées simultanément et on capte l'information de changement.

### Comparaison des résultats de classification de 2 époques

Lorsqu'on compare les classifications de 2 époques, on peut obtenir un tableau croisé (Tableau T11-1). Ce tableau nous permet de connaître l'état de couverture terrestre avant et après changement et nous aide à comprendre quelle était la cause de ce changement. Par contre, les frontières des classes peuvent paraître parfois comme des parcelles où la couverture a été modifiée sans pour autant qu'il y ait eu de changement réel (Figure T11-1).

Tableau T11-1 tableaux croisés évolution de surface

		Couverture terrestre Année 2004			
		Forêt	Non-forêt	Plan d'eau	Total
Couverture terrestre Année 1990	Forêt	606.9	90.5	0.0	697.4
	Non-forêt	47.9	169.3	0.8	218.0
	Plan d'eau	0.0	9.6	12.2	21.8
	Total	654.8	269.3	13.0	937.1

### Extraction d'informations de changement par classification simultanée d'une série temporelle d'images

Pour classifier les images d'époques différentes simultanément il y a 2 méthodes : on utilise des algorithmes pour effectuer la classification (dans la plupart des cas on utilise des images diff produites par ces algorithmes), ou on intègre les images d'époques différentes en une seule image multi-couches. (Figure T11-2)

Lorsque l'on effectue la classification simultanée d'une série temporelle d'images et si on fait l'échantillonnage pour les données d'apprentissage en se focalisant uniquement sur le changement, on ne peut saisir l'état de couverture terrestre avant et après le changement, autrement dit l'évolution de la couverture terrestre. D'autre part, si l'on effectue des échantillonnages en prenant en compte la couverture terrestre, de nombreuses données d'apprentissage seront nécessaires. De plus, si les images ont été prises à des saisons différentes, les écarts de brillance dus à la saison

ou à une influence de la configuration topographique peuvent être considérés par erreur comme un changement.

### Éléments à prendre en compte pour la comparaison d'images et la tendance actuelle

Pour saisir le changement, comme on se base sur des images de plus de 2 périodes différentes, la correction géographique des images doit être précise. Pour obtenir un taux d'erreur d'extraction d'information de changement inférieur à 10%, il faut une précision de localisation de moins de 0,2 pixel <sup>1)</sup>. Mais, la GOFC-GOLD définit l'erreur relative des deux images à inférieure à 1 pixel <sup>2)</sup>.

Nous avons vu brièvement 2 approches visant à estimer les évolutions de surface. Mais depuis quelques temps l'approche orientée-objet. (voir T09) commence à être utilisée. Pour l'investigation par télédétection menée dans le cadre de l'évaluation des ressources forestières 2010 (FRA2010) de FAO, on utilise l'approche orientée-objet et on compare les images d'années différentes (image unique par année) sans faire la synthèse des images et on saisit l'évolution de forêts <sup>3)</sup>. Par contre à la GOFC-GOLD, les objets sont définis (segmentation de l'image <sup>4)</sup>) par des images multi-couches à différentes périodes. Puis la classification est effectuée pour chaque image afin de définir l'évolution forestière <sup>2)</sup>.

#### INFO

1) Dai X, Khorram S (1998) The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection. IEEE Trans Geosci Rem Sens 36: 1566-1577

#### INFO

2) <http://www.gofcgold.wur.nl/redd/>

#### INFO

3) Un objeto es un grupo de píxeles espacialmente adyacentes que tienen un espectro homogéneo. El proceso de división de una imagen en objetos es referido como "segmentación de imagen".

#### INFO

4) <http://www.fao.org/docrep/012/k7023e/k7023e00.pdf>

### Références

Campbell JB (2007) Introduction to Remote Sensing. Guilford Press

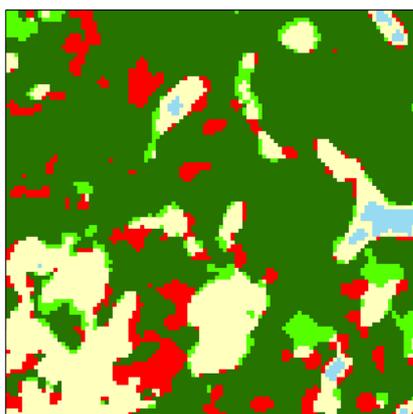


Figure T11-1 Extraction d'informations du changement par la classification de deux Images de deux époques

Vert : forêt, jaune : non forêt, bleu clair : plan d'eau, vert jaune : non forêt → forêt, Rouge : forêt → non forêt, les frontières sont marquées comme zone de changement.

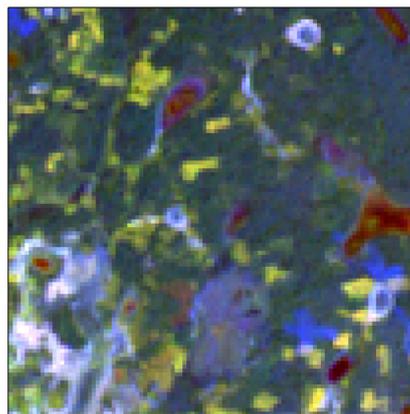


Figure T11-2 Image unique multi-couches de 2 moments différents

R : l'image après changement bande 3, G : l'image après changement bande 5, B : l'image avant changement bande 5 Le changement forêt → non forêt est indiqué en jaune. Le changement non forêt → forêt est indiqué en bleu.

# 8

## Chapitre 8 la méthode des placettes d'échantillonnage permanentes



L'utilisation des placettes d'échantillonnage permanentes est la méthode de mesure des stocks de carbone la plus traditionnelle et la plus directe. La méthode de placette d'échantillonnage permanente est mise en œuvre en trois étapes : le planning, l'enquête de terrain et l'analyse des données. Dans le présent chapitre, on expose d'abord le nombre et la disposition des placettes en tant que planning. Ensuite on y indique la superficie et la forme des placettes et les techniques utiles pour l'enquête de terrain. On présente ensuite les points à prendre en considération pour le calcul des stocks de carbone par unité de surface à partir des données obtenues par recensement des arbres et le choix des équations d'allométrie qui a une influence considérable sur le résultat des calculs.

T12 Le nombre de placettes permanentes nécessaires et leur disposition

T13 Le planning des études avec placettes d'échantillonnage permanentes

T14 L'analyse des données obtenues par les placettes d'échantillonnage permanentes

## Le nombre de placettes permanentes nécessaires et leur disposition

La recette précédente correspond à la

Recetta P10 Méthode ayant recours aux placettes d'échantillonnage permanentes

Pour estimer de manière efficace les stocks de carbone à vaste échelle (au niveau national voire infranational), la méthode d'échantillonnage stratifié sur la base d'un bon plan de zonage de la forêt est très utile. Dans la présente recette, on donne l'explication sur la précision des estimations requise, sur le calcul du nombre des placettes permanentes nécessaires ainsi que l'élaboration de la matrice pour obtenir les strates appropriées.

### INFO

1) Avery TE, Burkhardt HE (eds.) (1994) Forest measurements, Fourth edition. McGraw-Hill

### INFO

2) Brown S (2002) Measuring, monitoring, and verification of carbon benefits for forest-based projects. Phil Trans R Soc Lond A 360: 1669-1683

### INFO

3) Pearson T, Walker S, Brown S (2005) Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects. Winrock International and the BioCarbon Fund of the World Bank

### Précision requise

Lorsque l'on effectue le sondage, la précision d'estimation requise c.-à-d. la marge d'erreur  $E$  est calculée par l'équation suivante si la population est suffisamment importante <sup>1)</sup> :

$$E = \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} \quad (\text{T12-1})$$

Dans cette équation, soit  $t$  la valeur de la distribution  $t$  lorsque le seuil de signification est de 5 % et le degré de liberté de  $-1$ ,  $s$  l'écart type,  $n$  la taille d'échantillons. Cette relation est souvent présentée par le taux d'erreur (%) qui est une valeur calculée par la division de l'erreur  $E$  par la valeur moyenne. Par cette équation, on constate que si la taille d'échantillon augmente l'erreur s'amointrit. Mais le coût d'étude augmente. Par conséquent il faut se donner une marge d'erreur appropriée en tenant compte des coûts et de la performance. Le taux d'erreur acceptable pour le sondage de la forêt tropicale devrait être, selon les expériences, inférieur à 10 % <sup>2)</sup>.

On comprend également par l'équation ci-dessus que si l'écart-type se réduit, l'erreur s'amointrit ou on peut réduire la taille d'échantillon si l'erreur reste la même, ce qui donne la possibilité de faire des estimations efficaces. Le moyen de réduire cet écart-type est l'utilisation de la méthode d'échantillonnage stratifié expliquée ci-après <sup>3)</sup>.

### Calcul pour trouver les nombres nécessaires

Lorsque l'on prend comme objet d'études les forêts à vaste échelle, il peut y avoir des forêts de types différents, telles la forêt de conifères, la forêt de feuillus, la forêt sempervirente, la forêt décidue. Même les forêts de type identique sont dans des états différents selon les perturbations qu'elles ont reçues ou leur stade de développement. Dans ce cas-là, l'échantillonnage stratifié est très efficace, l'échantillonnage qui regroupe les forêts par leur homogénéité de type, stade de développement en plusieurs strates et attribue à chaque strate un nombre de placettes et la distribution

dans la strate.

Dans le cas d'échantillonnage stratifié, si la forêt est subdivisée en  $L$  strates, le nombre total de placettes nécessaires  $n$  est exprimé par l'équation suivante <sup>4)</sup>:

$$n = \left(\frac{t}{E}\right)^2 \left[ \sum_{h=1}^L W_h s_h / \sqrt{C_h} \right] \left[ \sum_{h=1}^L W_h s_h / \sqrt{C_h} \right] \quad (\text{T12-2})$$

Dans cette équation, soit  $N$  le nombre d'unités d'échantillonnage de la population totale et  $N_h$  celui de chaque strate,  $W_h = N_h/N$ ,  $t$  la valeur de la distribution  $t$  lorsque le seuil de signification est de 5 % et le degré de liberté de  $n - L$ ,  $s_h$  l'écart type de chaque strate,  $C_h$  le coût d'enquête par placette de chaque strate. Le nombre de placettes de chaque strate est calculé par l'équation suivante <sup>5)</sup>:

$$n_h = n \frac{W_h s_h / \sqrt{C_h}}{\sum_{h=1}^L W_h s_h / \sqrt{C_h}} \quad (\text{T12-3})$$

Lorsque l'on manque d'informations concernant les coûts, on calcule avec  $C_h = 1$ . Lorsque le taux de sondage  $n/N$  est supérieur à 5 % et la population est finie, alors le nombre de placettes d'échantillonnage permanentes peut être trouvé comme valeur de correction  $n_a$  par l'équation suivante avec  $n$  obtenu par l'équation ci-dessus <sup>6)</sup>.

$$n_a = \frac{Nn}{N+n} \quad (\text{T12-4})$$

## Stratification appropriée

Si on utilise l'échantillonnage stratifié, c'est dans le but d'augmenter la précision d'estimation ou pour diminuer le nombre de prélèvements  $n$  <sup>3)</sup>. Pour cela, il faut faire une stratification de façon à ce que la variation à l'intérieur de la strate  $s_h$  soit la plus petite possible par rapport à la variation dans la population de base  $s$ . Le procédé efficace pour établir cette stratification est de construire une matrice de stratification <sup>7)</sup> comme la Figure T12-1 le montre. Cette matrice utilise 2 axes : le type de forêt et l'état de la forêt. Pour construire cette matrice, il faut savoir à l'avance quels sont les facteurs (par ex. Altitude, Type du sol, Utilisation du sol) qui concerne la variation spatiale des stocks de carbone <sup>7)</sup>. La présente matrice de stratification est utile également pour quantifier la dégradation forestière par type de forêt.

		Etat de forêt 			
		Forêt mature	Forêt à abattre	Forêt secondaire (jeune)	Forêt secondaire (mature)
Type de forêt 	Forêt sempervirente				
	Forêt décidue				
	Forêt mixte				

Figure T12-1 Matrice de stratification par type et état de la forêt (Gibbs et al. <sup>7)</sup> modifiée partiellement)

### INFO

4) UNFCCC "Calculation of the number of sample plots for measurements within A/R CDM project activities" <http://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-03-v2.1.0.pdf>

### INFO

5) Le tableur "Winrock Terrestrial Sampling Calculator" utilisable réellement pour calculer le nombre de placettes nécessaires pour l'échantillonnage stratifié est publié dans le site web ci-dessous. [http://www.winrock.org/ecosystems/files/Winrock\\_Sampling\\_Calculator.xls](http://www.winrock.org/ecosystems/files/Winrock_Sampling_Calculator.xls)

### INFO

6) Wenger KF (ed.) (1984) Forestry handbook, 2nd edition. John Wiley and Sons

### INFO

7) Gibbs KH, Brown S, Niles OJ, Foley AJ (2007) Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. Environ. Res. Lett. 2: 045023

## Le planning des études avec placettes d'échantillonnage permanentes

La recette précédente correspond à la

Recetta P10 Méthode ayant recours aux placettes d'échantillonnage permanentes

La placette d'échantillonnage devant être utilisée longtemps, il faut qu'elle réponde à certaines conditions permettant le long terme. La présente recette explique les facteurs requis pour le concept de placettes et les techniques de mesure nécessaires pour augmenter l'indice de précision.

### INFO

1) Tomppo et al. ont résumé les inventaires forestiers nationaux avec leur méthodologie mais il s'agit, pour la plupart, des cas de pays avancés.

### Surface de la placette

Plus la surface de la placette est large, plus les arbres à mesurer sont nombreux et plus il faut de temps, ce qui génère des coûts plus importants. Par contre, si la surface est réduite, le temps de travail et les coûts baissent, mais la marge d'erreur de l'estimation du stock de carbone augmente. Pour définir la superficie d'une placette, il faut prendre en référence les inventaires forestiers nationaux (National Forest Inventory)<sup>1)</sup> ou les études de la structure forestière (forest structure) du pays de mise en œuvre. Comme référence, la placette est souvent de 0,1 à 0,5 ha.

### La forme de la placette

La forme des placettes peut être regroupée grossièrement en 2 types : cercle et carré. Tous les deux ont des avantages et des inconvénients pour la mise en place et pour l'utilisation. Pour visualiser l'existence de la placette, il faut installer un ou plusieurs piquets. Dans le cas d'un cercle, il suffit d'enfoncer un piquet au milieu, mais il n'est pas facile de distinguer si un arbre situé aux environs de la ligne circulaire est à

observer ou non. Dans le cas d'une placette carrée, il faut un piquet pour chacun de 4 coins. Cela requiert plus de travail mais comme la ligne limite de la placette est droite, il est facile de distinguer les arbres à observer. Au moment de la revisite, la placette carrée possédant 4 piquets, son positionnement peut être reconnu plus facilement.

Le piquet devra être enfoncé le plus profondément possible pour qu'il ne disparaisse pas à cause d'un glissement de terrain ou d'un incident causé par des animaux. Lorsqu'il y a des risques de perturbation tel que des incendies, il faut choisir un piquet de matière résistante au feu comme le béton ou autre. (Figure T13-2) Quand on utilise un matériau cher il peut y avoir risque de vol. Il faudra donc se concerter avec le chargé local pour déterminer ce choix. Pour l'emplacement de la placette,

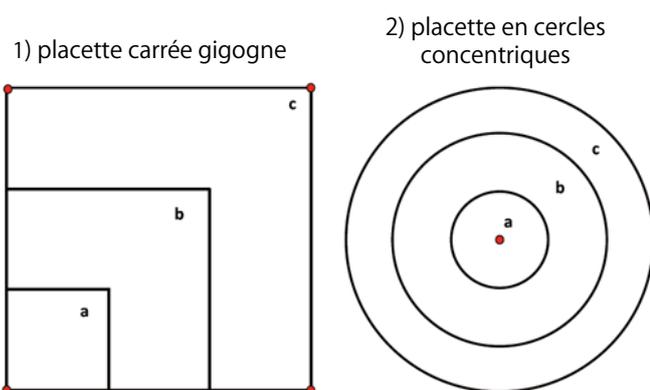


Figure T13-1 Forme de la placette

1: placette carrée gigogne 2: placette en cercles concentriques

: Les arbres à mesurer sont d'un diamètre à hauteur d'homme supérieur à 5 cm pour le casier a, supérieur à 10 cm pour le casier b et supérieur à 20 cm pour le casier c, ce qui permet de mener les enquêtes plus efficacement.

on utilise des appareils tels que télémètre laser et boussole. La distance à mesurer n'est pas la longueur de pente mais la distance horizontale. Les stocks de carbone étant estimés sur la base de l'unité surface, il est important de définir la surface de la placette en mesurant la distance horizontale <sup>2)</sup>.

Pour chaque placette, il faut définir le piquet de départ (le point central pour la placette en cercle) dont le positionnement doit être mesuré par GPS et enregistré. Cette information est nécessaire non pas uniquement pour l'analyse de l'image de télédétection, mais aussi pour la revisite de la place.

## Préparation pour le recensement des arbres

En cas d'une observation à long terme, pour minimiser les erreurs de mesure dues à la diversité des enquêteurs, il faut rédiger un manuel d'enquête et le faire suivre scrupuleusement. Pour une observation continue sur place, il faut utiliser prioritairement les outils et matériaux que l'on peut trouver sur place

Le recensement des arbres pour REDD-Plus vise à estimer les stocks de carbone. Il faut par conséquent collecter les données nécessaires pour le calcul de l'équation d'allométrie (voir T14) : le diamètre de l'arbre à hauteur d'homme, la hauteur de l'arbre (si nécessaire), l'espèce de l'arbre <sup>3)</sup>. Il faut qu'une équipe d'enquête soit constituée de 2 personnes au minimum, une personne pour mesurer le diamètre ou la hauteur et une personne pour les noter. Il est important de pouvoir s'assurer les services d'un ingénieur apte à identifier les arbres.

Les objets d'observation sont en principe les arbres sur pied (living trees) répondant à un critère (plantes grimpantes exclues). Le critère peut être défini comme un diamètre supérieur à 10 cm à hauteur d'homme. Les bambous et cocotiers ne sont pas toujours exclus du recensement. La décision d'inclure ou non ces espèces problématiques pour la classification en tant qu'espèce de bois (espèces marginales avec pseudo tige ligneuse) devra être prise suivant l'importance de ces espèces sur place.

## Techniques visant à augmenter la précision des mesures

Pour saisir la structure du peuplement forestier de la placette, il suffit de mesurer tous les arbres sur pied existant dans la placette. Mais cette idée est irréaliste par rapport au temps qu'il faut et les travaux à faire. La placette de structure gigogne (nest structure) (cercles concentriques pour la placette en cercle) donne la possibilité d'économiser le temps et les travaux (Figure 13-1). Par exemple, la placette carrée de la figure 13-1 possède 3 carrés de grandeurs différentes (a à c). En donnant à chaque casier un critère de diamètre différent, on économise du temps et les travaux.

### INFO

2) Il y a d'autres informations utiles à vérifier telles que l'histoire des perturbations dans la zone à étudier ou aux alentours de la zone. Par exemple les informations relatives à la coupe d'arbre par les habitants locaux pour faire du bois de chauffage ou l'information concernant les coupes d'arbre sélectives qui ont été faites dans le passé. Les informations concernant l'utilisation du sol est aussi importante comme par exemple le cas où le terrain voisin a été converti en plantation de caoutchouc ou de palmiers à huile.



Figure T13-2 Exemple d'un piquet résistant aux perturbations (piquet en béton)

### INFO

3) Il est aussi important de connaître, outre les stocks de carbone de biomasse végétaux, les stocks de carbone dans les bois morts ou les matières organiques du sol. Dans la présente recette la méthode de mesure de ces carbones n'a pas été abordée. La méthode de mesure est expliquée dans le livre de Ravindranath & Ostwald (2008) et la recette T02 du présent document présente sa méthodologie.

Le procédé de mesure concret est le suivant.

- Enregistrement de la position de l'arbre.
- Attribution d'un numéro d'identification (fixation d'une étiquette).
- Mesure du diamètre à hauteur d'homme.
- Marquage de l'endroit mesuré.
- Identification de l'espèce.
- Mesure de la hauteur de l'arbre (si nécessaire).
- Rédaction des remarques.

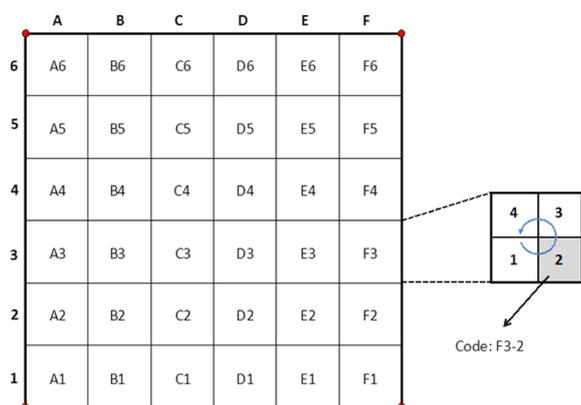


Figure T13-3 Exemple de la subdivision d'une placette  
On donne le code F3-2 au casier gris de la figure droite.

Il faut d'abord enregistrer la position de l'arbre par rapport à la placette. L'ordre de mesure doit être défini à l'avance. Comme la figure T13-3 l'indique, la placette subdivisée en carrés (sub-quadrat) codifiée donne la facilité d'enregistrer clairement la position de chaque arbre.

Il faut définir également l'ordre de mesure par exemple dans le sens opposé aux aiguilles d'une montre à partir du piquet de départ, cela donne une régularité de numérotation et facilite l'identification au moment de la revisite des arbres disparus.

Les numéros donnés aux arbres mesurés devront être uniques. On donne à chaque arbre mesuré un numéro avec une étiquette en aluminium que l'on trouve dans le commerce <sup>4)</sup>. Comme il arrive que l'étiquette disparaisse pour une raison inconnue (y compris le vandalisme), il vaudrait

mieux peindre le numéro directement sur l'arbre ou noter brièvement la position à l'aide des subdivisions codifiées décrites ci-dessus pour le retrouver rapidement à partir de la deuxième visite.

Il faut mesurer le diamètre de l'arbre à 1,3 m à partir du sol. Avant de mesurer le diamètre, il faut vérifier l'état de l'endroit de mesure. Lorsqu'il y a un renflement (swelling) il faut éviter les mesures à cet endroit et lorsqu'il y a des plantes grimpantes il faut enlever autant que possible ces plantes. Lorsque la mesure est faite à un endroit anormal, il faut noter dans la rubrique « remarques » (remarks) du fieldbook tel que "mesure sans grimpante" (measured without climber) ou "mesure déplacée cause renflement" (change measuring position due to swelling) <sup>5)</sup>. Lorsque l'arbre est sur un terrain en pente, il faut mesurer du côté amont de l'arbre et marquer l'endroit mesuré à l'aide de peinture (Figure T13-4).

Avec les racines-contrefort (buttress) il faut être attentif avant de définir l'endroit à mesurer. Il faut exiger de tous les enquêteurs une mesure à 50 cm au dessus des endroits où il n'y a plus d'influence de racines-contrefort. Ces opérations de mesure nécessitant une échelle sont fastidieuses. Mais sans ces opérations rigoureuses, l'estimation des stocks actuels et l'estimation dans le futur seraient erronées et les données obtenues seraient inutilisables. Il faut donc exécuter ces opérations avec

**INFO**

4) Commercialisé par exemple chez Forestry Suppliers avec le nom de Racetrack-Shaped Aluminum Tags.

**INFO**

5) La position de mesure du diamètre à hauteur d'homme est interprétée différemment pour les arbres multi troncs ou les arbres couchés. Pour les exemples concrets, se référer aux livres de Condit (1998) ou celui de Ravindranath& Ostwald (2008).

soin.

Il faut faire aussi attention à l'utilisation des appareils de mesure à hauteur d'homme. Lorsque l'on utilise le compas forestier (caliper), il faut mesurer deux diamètres de façon à ce qu'ils se croisent perpendiculairement et prendre la valeur moyenne des deux diamètres. Quand on utilise le ruban diamétrique (tape measure) il ne faut pas confondre la circonférence à hauteur d'homme (girth at breast height : GBH) et le diamètre à hauteur d'homme (diameter at breast height : DBH). Au moment de l'enregistrement, il faut vérifier quelle valeur a été prise. Pour exécuter les études sur place, il faut unifier les outils et ne pas utiliser le mètre ruban et le compas forestier ou le ruban diamétrique (diameter tape) et le mètre ruban ordinaire en même temps.

Dans la forêt tropicale, les cimes d'arbre ne sont pas très visibles, il est souvent difficile de mesurer la hauteur d'un arbre. Par conséquent, au lieu de mesurer la hauteur de tous les arbres, on établit un échantillonnage en prenant en considération la structure de l'arbre et l'on calcule la hauteur des arbres non mesurés à partir de la courbe de hauteur obtenue par échantillonnage. La définition de la hauteur de l'arbre n'est pas toujours la même. Pour certains ingénieurs c'est la hauteur commerciale (commercial height). Il faut donc vérifier la définition préalablement.

Pour l'identification de l'espèce (species identifying) le point clé est de trouver localement des personnes capables d'identifier les espèces d'arbres. Il est possible d'identifier les espèces d'arbres jusqu'à un certain niveau par des études sur place, mais il est plus précis de prendre un échantillon (specimen) et d'en demander l'identification à un botaniste (botanist) ou faire une autre visite des placettes avec un spécialiste.

### Références

- Condit R (1997) Tropical Forest Census Plots. Springer-Verlag  
 Ravindranath NH, Ostwald M (2008) Carbon Inventory  
 Methods: Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon  
 Mitigation and Roundwood Production Projects. Springer-Verlag  
 Tomppo E, Gschwantner M, Lawrence M, McRoberts RE (2010)  
 National Forest Inventories. Springer-Verlag



Figure T13-4 Exemple d'un marquage clair de l'endroit de mesure (Indonésie).



Figure T13-5 Mesure du diamètre d'un arbre dont la racine-contrefort est développée.

L'endroit présenté par la ligne pointillée est à une hauteur de 1,3 m, mais il est nécessaire de mesurer à l'endroit où il n'y a plus d'influence de la racine contrefort.

## L'analyse des données obtenues par les placettes d'échantillonnage permanentes

La recette précédente correspond à la

Recetta P10 Méthode ayant recours aux placettes d'échantillonnage permanentes

Le stock de carbone retenu par une forêt est considéré comme la moitié de la biomasse de la forêt. Pour estimer le stock de carbone d'une forêt, il faut donc estimer la biomasse de la forêt par équation d'allométrie. La présente recette explique le moyen d'estimer la biomasse avec équation d'allométrie à partir des données obtenues par le recensement des arbres opéré sur les placettes expliquées dans T12 et T13.

### INFO

1) Pour le choix d'une équation allométrique, il faut également tenir compte si nécessaire de l'habitat ou du stade de transition (forêt de basse altitude, forêt de montagne, forêt d'arbuste, forêt secondaire etc.).

### INFO

2) Pour la biomasse souterraine, Cairns et al.(1997) ou Mokany et al.(2006) ont proposé chacun une équations générique. Dans ces équations, la biomasse aérienne (AGB t/ha) est utilisée comme variable indépendante et le résultat de l'estimation est également le poids de biomasse par hectare (t/ha). Comme modèle local, il existe l'équation de Hozumi et al. (1969) pour la forêt sempervirente dans la zone tropicale à rythme saisonnier et l'équation de Niiyama et al. pour la forêt tropicale de basse altitude de diptérocarpacées (2010) qui estiment la biomasse souterraine de chaque plante. qui estiment la biomasse souterraine chaque plante.

## Qu'est ce que l'équation d'allométrie ?

Dans les arbres, certaines parties croissent proportionnellement à d'autres parties. Il est donc possible d'estimer la taille d'une partie d'arbre à partir d'une autre taille connue. Ces relations sont démontrées par l'équation d'allométrie (allometric equation). Grâce à cette équation, on peut estimer à partir d'une taille facile à mesurer (par ex. le diamètre à hauteur d'homme) la hauteur d'arbre ou sa biomasse, qui sont des informations difficiles à obtenir directement.

L'équation d'allométrie reflétant les caractéristiques de croissance propres aux végétaux, le résultat d'estimation varie considérablement selon le type de forêt ou l'environnement. Par conséquent, il est important de choisir l'équation d'allométrie suivant l'environnement ou le type de forêt <sup>1)</sup> (ex. forêt sempervirente, forêt décidue). Actuellement de nombreuses équations d'estimation de la biomasse aérienne (AGB: aboveground biomass) sont proposées. Les connaissances sur la biomasse souterraine (BGB: belowground biomass) commencent à être rapportées <sup>2)</sup>.

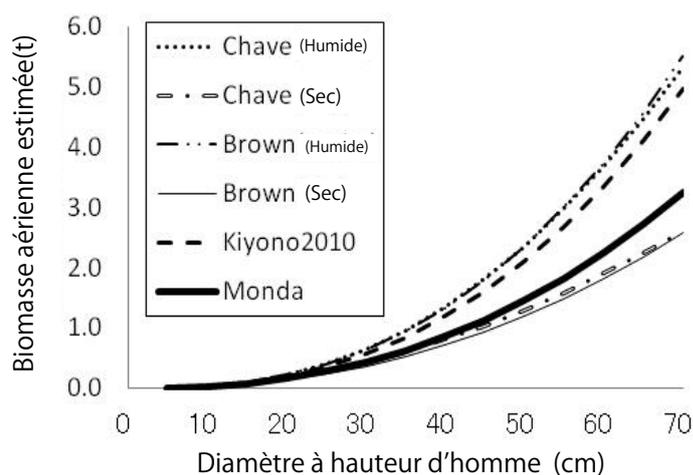


Figure T14-1 Les biomasses aériennes selon les équations d'estimation. La différence de la biomasse aérienne (AGB: aboveground biomass) selon les équations. Se référer à la Figure T14-2 pour les équations et leurs sources. Densité du bois (WD) 0,57 selon Brown, 1997

## Choix de l'équation d'allométrie appropriée à la zone d'études

L'équation d'allométrie doit être choisie parmi celles qui ont le même type de forêt et d'environnement que la zone à étudier, celle qui utilise un point de mesure (voir T13) que l'on peut appliquer sur place continuellement (Figure T14-2) <sup>3)</sup>. Actuellement, on peut trouver l'équation générique <sup>4)</sup> basée sur le modèle générique pour chaque type de forêt à partir des données des arbres du monde entier, l'équation spécifique en fonction des espèces d'arbre du peuplement forestier ou de paysage spécifiques. (Tableau T14-1)

L'équation d'allométrie devra être choisie en principe parmi celles qui sont établies pour le même type de forêt que la zone d'études. Lorsque l'on a le choix d'équations d'allométrie, il convient de substituer aux équations les données de biomasse réelle applicable à la zone d'études, tailles d'arbres (ex. diamètre à hauteur d'homme, hauteur d'arbres), espèces dominantes et de comparer les résultats. Le choix devra être fait selon l'importance de la marge d'erreur d'estimation et sa tendance. S'il y a une corrélation entre l'erreur d'estimation et le diamètre à hauteur d'homme, la forêt de la zone d'études et la forêt de l'équation ne devront pas avoir la même relation allométrique. Dans ce cas, qu'il s'agisse de surestimation ou de sous-estimation, plus grand sera le diamètre de l'arbre, plus grande sera l'erreur d'estimation. Lorsqu'il n'y a pas d'équation convenable, il est souhaitable d'établir une équation d'allométrie appropriée d'après la mesure réelle de la biomasse dans la zone d'études. Par contre, s'il n'y a pas de corrélation entre l'erreur d'estimation et le diamètre de l'arbre mais que la variance est importante, on peut supposer qu'il y a une cohabitation de forêts de types différents dans la zone d'étude. Dans ce cas, il faut revoir le type de forêt en étudiant les espèces d'arbres ou l'environnement. Il faut étudier si nécessaire la subdivision de la forêt. Lorsqu'il y a une erreur d'estimation importante uniquement pour certaines espèces, on peut supposer que ce sont des arbres qui ont une vie différente (ex. arbre de l'étage inférieur) ou des arbres qui ont une relation allométrique différente à cause de leur forme (ex. baobab). Lorsque ces espèces d'arbres sont abondantes et apportent une influence importante à la biomasse, il est souhaitable d'utiliser une équation différente pour ces arbres. Sinon, vu le coût et la performance, on peut accepter ces erreurs comme erreurs inévitables et les laisser telles qu'elles sont.

Item	Equation générique	Equation spécifique pour une essence ou un site
Données de base des équations	Données collectées du monde entier en fonction du type de forêt	Données collectées de l'essence ou du site spécifique
Zone applicable	Applicable si le type de forêt est le même. Applicable pour une région relativement vaste.	Applicable au site ou à l'essence possédant les mêmes données que celles des équations. Région applicable limitée.
Erreur d'estimation	Pour une forêt à laquelle l'équation est applicable, l'erreur est dans l'ordre de petit à moyen.	Pour une forêt à laquelle l'équation est applicable, l'erreur est minime. Pour d'autres forêts, l'erreur est importante.
Traitement à faire lorsque l'erreur est importante	Augmenter le nombre de coefficients reflétant les tailles individuelle (par exemple l'équation reflétant le diamètre à hauteur d'homme et à hauteur d'arbre afin d'obtenir une légère amélioration.)	Lorsque l'équation n'est pas adaptée à la zone d'étude, ne pas l'utiliser.

### INFO

3) Dans l'équation, on prend souvent la densité du bois comme variable indépendante (WD : t/m<sup>3</sup>). La densité de bois utilisée dans les équations correspond à un coefficient du poids par unité de bois de tronc au volume de tronc. En multipliant par ce coefficient le volume obtenu par la mesure du diamètre à hauteur d'homme au moment du recensement des arbres, on parvient à l'estimation de la biomasse. Il faut être attentif au problème d'unité puisqu'il y a des équations qui utilisent la densité du bois en kg/m<sup>3</sup>. La densité du bois est publiée dans GIEC (2003, 2006) ou dans de différentes recherches au niveau espèce ou au niveau genre. Dans la forêt tropicale, il est souvent difficile d'identifier l'espèce des arbres. Dans ce cas, on peut utiliser la valeur de défaut que Brown propose (1997) (Asie 0,57, Amérique 0,60, Afrique 0,58). Il y a des études qui font des recherches sur la densité du bois hors tronc, il faut donc procéder à une vérification avant d'utiliser les chiffres trouvés dans ces études.

### INFO

4) Comme modèle générique, on dispose des équations d'estimation proposées par Brown (1997) ou Chave et al. (2005). Dans l'équation de Brown, la variable est la surface terrière (ba: basal area:cm<sup>2</sup>) dans l'équation de Chave, la densité du bois et le diamètre à hauteur d'homme (WD et DBH) ou la densité du bois, le diamètre à hauteur d'homme et la hauteur d'arbre (WD, DBH, H). Dans ces deux équations, la biomasse aérienne est estimée indépendamment pour chaque arbre.

Tableau T14-1

Caractéristiques de l'équation générique (modèle générique) et de l'équation spécifique (modèle local) générique (ecuación genérica) y el modelo local.

**INFO**

5) Samreth V, Chheng K, Monda Y, Kiyono Y, Toriyama J, Saito S, Saito H, Ito E (2012) Tree biomass carbon stock estimation using permanent sampling plot data in different types of seasonal forest in Cambodia. JARQ 46(2): 187-192

**INFO**

6) Fox JC, Yosi CK, Nimiago P, Oavika F, Pokana JN, Lavong K, Keenan RJ (2010) Assessment of aboveground carbon in primary and selectively harvested tropical forest in Papua New Guinea. Biotropica. 42(4): 410-419

**INFO**

7) Le facteur d'expansion de la biomasse est le coefficient servant à trouver à partir du volume du tronc le volume de l'arbre entier incluant branches, feuilles et racine, et il varie selon le type d'arbre et l'âge du peuplement forestier.

L'estimation des stocks de carbone et biomasse au niveau national à partir de données prises aux placettes d'échantillonnage permanentes a été exécutée au Cambodge <sup>5)</sup> et en Papouasie nouvelle Guinée <sup>6)</sup>. IL faut noter que la biomasse calculée par équation d'allométrie est une valeur de poids à l'état sec. Le stock de carbone est calculé à partir de la biomasse multipliée par 0,5.

Dans le cas de la forêt plantée, l'espèce et l'âge des arbres du peuplement ainsi que l'exploitation étant identiques, on peut supposer que la taille et la croissance des arbres sont constants et on peut utiliser les facteurs d'expansion de la biomasse (BEF Biomass Expansion Factor) <sup>7)</sup> L'équation pour trouver le stock de carbone avec les facteurs d'expansion de la biomasse est la suivante:

$$C = [V \times WD \times BEF] \times (1 + R) \times CF$$

Dans cette équation, *C* est le stock de carbone par unité de surface (t-C/ha), *V* est le volume de bois du peuplement forestier (m<sup>3</sup>/ha), *WD* Densité du bois (t/m<sup>3</sup>) *BEF* le facteur d'expansion de la biomasse, *R* le ratio de la biomasse souterraine par rapport à la biomasse aérienne, *CF* la teneur en carbone.

**Références**

Cairns MA, Brown S, Helmer EH, Baumgardner GA (1997) Root biomass allocation in the world's upland forests. Oecologia 111: 1-11

IPCC (2003) Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IGES <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.htm>

IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use

Mokany K, Raison R, Prokushkin A (2006) Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. Global Change Biology 12: 84-96

Niiyama K, Kajimoto T, Matsuura Y, Yamashita T, Matsuo N, Yashiro Y, Ripin A, Kassim AR, Noor NS (2010) Estimation of root biomass based on excavation of individual root systems in a primary dipterocarp forest in Pasoh Forest reserve, Peninsular Malaysia. J Trop Ecol 26: 71-284

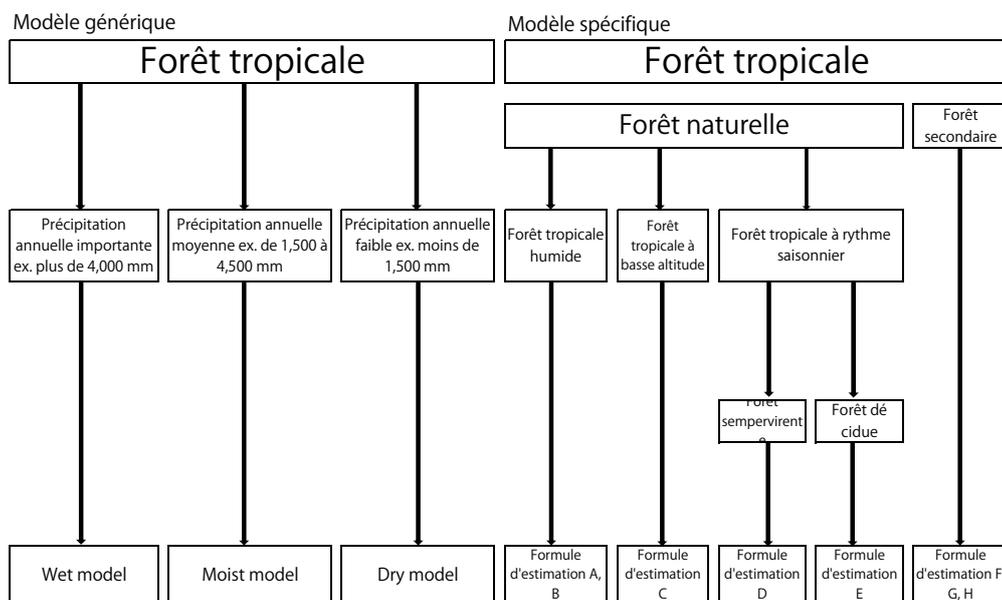


Figure T14-2 Flux d'estimation des équations allométriques

Modèle générique	Type du modèle	Formule d'estimation de la biomasse	Conditions climatiques recommandées		
Equation de Brown	Wet model	$AGB=21.297 - 6.953 \times DBH + 0.740 \times DBH^2$	plus de 4,000mm	pas de saison sèche	
	Moist model	$AGB=\exp(-2.134 + 2.530 \times \ln(DBH))$	1,500-4,500mm	saison sèche inexistante ou courte	
	Dry model	$AGB=\exp(-1.996 + 2.32 \times \ln(DBH))$	moins de 1,500mm	saison sèche de quelques mois	
Equation de Chave	Wet model	$AGB=WD \times \exp(-1.302 + 1.980 \times \ln(DBH) + 0.207 \times (\ln(DBH))^2 - 0.0281 \times (\ln(DBH))^3)$	plus de 3,500mm	pas de saison sèche	Forêt humide à basse altitude
	Moist model	$AGB=WD \times \exp(-1.562 + 2.148 \times \ln(DBH) + 0.207 \times (\ln(DBH))^2 - 0.0281 \times (\ln(DBH))^3)$	1,500-3,000mm	moins de 5 mois	Forêt à basse altitude
	Dry model	$AGB=WD \times \exp(-0.730 + 1.784 \times \ln(DBH) + 0.207 \times (\ln(DBH))^2 - 0.0281 \times (\ln(DBH))^3)$	moins de 1,500mm	plus de 5 mois	saison sèche dure
Equation de Kiyono	Moist model	$Tige=2.39 \times ba^{1.29} \times WD^{1.35}$			
	Moist model	$Branch=0.217 \times ba^{1.26} \times WD^{1.48}$			
	Moist model	$Leaf=173 \times ba^{0.938}$			
Modèle spécifique	Type du modèle	Formule d'estimation de la biomasse	Conditions climatiques recommandées (Région où les données ont été collectées)		
Equation de Yamakura	Formule d'estimation A	$AGB=\exp(-2.30+3.62 \times \ln(DBH))$	Zone tropicale (Bornéo)		
Equation de Chambers	Formule d'estimation B	$AGB=\exp(-2.010+2.55 \times \ln(DBH))$	Amazonie centrale		
Equation de Dojomo	Formule d'estimation C	$AGB=\exp(-2.05+2.33 \times \ln(DBH))$	Forêt tropicale à basse altitude		
Equation de Hozumi	Formule d'estimation D	$Tige=0.072 \times (D^2 H)^{0.9326}$ $Branch=0.01334 \times (D^2 H)^{1.027}$ $Leaf=0.031 \times (D^2 H)^{0.7211}$	Forêt tropicale à rythme saisonnier sempervirente (Cambodge)		
Equation de Monda	Formule d'estimation E	$AGB=0.3510 \times DBH^{2.3855} \times WD^{1.7827}$	Forêt tropicale à rythme saisonnier décidue (Indochine)		
Equation de Kenzo	Formule d'estimation F	$AGB=0.0829 \times DBH^{2.43}$	Forêt secondaire (Sarawak, Malaisie)		
Equation de Ketterings	Formule d'estimation G	$AGB=\exp(-2.75+2.59 \times \ln(DBH))$	Forêt secondaire mixte (Smatra, Indonésie)		
Equation de Hashimoto	Formule d'estimation H	$AGB=\exp(-2.51+2.44 \times \ln(DBH))$	Forêt secondaire où les précurseurs tropicaux sont prioritaires.(Kalimatan Timur, Indonésie)		

\*Chave propose en fonction du type de forêt d'autres modèles qui utilisent les variables indépendantes comme DBH, H ou WD.  
unités : Biomasse (AGB, Tige, Branche, Feuille) : kg/arbre, WD : t/m<sup>3</sup> (Equation de Kiyono kg/cm<sup>3</sup>), DBH : cm, ba : m<sup>2</sup>, D2H : DBH<sup>2</sup>(cm)×H(m)

## Sources des flux d'estimation allométrique de la Figure T14-2

- Brown S (1997) Estimating biomass and biomass change of tropical forests, a primer. FAO Forestry paper No.134. FAO, Rome
- Chambers JQ, Santos J, Ribeiro RJ, Higuchi N (2001) Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*. 152: 73-84
- Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Réra B, Yamakura T (2005) Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*.145:87-99
- Dojomo AN, Knohla A, Gravenhorst G (2010) Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. *Forest Ecology and Management*. 261:1448-1459
- Hashimoto T, Tange T, M asumori M, Yagi H, Sasaki S, Kojima K (2004) Allometric equations for pioneer tree species and estimation of the aboveground biomass of a tropical secondary forest in East Kalimantan. *TROPICS*. 14(1) 123-130
- Hozumi K, Yoda K, Kokawa S, Kira T (1969) Producing ecology of tropical rain forests in southwestern Cambodia I. Plant biomass. *NATURE AND LIFE IN SOUTHEAST ASIA*.VI. 1-51
- Kenzo T, Ichie T, Hattori D, Itoika T, Handa C, Ohkubo T, Kendawang JJ, Nakamura M, Sakaguchi M, Takahashi N, Okamoto M, Tanaka-Oda A, Sakurai K, Ninomiya I (2009) Development of allometric relationships for accurate estimation of above- and below-ground biomass in tropical secondary forests in Sarawak, Malaysia. *Journal of Tropical Ecology*.25:371-386
- Ketterings QM, Coe R, Noordwijk M, Ambagau Y, Palm CA (2001) Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management*. 146:199-209
- Kiyono Y, Furuya N, Sum T, Umeyama C, Ito E, Araki M, Matsumoto M (2010) Carbon stock estimation by forest measurement contributing to sustainable forest management in Cambodia. *JARQ*.44(1):81-92
- Yamakura T, Hagihara A, Sukardjo S, Ogawa H (1987) Tree form in a mixed Dipterocarp forest in Indonesian Borneo. *Ecological Research*.2:215-227

Figure T14-2 Flux d'estimation allométrique (suite)

# 9

## Chapitre 9 Méthode d'estimation au moyen du modèle des stocks de carbone du peuplement forestier



Pour estimer le stock de carbone par unité de surface, on peut utiliser en plus de la méthode de mesure par placettes d'échantillonnage permanentes expliquée dans le chapitre précédent la méthode d'estimation ayant recours à un modèle d'estimation. C'est une technique consistant à estimer le stock de carbone par modèle à l'aide de paramètres mesurés. Pour l'utilisation d'un modèle, comme il est important d'évaluer la précision d'estimation, le présent chapitre explique d'abord ces techniques d'évaluation avec les calculs des frais à engager. Puis il est expliqué les 4 méthodes d'estimation : par la hauteur de l'étage dominant, par l'âge de la communauté, par le diamètre de la canopée et par la canopée d'arbre. Ces méthodes ayant chacune ses limites et leur degré de précision étant différent, leurs caractéristiques sont expliquées ci-après en tant qu'informations de base nécessaires pour le choix de la méthode.

- T15 Élaboration du modèle
- T16 Méthode de la hauteur de l'étage dominant
- T17 Méthode du diamètre de la canopée
- T18 Méthode de l'âge de la communauté
- T19 Méthode du coefficient de rétrodiffusion

## Élaboration du modèle

La recette précédente correspond à la

Recetta P11 Méthodes ayant recours à un modèle d'estimation des stocks de carbone du peuplement forestier

Il est possible qu'il soit plus rentable d'estimer indirectement le stock de carbone par des paramètres ayant rapport avec ce dernier et faciles à mesurer plutôt que d'estimer directement le stock de carbone forestier par unité de surface au moyen des placettes d'échantillonnage permanentes. Quand on prend ce moyen indirect, il faut modéliser la relation statistique des paramètres et le stock de carbone forestier puis planifier la combinaison optimale des opérations de mesure des paramètres et la mesure directe du stock de carbone tout en prenant en considération le budget et le degré de précision. Ceci est une méthode appelée l'échantillonnage double (double sampling). Le présent chapitre explique l'aperçu du concept de l'échantillonnage double en prenant en compte les frais encourus et le résultat d'estimation pour donner un cadre aux estimations statistiques de stocks de carbone par un modèle tel que T16~T19 et attire l'attention sur les précautions à prendre au niveau des enquêtes de terrain.

### Echantillonnage double

La méthode de placettes d'échantillonnage permanentes (voir P10 du chapitre 8) estime la valeur moyenne du stock de carbone par unité de surface et la variance uniquement à partir des études de placettes prises en échantillon. Mais la forêt est vaste, difficile d'accès et il faut du temps et de l'argent pour mener une enquête de terrain. Il arrive même qu'il soit impossible d'accéder à la forêt à cause du manque d'infrastructure ou de problèmes de sécurité. En raison de ces problèmes, il est difficile dans certains pays de mettre en œuvre sans accroc la méthode de placettes d'échantillonnage permanentes. On utilise alors des paramètres facilement mesurables en relation avec le stock de carbone ou mesurables sans se rendre sur place et l'estimation est effectuée indirectement en modélisant les paramètres et le stock de carbone. Cette méthode est la technique dite de "l'échantillonnage double (double sampling)".

Dans l'opération de l'échantillonnage double, on exécute les mesures à chaque phase. Pour la première phase, on effectue des mesures moins précises mais simples et qui génèrent peu de frais. Le stock de carbone ne pouvant pas être mesuré directement, on mesure les paramètres mesurables en relation statistique avec le stock de carbone. Ce sera par exemple la méthode de la hauteur de l'étage dominant (voir T16), la méthode du diamètre de la canopée (voir T17), la méthode de l'âge de la communauté (voir T18) ou la méthode du coefficient de rétrodiffusion T19). Pour la 2e phase, on effectue des mesures précises et plus onéreuses sur quelques unités d'échantillon collectées à la première phase. Dans ce chapitre les mesures précises sont les mesures à exécuter en recensement d'arbres de placettes.

Même au cas où les méthodes T16~T19 seraient opérationnelles, elles ne sont pas forcément meilleures que la méthode des placettes d'échantillonnage permanentes au niveau de la précision et des frais à engager. Pour comparer les méthodes, il faut évaluer la précision et les frais pour chacune. Lorsqu'on ne peut obtenir ces

estimations par des exemples réels, il faut effectuer des estimations en utilisant des études faites pour des cas similaires ou exécuter des essais à petite échelle pour obtenir les bases d'estimation.

### Estimation indirecte des stocks de carbone forestier à l'aide du modèle de régression

Pour la première phase, on extrait de la population un échantillon de taille  $n_1$  et mesure un paramètre  $x$  facilement mesurable (par exemple la hauteur de l'étage dominant). Pour la deuxième phase, on extrait de l'échantillon de la première phase un échantillon de taille  $n_2 (< n_1)$  et on mesure le stock de carbone par l'enquête de terrain (mesures par le recensement d'arbre de la placette). Lorsqu'il  $\mathcal{Y}$  a une corrélation linéaire entre  $x$  et  $y$ , soit  $\bar{y}$  la moyenne de  $y$  de la population, la valeur d'estimation  $\bar{y}_{tr}$  est obtenue par l'équation suivante :

$$\bar{y}_{tr} = \bar{y}_2 + b(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \quad (\text{T15-1})$$

Dans cette équation,  $\bar{x}_1$  et  $\bar{x}_2$  sont respectivement la moyenne  $x$  de la première phase et de la deuxième phase,  $\bar{y}_2$  est la moyenne de  $y$  du deuxième échantillon,  $b$  est le coefficient de régression de  $x$  à  $y$ ,  $b = \widehat{cov}(x, y) / \widehat{var}(x)$ ,  $\widehat{cov}(x, y)$  est covariance de  $x$  et  $y$ ,  $\widehat{var}(x)$  est la variance de  $x$ , il est mieux d'utiliser  $\widehat{var}(x)$  de l'échantillon de la première phase.

Alors,  $\widehat{var}(\bar{y}_{tr})$ , la variance de  $\bar{y}_{tr}$  est obtenue par la formule approximative suivante :

$$\widehat{var}(\bar{y}_{tr}) \cong \frac{\widehat{var}(y)(1 - \hat{\rho}_{xy}^2)}{n_2} + \frac{\widehat{var}(y)\hat{\rho}_{xy}^2}{n_1} \quad (\text{T15-2})$$

Dans cette équation,  $\widehat{var}(y)$  est la variance de  $y$ ,  $\hat{\rho}_{xy}^2$  est le coefficient de détermination entre  $x$  et  $y$  et est, trouvé par l'équation  $\hat{\rho}_{xy}^2 = \widehat{cov}(x, y)^2 / (\widehat{var}(x)\widehat{var}(y))$

### Évaluation de la précision et des frais générés

La précision de l'estimation des stocks de carbone forestier est basse lorsque la dispersion des valeurs mesurées à chaque unité d'échantillon est importante. Par contre, la précision augmente lorsqu'il y a plus d'unités d'échantillonnage. Mais cela fait augmenter les frais d'échantillonnage. On peut alors estimer la meilleure combinaison d'échantillonnages de première et de deuxième phase afin d'obtenir une meilleure précision dans les limites du budget. D'autre part on peut étudier la combinaison de la méthode de placettes et de la méthode ayant recours au modèle et comparer les modèles au niveau frais pour la même précision afin de vérifier que le

choix adopté est justifiable.

Soit  $c_1$  les frais pour une unité d'échantillonnage de la première phase (on mesure  $x$ ) et  $c_2$  ( $c_2 > c_1$ ) les frais de la deuxième phase (on mesure  $y$ ), on obtient le total des frais  $c$  par l'équation suivante :

$$c = n_1 c_1 + n_2 c_2 \tag{T15-3}$$

Dans le cas de l'estimation par l'échantillonnage double, si  $c_1$  et  $c_2$  sont les conditions données et que  $c$  est constant,  $n'_1$  et  $n'_2$  qui minimisent l'équation T15-2 et sa variance  $\widehat{var}'(\bar{y}_{tr})$  sont obtenues par les équations suivantes :

$$n'_1 = \frac{c}{c_1 + c_2 \sqrt{\frac{c_1(1 - \hat{\rho}_{xy}^2)}{c_2 \hat{\rho}_{xy}^2}}}, \quad n'_2 = \frac{c}{c_1 \sqrt{\frac{c_2 \hat{\rho}_{xy}^2}{c_1(1 - \hat{\rho}_{xy}^2)}} + c_2} \tag{T15-4}$$

$$\widehat{var}'(\bar{y}_{tr}) = \widehat{var}(y) \frac{\left( \sqrt{c_2(1 - \hat{\rho}_{xy}^2)} + \sqrt{c_1 \hat{\rho}_{xy}^2} \right)^2}{c} \tag{T15-5}$$

D'autre part, dans le cas de d'échantillonnage simple aléatoire (la méthode de placettes d'échantillonnage permanentes) au lieu de l'échantillonnage double,  $n_1 = 0$  donc  $n_2 = c / c_2$  parce  $n_1$  et la variance  $\widehat{var}'(\bar{y}_{tr})_{PSP}$  sont obtenus par les équations suivantes :

$$\widehat{var}'(\bar{y}_{tr})_{PSP} = \widehat{var}(y) \frac{c_2}{c} \tag{T15-6}$$

Si  $\widehat{var}'(\bar{y}_{tr}) < \widehat{var}'(\bar{y}_{tr})_{PSP}$ , la méthode de l'échantillonnages double donne une meilleure précision pour le même budget  $c$ . Par conséquent, si  $\hat{\rho}_{xy}^2$  est connu et:

$$\frac{c_2}{c_1} > \frac{(1 + \sqrt{1 - \hat{\rho}_{xy}^2})^2}{\hat{\rho}_{xy}^2} \tag{T15-7}$$

Alors il faut choisir la méthode d'estimation au moyen de la modélisation. Et si  $c_1$  et  $c_2$  sont les conditions données et que:

$$\hat{\rho}_{xy}^2 > \frac{4c_1 c_2}{(c_1 + c_2)^2} \tag{T15-8}$$

Si l'inéquation ci-dessus n'est pas possible, il ne faut pas opter pour la méthode d'estimation à l'aide de cette modélisation.

La figure T15-1 montre les évolutions d'erreur de l'échantillonnage double (2 scénarios RS1 et RS2) par télédétection par rapport aux erreurs des résultats d'échantillonnage par les placettes seules (PSP). Avec la méthode de l'échantillonnage double, les erreurs peuvent se réduire mais la réduction est limitée si  $\hat{\rho}_{xy}^2$  est petit.

## Éléments à prendre en compte pour l'application de la modélisation à la forêt

Dans une forêt réelle surtout dans une forêt de régénération naturelle qui n'est pas régulière le coefficient  $\hat{\rho}_{xy}^2$  n'est pas important et il n'est pas étonnant qu'il soit même aux environs de 0,4. Au contraire il n'arrive pratiquement jamais qu'il soit supérieur à 0,9. Si une valeur aussi importante apparaît, il faut songer à une anomalie du modèle due à la conversion de variable non appropriée ou au mélange d'unités d'échantillonnage non pertinentes <sup>1)</sup>.

D'autre part, pour la mesure des paramètres par télédétection, nombre de facteurs tels que les conditions d'observation ont des incidences complexes et peuvent avoir pour conséquence l'instabilité de la valeur d'estimation.

Selon les caractéristiques des modèles ci-dessus, il est nécessaire d'élaborer le modèle le plus simple possible et vérifier, avant de passer à l'exécution, qu'il est conforme aux critères de précision et de budget expliqués à la section précédente.

### INFO

1) Köhl M, Magnussen SS, Marchetti M (2006) Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multiresource Forest Inventory. Springer-Verlag

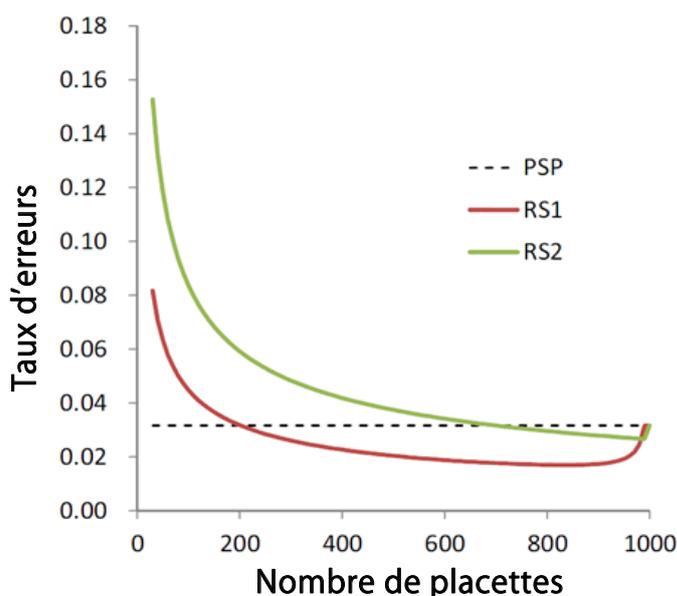


Figure T15-1 Variation d'erreur de l'échantillonnage double

Les courbes montrent les évolutions d'erreurs de l'échantillonnage double (2 scénarios RS1 et RS2) par télédétection par rapport aux erreurs des résultats d'échantillonnage par placettes seules (PSP). Comme données d'exemple, le budget global est de 10 millions de yens et le coût pour une placette  $c_2$  (PSP) est de 10 mille yens. Dans le cas de RS1,  $c_1$  est 100 yens,  $\hat{\rho}_{xy}^2$  0,8 et dans le cas de RS2,  $c_1$  1 yen,  $\hat{\rho}_{xy}^2$  0,3. L'axe vertical est le ratio de l'erreur d'une placette à l'erreur totale. Le nombre maximal de placettes est de 1000 et la ligne en pointillé montre le rapport d'erreur au moment où 1000 placettes sont mises en œuvre.

## Méthode de la hauteur de l'étage dominant

La recette précédente correspond à la

Recetta P11 Méthodes ayant recours à un modèle d'estimation des stocks de carbone du peuplement forestier

La méthode de la hauteur de l'étage dominant est un moyen d'estimer le stock de carbone par unité de surface en utilisant la relation de proportionnalité entre la hauteur de l'étage dominant et la biomasse. La méthode de la hauteur de l'étage dominant peut être appliquée pour estimer la quantité de biomasse d'un peuplement forestier perturbé jusqu'au peuplement mature. Dans cette recette on expose l'aperçu de la méthode de la hauteur de l'étage dominant et ses problèmes ainsi que la méthode de mesure de la hauteur par télédétection.

### INFO

1) Mascaro J, Asner GP, Muller-Landau HC, BreugelMV, Hall J, Dahlin K (2011) Controls over aboveground forest carbon density on Barro Colorado Island, Panama. *Biogeosciences* 8: 1615-1629

### INFO

2) Saatchi SS, Harris NL, Brown S, Lefsky M, Mitchard ETA, Salas W, Zutta BR, Buermann W, Lewis SL, Hagen S, Petrova S, White L, Silman M, Morel A (2011) Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *PNAS* 108: 9899-9904

### INFO

3) Il y a plusieurs définitions pour la hauteur de l'étage dominant (appelée également « hauteur du peuplement » forestier) Pour une forêt équienne comme la forêt artificielle de conifères, on utilise une moyenne arithmétique, mais pour une forêt inéquienne telle que la forêt naturelle, on utilise la hauteur moyenne ou moyenne pondérée des arbres constituant la canopée. Pour élaborer l'équation de la hauteur de l'étage dominant et la biomasse, il faut bien étudier le moyen qu'on utilisera pour mesurer la hauteur.

### La relation entre la hauteur de l'étage dominant et la biomasse

Il a été rapporté <sup>1),2)</sup> qu'il y a une relation de fonction exponentielle entre la hauteur de l'étage dominant <sup>3)</sup> et la biomasse (Figure T16-1). La méthode d'hauteur de l'étage dominant est une méthode qui utilise cette relation et estime les stocks de carbone par unité de surface à partir de la hauteur de l'étage dominant pour chaque parcelle forestière.

Exemple concret : à l'île de Barro Colorado de Panama, on a mesuré la hauteur de l'étage dominant (valeur médiane dans cet exemple) de carrés de 30 ~ 100 m par LiDAR aéroporté et estimé le stock de carbone de l'île entière à l'aide des fonctions relationnelles de la hauteur de l'étage dominant et la biomasse aérienne <sup>2)</sup>. Exemple de l'utilisation de LiDAR satellitaire : Ils ont estimé les stocks de carbone de toutes les forêts tropicales de la Terre avec une résolution de 1 Km<sup>2</sup> par la hauteur moyenne pondérée de la surface terrière <sup>3)</sup>. Si on peut connaître la hauteur de l'étage dominant par la technique de télédétection, la méthode de la hauteur de l'étage dominant pourrait être un des moyens d'estimer les stocks de carbone d'une vaste région.

### Mesure de la hauteur de l'étage dominant par télédétection

Comme moyen de télédétection, il y a LiDAR par avion, LiDAR satellitaire, l'image stéréogramme.

Dans le cas de LiDAR (Light Detection And Ranging) par avion, on déduit de la la MNS (Modèle Numérique de Surface) qui indique la hauteur de la canopée, le MNT (Modèle Numérique de Terrain) qui indique la hauteur du sol et estime la différence comme hauteur de l'étage dominant. Le système de LiDAR sur avion est onéreux et il est difficile de généraliser le résultat en dehors de la zone d'étude mais il peut être appliqué pour estimer les stocks de carbone d'un peuplement forestier large.

Comme LiDAR satellitaire, il existe GLAS (Geoscience Laser Altimeter System) monté sur un satellite d'observation de la Terre ICESat (Ice, Cloud and Land Elevation Satellite). L'observation par GLAS est faite par intervalle avec un vide de 170 m, il faut disposer des données de plusieurs satellites pour avoir des informations concernant

la hauteur de l'étage dominant sur une surface continue.

A partir de l'image satellitaire à haute résolution <sup>5)</sup> ou des images stéréoscopiques aériennes, on peut faire des images du sol en 3D <sup>4)</sup>. On compte qu'on arrivera à l'aide de ces images à extraire l'information concernant la hauteur de l'étage dominant.

## Éléments influençant l'estimation de la hauteur de l'étage dominant

Dans l'exemple de l'estimation des stocks de carbone de toutes les forêts tropicales de la Terre par la méthode de la hauteur de l'étage dominant, on a élaboré une équation entre la biomasse et la hauteur de l'étage dominant sur la base des données obtenues par les placettes d'échantillonnage permanentes dans différentes forêts, mais on n'a pas différencié les équations selon le type de forêt <sup>6)</sup>. Dans les autres études non plus les équations ne sont pas clairement différenciées selon le type de forêt (forêt sèche, forêt de tourbières) ou l'étape de transition (forêt secondaire ou forêt mature) <sup>1)</sup>. Par contre la relation entre la biomasse et la hauteur de la forêt de bambous est différente de celle de la forêt d'arbres, il est donc nécessaire d'élaborer une équation spécifique aux bambous.

Pour améliorer la précision de l'estimation de stocks de carbone par la hauteur de l'étage dominant, le point clé est d'obtenir beaucoup de données par les placettes d'échantillonnage et d'élaborer avec ces données les équations de la biomasse et la hauteur de l'étage dominant. Autrement dit, lorsqu'il n'y a pas de données d'enquête de terrain, l'estimation des stocks de carbone obtenue par la méthode de la hauteur de l'étage dominant risque de ne pas avoir un degré de précision suffisant. Le degré de résolution de la télédétection peut influencer également la précision de l'estimation. Avec les valeurs estimées qu'on peut obtenir par LiDAR satellitaire avec un maillage de 1 Km<sup>2</sup>, on peut étudier grossièrement la distribution des stocks de carbone au niveau de la Terre, mais on suppose que dans beaucoup de cas, avec ces informations, il est difficile de saisir l'état de déboisement au niveau du pays.

Le choix de l'équation d'allométrie est aussi important pour le calcul de la biomasse. Si une nouvelle équation d'allométrie est publiée pour la zone qui est l'objet de l'analyse, il est nécessaire d'élaborer une nouvelle formule en utilisant cette équation d'allométrie.

### INFO

4) Dans le cas de l'étude mentionnée en INFO 3), on estime la hauteur de l'étage dominant à l'aide de la méthode d'entropie maximum avec les données obtenues par GLAS, MODIS, SRTM et diffusomètre à micro-ondes (QSCAT). Mais MODIS et QSCAT n'ayant qu'une résolution médiocre, leur estimation est basée sur le maillage de 1 Km<sup>2</sup>.

### INFO

5) Le capteur PRISM monté sur la satellite d'observation de terre avancé Daichi (ALOS) peut observer presque en même temps la vue du haut, vers l'avant et vers l'arrière (terminé en avril 2011). Pour les images satellitaires de haute résolution telle Worldview, IKONOS, on peut acheter les images stéréoscopiques de l'endroit voulu.

### INFO

6) Dans les études mentionnées en INFO 3), l'équation utilisée n'est pas la même pour les continents (Asie de sud-est, Amérique sud, Afrique). Mais l'équation n'est pas différenciée par type de forêt.

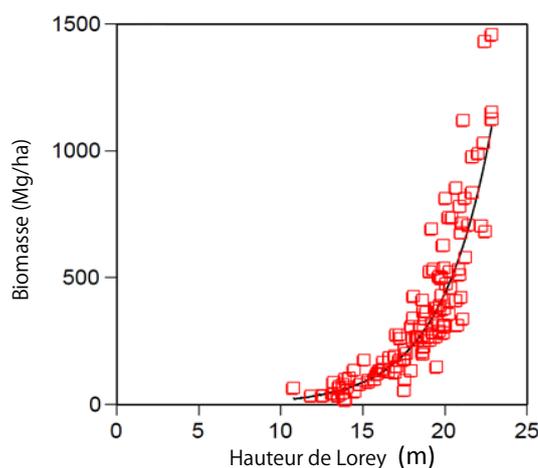


Figure T16-1 Relation de la biomasse et de la hauteur d'arbres moyenne pondérée de la surface terrière (Lorey's height).

## Méthode du diamètre de la canopée

La recette précédente correspond à la

Recetta P11 Méthodes ayant recours à un modèle d'estimation des stocks de carbone du peuplement forestier

La méthode du diamètre de la canopée consiste à estimer les stocks de carbone par unité de surface à l'aide des informations relatives au diamètre de la canopée mesurable obtenues par photos aériennes ou les données satellitaires de haute résolution. La biomasse d'un arbre augmente proportionnellement à la taille de la canopée (le diamètre ou la superficie de la canopée). Pour estimer les stocks de carbone par unité de surface, on peut estimer la biomasse de chaque arbre à partir du diamètre de sa canopée et faire la somme des biomasses. Mais pour un peuplement qui a de multiples étages, on ne peut pas observer directement les arbres des étages moyens et bas. Il est proposé donc d'estimer les stocks de carbone d'unité de surface incluant les arbres des étages moyens et bas à partir de la taille de la canopée d'arbres de l'étage le plus haut que l'on peut observer. La nécessité étant de pouvoir reconnaître la canopée, on peut utiliser cette méthode pour les futaies et les forêts ouvertes mais cette méthode n'est pas adaptée aux forêts secondaires jeunes ni aux forêts de bambous.

### INFO

1) Dans le présent chapitre le diamètre de la canopée signifie globalement la taille de la canopée (diamètre et superficie inclus) et la méthode de diamètre de canopée signifie méthode consistant à estimer la biomasse couverte par la canopée.

### INFO

2) Kiyono Y, Saito S, Takahashi T, Toriyama J, Awaya Y, Asai H, Furuya N, Ochiai Y, Inoue Y, Sato T, Sophal C, Sam P, Tith B, Ito E, Siregar CA, Matsumoto M (2011) Practicalities of non-destructive methodologies in monitoring anthropogenic greenhouse gas emissions from tropical forests under the influence of human intervention. *JARQ* 45(2): 233–242

### INFO

3) Cela dépend également de la possibilité d'utilisation des informations concernant la couleur, l'époque de la prise d'image, de la possibilité d'utilisation des images stéréoscopiques permettant la reconnaissance de la hauteur, de la structure des étages, des canopées voisine etc.

### INFO

4) Broadbent EN, Asner GP, Marielos Peña-Claros, Palace M, Soriano M (2008) Spatial partitioning of biomass and biodiversity in a lowland Bolivian forest: Linking field and remote sensing measurement. *For Ecol Manage* 255: 2602-2616

### Qu'est-ce que la méthode du diamètre de la canopée ? <sup>1)</sup>

La biomasse d'un arbre augmente proportionnellement à la taille de la canopée (diamètre ou superficie de la canopée) <sup>2)</sup>. On peut mesurer le diamètre des arbres de l'étage supérieur par des photos aériennes ou des images prises par des satellites de haute résolution au sol. Le diamètre des canopées mesurables dépend, entre autres de la résolution au sol des images de la télédétection <sup>3)</sup>.

La méthode du diamètre de la canopée consiste à estimer les stocks de carbone à l'aide des informations relatives au diamètre de la canopée. Le diamètre des canopées mesurables est ceux des arbres de l'étage supérieur. Les arbres des étages moyens ou bas qui sont couverts entièrement ou partiellement par les arbres de l'étage supérieur ou les arbres de la forêt secondaire dont la canopée est réduite ne peuvent pas être mesurés directement. Il est donc proposé d'estimer les stocks de carbone incluant les arbres des étages moyens et bas à partir de la taille de la canopée d'arbres de l'étage supérieur <sup>4)</sup>, <sup>5)</sup>. Lorsqu'il y a abattage d'un arbre de l'étage supérieur possédant une grande canopée, on le capte par les images antérieures et postérieures dans le temps <sup>6)</sup> et on effectue directement l'estimation par la mesure de la canopée des images antérieures.

### Élaboration des équations du diamètre de la canopée et la biomasse

Il n'est pas facile de mesurer le diamètre de la canopée dans la forêt. Par conséquent, dans la pratique, il est souhaitable d'élaborer des équations entre le diamètre de la canopée mesurable sur l'image de télédétection et la biomasse. La courbe hauteur/diamètre étant différente pour chaque type de forêt, il vaudrait mieux élaborer ces équations du diamètre de la canopée et la biomasse pour chaque type de forêt. La structure des étages est également différente pour chaque type de forêt et même pour chaque étape de transition du même type de forêt, il faut différencier

les forêts par type avant d'appliquer la méthode du diamètre de la canopée sauf dans le cas où une équation indépendante du type de forêt pourrait être appliquée. Il est nécessaire d'estimer le volume des arbres morts naturellement à l'aide des données obtenues à l'issue d'une longue observation par les placettes d'échantillonnage permanentes (PSP).

### Éléments à prendre en compte pour l'application de la méthode du diamètre de la canopée

La méthode du diamètre de la canopée est adaptée aux futaies et aux forêts ouvertes mais elle n'est pas adaptée aux forêts secondaires jeunes ni aux forêts de bambous. La canopée ayant une structure en 3D, il est souhaitable de faire la mesure tridimensionnelle à l'aide d'images stéréoscopiques ou des images avec ortho-rectification précise <sup>7)</sup>.

La canopée d'un grand arbre peut être détériorée à cause de la foudre ou des intempéries, ce qui entraîne une sous-estimation de la biomasse. Il arrive d'autre part que l'on considère par erreur la canopée constituée par plusieurs arbres comme canopée d'un seul arbre (surestimation) ou les branches d'une canopée comme plusieurs troncs (sous-estimation). Ce sont des facteurs d'erreur d'estimation <sup>8)</sup>. Il est difficile de distinguer un arbre mort naturellement et un arbre abattu mais on peut établir des hypothèses selon l'état du pourtour <sup>9)</sup>. Mais avec la méthode du diamètre de la canopée, on ne peut pas capturer la coupe des arbres de l'étage inférieur faite par exemple pour faire des buches.

Comme la méthode du diamètre de la canopée utilise les données de télédétection de haute résolution les coûts d'opération ont tendance à devenir importants. D'autre part, cette technique a l'avantage de permettre les mesures à des endroits difficiles d'accès et dans de multiples endroits, ce qui nous permet de saisir la différence spatiale des stocks de carbone.

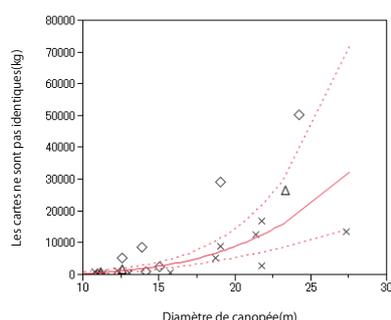


Figure T17-1 Rapport de la canopée et la biomasse d'un arbre (Figure constituée à partir de l'étude de Kiyono et al. <sup>2)</sup>)

(◇ : Indonésie (Kalimantan),  
△ : Cambodge, × : Indonésie (Java))



Figure T17-2 Canopées en polygone extraites de photos aériennes numériques par mesure stéréoscopique

(Cambodge, Province de Kampong Thom, Forêt sèche de dipterocarp)

#### INFO

5) Les arbres de l'étage supérieur ont en général une part importante de la biomasse totale. En outre, le diamètre de la canopée des arbres de l'étage supérieur est un des indices qui indiquent l'étape du développement du peuplement.

#### INFO

6) See, for example, Win RN, Suzuki R, Takeda S (2012) Remote sensing analysis of forest damage by selection logging in the Kabaung Reserved Forest, Bago Mountains, Myanmar. J For Res 17: 121-128

#### INFO

7) Beaucoup de satellites commerciaux possèdent la fonction de pointage afin de multiplier la possibilité d'obtenir des images et effectuent des observations en biais. Dans ces images, la canopée prise en biais est considérablement déformée et même l'ortho-rectification faite avec les DEM précises (information géographique) ne peut pas la récupérer. Donc cette observation n'est pas appropriée pour la mesure des canopées. Dans le cas des photos aérienne, il faut mesurer le diamètre de la canopée à l'aide d'images prises perpendiculairement et dans le cas des images satellitaires, il faut utiliser les images prises avec un angle de pointage réduit.

#### INFO

8) La densité du bois influence également l'estimation de la biomasse, mais avec les images de télédétection, il est encore actuellement techniquement impossible de connaître précisément les essences d'arbres, et il est nécessaire d'opérer une simplification et de prendre une valeur constante comme densité ou supposer une valeur pour chaque type de forêt.

#### INFO

9) La tala selectiva puede ser indicada por la detección de áreas donde muchos árboles han sido cortados, o por la identificación de rastros por donde lo árboles han sido arrastrados.

## Méthode de l'âge de la communauté

La recette précédente correspond à la

Recetta P11 Méthodes ayant recours à un modèle d'estimation des stocks de carbone du peuplement forestier

Pour un terrain exploité en cycle de récolte, jachère, régénération puis à nouveau récolte, l'âge de la communauté <sup>1)</sup> peut être un indice pour estimer les stocks de carbone retenus par cette communauté. Dans la présente recette, on présente un aperçu de la méthode et les limites d'application de la méthode de l'âge de la communauté pour estimer les stocks de carbone.

### INFO

1) Concernant un terrain dédié à l'agriculture sur brûlis, on prend comme indice le nombre d'années qui ont suivi la récolte, c.-à-d. le nombre d'années en jachère.

### INFO

2) Inoue Y, Qi J, Olios A, Kiyono Y, Ochiai Y, Horie T, Asai H, Saito K, Shiraiwa T, Douangsavanh L (2007) Traceability of slash-and-burn land-use history using optical satellite sensor imagery: a basis for chronological assessment of ecosystem carbon stock in Laos. *Int J Rem Sens* 28: 5641-5648

### INFO

3) Inoue Y, Kiyono Y, Asai H, Ochiai Y, Qi J, Olios A, Shiraiwa T, Horie T, Saito K, Douangsavanh L (2010) Assessing land-use and carbon stock in slash-and-burn ecosystems in tropical mountain of Laos based on time-series satellite images. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 12: 287-297

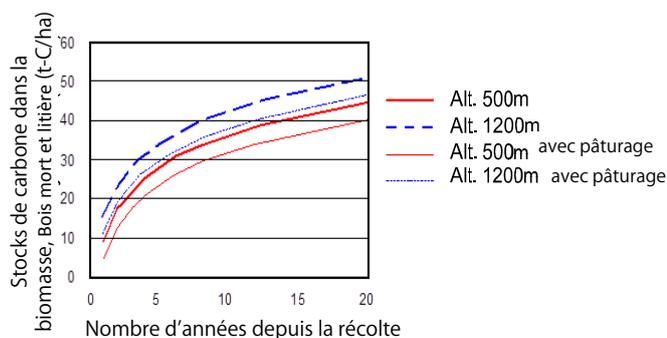


Figure T18-1 Rapport entre le nombre d'années de jachère et les stocks de carbone

(Kiyono et al. (2008) <sup>3)</sup> modifié partiellement)

## Qu'est-ce que la méthode de l'âge de la communauté ?

Dans le cas de l'agriculture sur brûlis ou de la forêt artificielle, la terre est mise en jachère après la récolte puis régénérée lentement pour retourner à l'état d'avant la récolte. Lorsque le terrain est exploité selon ce type de cycle, il est possible d'estimer les stocks de carbone par l'âge de la communauté.

D'autre part, comme on peut trouver les surfaces des communautés de même âge à l'aide des images satellitaires en série temporelle <sup>2)</sup>, on peut les multiplier par le stock de carbone d'unité surface et trouver les stocks de carbone <sup>3)</sup>. On peut d'autre part évaluer la dégradation de la forêt due au raccourcissement de la période de jachère et estimer la variation des stocks de carbone lorsque la forêt est transformée en terrain agricole dédié aux plantes vivaces telles les plantations d'arbres à latex ou de palmiers à huile.

## Élaboration des équations à l'aide d'enquête de terrain

Le rapport entre la période de jachère après l'agriculture sur brûlis (nombre d'années de jachère) et les stocks de carbone a été analysé au Laos septentrional et au Vietnam septentrional <sup>4)</sup>. Dans cette étude les stocks de carbone augmentent beaucoup au début de la mise en jachère mais ensuite l'augmentation stagne (Figure T18-1).

Pour estimer les stocks de carbone par la méthode de l'âge de la communauté,

il faut mener une enquête de terrain pour trouver les stocks de carbone de chaque communauté d'âge différent et élaborer les équations. Il faut donc installer des placettes d'échantillonnage dans une parcelle objet d'étude et lorsque les plantes herbacées sont dominantes comme au début de la mise en jachère, on coupe toutes les plantes (cutting method) <sup>5)</sup>, <sup>6)</sup> et on les pèse pour trouver le poids total qui sera ensuite converti en poids de carbone. Lorsque les plantes ligneuses deviennent dominantes, on fait le recensement des arbres

ordinaires (tree census) et on calcule les stocks de carbone.

La régénération après l'agriculture sur brûlis varie selon les perturbations exercées ou l'environnement comme l'altitude. Par exemple dans le cas du Laos septentrional, la régénération des stocks de carbone dans les terrains en jachère (fallow land) varie soit selon l'altitude (à la montagne ou dans le bassin) soit par la présence de pâturage pour les animaux <sup>2)</sup> (Figure T18-1). Comme on le constate avec ces exemples, il faut prendre en considération lors de l'enquête sur le terrain le mode d'utilisation de la terre en jachère et collecter les paramètres nécessaires à l'élaboration des équations.

## Avantages et inconvénients de la méthode de l'âge de la communauté

On peut appliquer cette méthode dans la zone où la terre est gérée par la communauté locale et il n'y a normalement pas de changement de végétaux. Autrement dit, la terre est exploitée suivant un certain cycle et la terre arrive à être divisée en mosaïque (Figure T18-2). Lorsque ces conditions sont remplies, on peut collecter les données de terrain relativement facilement. Ce qui est important est de connaître toutes les informations concernant le terrain mis en jachère. Pour cela il faut vérifier au moins une fois par an l'utilisation des terres.

Quand on applique la méthode de l'âge de la communauté à une vaste échelle (au niveau national ou infranational), il faut élaborer plusieurs équations en fonction de la différence de mode d'emploi du terrain en jachère (autorisation ou non du pâturage dans la parcelle ou la différence d'essences d'arbres plantés après la coupe). Le volume d'émission à cause de l'abattage ou de la collecte de bûches ne peut pas être connu par la méthode de l'âge de la communauté. Lorsque l'abattage ou la collecte de bûches sont fréquents, il faut faire une autre campagne pour connaître le volume de bois ainsi sorti de la forêt.

### Références

Condit R (1997) Tropical Forest Census Plots. Springer-Verlag

### INFO

4) Do TV, Osawa A, Thang NT (2010) Recovery process of a mountain forest after shifting cultivation in Northwestern Vietnam. *For. Ecol. Manage.* 259: 1650-1659

### INFO

5) Méthode consistant à mesurer le poids sec total des plantes herbacées se trouvant dans une surface (exemple : 1m<sup>2</sup>). C'est une méthode utilisée principalement pour mesurer le volume existant dans les prairies. Pour le moyen de mesure et les matériels nécessaires, voir INFO 7).

### INFO

6) Mannerje L.'t (2000) Measuring biomass of grassland vegetation. In: *Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research*. Mannerje L.'t, Jones RM (ed.) CABI Publishing Univ Press, Cambridge, 151-177



Figure T18-2 Traces de l'agriculture sur brûlis en mosaïque selon l'année de mise en jachère différente au Laos septentrional (photo Naoyuki Furuya).

## Méthode du coefficient de rétrodiffusion

La recette précédente correspond à la

Recetta P11 Méthodes ayant recours à un modèle d'estimation des stocks de carbone du peuplement forestier

Le radar à synthèse d'ouverture (RSO/SAR) monté sur satellite permet d'observer la surface terrestre. Le coefficient de rétrodiffusion <sup>1)</sup> que le RSO capte est en corrélation avec la biomasse se trouvant sur la terre. La biomasse importante est saturée, mais la biomasse inférieure à 100 t/ha environ est bien captée. Par conséquent, si on modélise le rapport du coefficient de rétrodiffusion et la biomasse, la méthode du coefficient de rétrodiffusion peut être un des moyens d'estimer les stocks de carbone à une vaste échelle juste après une importante perturbation dans la zone tropicale ou au début de la régénération du terrain abandonné après culture sur brûlis. Dans la présente recette, on présente un aperçu de la méthode et les limites d'application de la méthode du coefficient de rétrodiffusion.

### INFO

1) En tant que coefficient de rétrodiffusion, on dispose des valeurs obtenues par conversion des numéros numériques captés (sigma-zéro, sigma-naught) et des valeurs obtenues par rectification de la dépendance à l'angle d'incidence par la correction géographique (gamma-zéro, gamma-naught) <sup>2)</sup>.

### INFO

2) Shimada M (2010) Ortho-rectification and slope correction of SAR data using DEM and its accuracy evaluation. IEEE J Select Topic Appl Earth Obs Remo Sens 3(4): 657-671

### INFO

3) Lucas RM, Cronin N, Lee A, Moghaddam M, Witte C, Tickle P (2006) Empirical relationships between AIRSAR backscatter and LiDAR-derived forest biomass, Queensland, Australia. Rem Sens Environ 100: 407-425

### INFO

4) Roy J, Saugier B, Mooney, HA (2001) Terrestrial Global Productivity. Academic Press.

## Qu'est-ce que la méthode du coefficient de rétrodiffusion ?

Le RSO envoie des ondes électromagnétiques vers la Terre et capte les ondes magnétiques réfléchies et rétrodiffusées par le sol. Les ondes captées sont traitées par le programme et converties en valeur dite coefficient de rétrodiffusion. Lorsque l'on utilise une onde longue (Bande L, environ 23 cm) le coefficient de rétrodiffusion peut avoir une forte corrélation avec la biomasse mais à une valeur d'environ 100 t/ha il est saturé <sup>3)</sup>. Dans la forêt tropicale, la biomasse aérienne peut aller de 200 t/ha jusqu'à 400 ~ 500 t/ha <sup>4)</sup>. Par conséquent, la présente méthode n'est pas apte à estimer la biomasse d'une forêt mature. Mais au début de la régénération après une grande perturbation, après une période de culture sur brûlis ou au début de la forêt artificielle, la présente méthode peut donner une cartographie de la biomasse et de son évolution à vaste échelle. D'autre part, le coefficient de rétrodiffusion donnant une image déformée des surfaces en pente, il est nécessaire d'apporter une rectification <sup>2)</sup>, mais il est difficile d'obtenir les données rectifiées suffisamment précises.

## Élaboration d'un modèle d'estimation par enquête de terrain

Lorsque la biomasse augmente, le coefficient de rétrodiffusion augmente rapidement mais il atteint un plafond et se sature. Cette relation peut être montrée approximativement par une équation exponentielle <sup>3)</sup> (Figure T19-1) Et par rapport aux polarisations croisées (HV, VH) les polarisations parallèles (HH, VV) ont un niveau de saturation plus bas <sup>3)</sup>. Leur équation (modèle) sera établie avec le résultat de l'étude de la biomasse sur place et l'analyse du coefficient de rétrodiffusion obtenu à l'endroit de l'étude, puis sera utilisé pour estimer la biomasse (stocks de carbone). Pour effectuer une estimation précise de la biomasse, il faut enquêter sur les

peuplements de différente biomasse afin de collecter les données les plus larges possible. Il est surtout indispensable d'avoir des données de peuplement dont la biomasse est basse. Il est possible que les équations soient différentes selon les types de forêt. Mais, comme le coefficient de rétrodiffusion varie peu pour la forêt tropicale humide fermée, le modèle d'estimation peut être appliqué aux différents scénarios

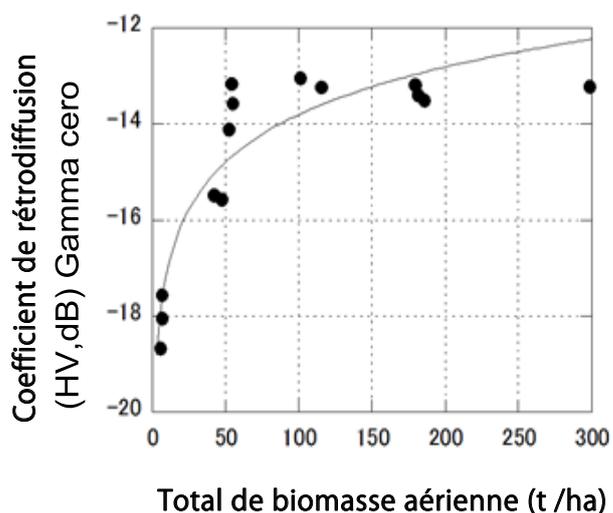


Figure 19-1 Rapport entre le coefficient de rétrodiffusion et la biomasse

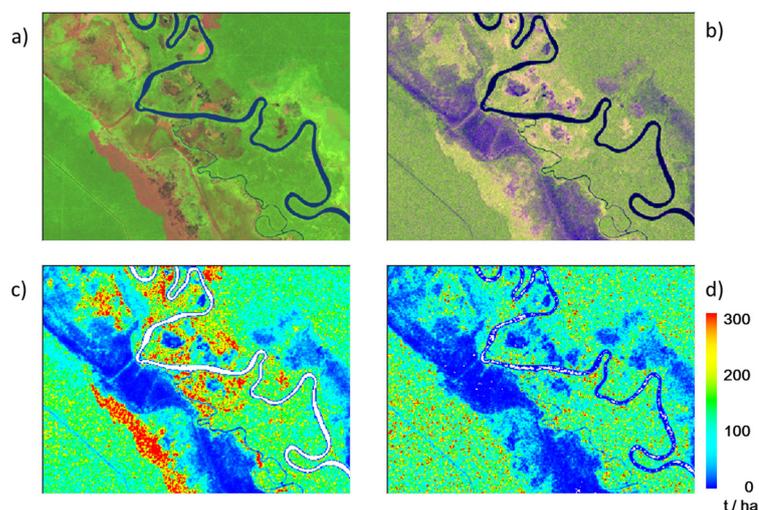


Figure 19-2 Résultats de l'estimation de la biomasse par la méthode du coefficient de rétrodiffusion

a) Image par LANDSAT/ETM+ août 2007, b) Image de ALOS/PALSAR octobre 2007, c) Cartographie d'estimation des stocks de carbone, d) Résultat d'estimation des stocks de carbone avec diminution de l'influence de double réflexion.

Les données de ETM+ et de PALSAR : les zones en vert sont les forêts, Les zones en beige de PALSAR indiquent les traces d'incendie ou les forêts marécageuses. Ce dernier risque d' être surestimé pour sa biomasse à cause de la double réflexion (c) mais on peut en réduire les influences (d).

ALOS/PALSAR: © JAXA,METI

pour faire le suivi de la biomasse.

## Exemple d'estimation de la biomasse

La Figure T19-2 est un exemple d'estimation de la biomasse de la forêt marécageuse de tourbe du Kalimantan central. Dans la forêt naturelle de cette zone, la biomasse atteint environ 300 t/ha et le coefficient de rétrodiffusion est saturé. Lorsqu'il y a de l'eau sur le sol de la forêt comme une forêt marécageuse, les ondes électromagnétiques émises par le RSO réfléchies à la surface de l'eau puis sur le tronc ou autres et retournent jusqu'au RSO. Ce type de réflexion appelée « double réflexion » rend les ondes de retour très fortes par rapport à la biomasse de la forêt, ce qui peut induire une surestimation. Le même phénomène apparaît lorsqu'il y a des arbres couchés. Mais dans le présent exemple, cette influence est réduite pour estimer la biomasse (Figure T19-2).

## Avantages et inconvénients de la méthode du coefficient de rétrodiffusion

Le RSO de la bande L pouvant observer en traversant les nuages pour observer la surface terrestre, est capable de collecter toute l'année même en zone pluvieuse, on compte sur l'exploitation de la méthode du coefficient de rétrodiffusion pour l'observation des forêts tropicales humides dont la détérioration est un grand problème. Cette méthode permet d'estimer avec une bonne précision le stock de carbone lorsque la biomasse est basse, mais concernant la forêt de haute biomasse, la précision d'estimation diminue et manque de fiabilité. C'est pourquoi cette méthode est limitée pour estimer le stock de carbone du terrain en transition vers la forêt ou pour observer la zone de la coupe-blanc.

Dans les données du RSO, il existe des bruits dits bruits de chatolement qui apparaissent irrégulièrement. En raison de ces bruits, il est impossible de connaître la biomasse par unité de pixel, on utilise alors la valeur moyenne localement afin de diminuer le bruit, ce qui détériore la résolution au sol.

A l'heure actuelle, la correction géographique des zones montagneuses n'est pas suffisamment précise et on ne peut pas appliquer la présente méthode aux forêts qui se trouvent sur le sol de pente moyenne à importante. Il est sans doute judicieux de considérer que lorsque la pente dépasse 10 ~ 15 degrés la précision d'estimation de la biomasse diminue. Si la précision de la correction géographique est basse, c'est parce que, d'une part, les données d'altitudes utilisées pour la correction géographique ne sont pas toujours précises, et d'autre part, le modèle de rectification ne reproduit pas suffisamment l'état de diffusion sur la canopée. Le degré de précision pourrait être amélioré, mais il est difficile de prévoir si l'amélioration permettra que le système soit utilisable pour estimer la biomasse sur un sol en pente forte.



## Guide de référence

## 【Références】

Ces références s'adressent aux utilisateurs des Recettes indiqués ci-dessous et visent à présenter la littérature (rapports, conseils, manuels, thèses, etc.) qui vous sera utile pour approfondir la compréhension de chaque recette incluse dans les sections d' « introduction » et de « planification » (chapitres I à V) de ce livre. Par ailleurs, nous présentons également des documents faisant référence aux propositions et exemples qui peuvent être utiles aux utilisateurs à la recherche de méthodes réalistes et pratiques afin de concevoir et de mettre en œuvre des projets et programmes réels.

### Principaux utilisateurs prévus

- ✓ Responsables politiques chargés de la REDD+ au niveau national ou infranational ainsi que personnes concernées dans les organismes partenaires
- ✓ Responsables du projet chargés des activités de la REDD+ au niveau du projet
- ✓ Toute personne souhaitant en connaître davantage sur les éléments de la REDD+ autres que le calcul du carbone forestier

### Comment lire les informations sur les documents de référence ?

Les documents de référence sont présentés sous le format indiqué ci-dessous.

Numéro de série	Titre	Langue	Année de publication	Auteur en chef	Organisme concerné
Classification par recette concernée ※1	Sommaire : Le document est présenté en considération de l'objectif, des points essentiels, de l'exhaustivité et du caractère détaillé des articles faisant l'objet de discussions, de la présence ou de l'absence de propositions réalistes ou de cas de référence, et enfin de son utilité				
Classification par niveau de mise en œuvre ※2					
Lien pour accéder au document original					

※ 1 La « classification par recette concernée » est une méthode de classification consistant à distinguer des recettes mentionnées dans le volume principal de ce livre.

※ 2 La « classification par niveau de mise en œuvre » est utile pour identifier les connaissances requises pour chaque niveau de mise en œuvre au niveau international, national, infranational ou de projet.

※ 3 Codes langues. CH: chinois, EN: anglais, FR: français, IN: indonésien, JP: japonais, PO: portugais, SP: espagnol, VI: vietnamien

### Mise à disposition d' informations supplémentaires

Si vous voulez obtenir davantage d' informations sur le contenu d' une recette spécifique, vous pouvez identifier le document de référence concerné à partir de la base de données des documents de référence créée par le Centre de recherche et de développement de la REDD. N'hésitez pas à l' utiliser en complément.

<http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/en/reference/reference.html>

## Chapitre 1 : Qu'est-ce la REDD-Plus ?

N° 1	Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (Réduction des émissions provenant de la déforestation et de la dégradation des forêts)	Anglais	2011	Agrawal et al	Annual Review of Environment and Resources
I01	Revue qui résume les tendances passées concernant la REDD+ principalement du point de vue des sciences sociales. Suivant les explications sur l'évolution des négociations sur la REDD+ au niveau de la CCNUCC et les aspects socio-environnementaux de la REDD+, ce document mentionne de façon sommaire l'évolution actuelle de la REDD+ à partir de points de vue multiples, y compris la présentation des initiatives aux niveaux national et international, des acteurs sur le marché et dans la société civile ainsi que de la surveillance transversale du carbone et de ses défis futurs. Il s'agit d'une revue qui mérite d'être lue en tant qu'introduction à la REDD+.				
Niveaux international, national, infranational et projet					
<a href="http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-environ-042009-094508">http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-environ-042009-094508</a>					

N° 2	REDD-plus Réduction de la quantité d'émission des gaz à effet de serre due à la déforestation et à la dégradation des forêts dans les pays en développement, édition revue	Anglais, japonais	2012 2 <sup>ème</sup> édition	Agrawal et al	Agence japonaise de coopération internationale (JICA) Organisation internationale des bois tropicaux (OIBT)
I01	Brochure rédigée conjointement par la JICA et l'OIBT afin d'améliorer la compréhension et l'intérêt vis-à-vis de la REDD+ auprès du public. En plus du contexte et de la présentation sommaire de la REDD+, elle présente de façon exhaustive et précise les politiques du gouvernement japonais en matière du changement climatique ainsi que l'engagement vis-à-vis de la REDD+ par la JICA et l'OIBT. Cet ouvrage est utile non seulement pour expliquer le concept de la REDD+ aux gens qui n'en ont pas une connaissance préalable, mais également pour permettre aux acteurs nationaux et internationaux chargés de la REDD+ d'avoir un aperçu des projets liés à la REDD+ actuellement mis en œuvre par la JICA et l'OIBT.				
International, national, infranational et projet					
<a href="http://www.jica.go.jp/publication/pamph/index.html">http://www.jica.go.jp/publication/pamph/index.html</a>					

N° 3	What is the right scale for REDD? The implications of national, subnational and nested approaches (Quelle est l'échelle adéquate pour la REDD ? Les rôles des approches nationale, infranationale et imbriquée)	Anglais, vietnamien	2008	Agrawal et al	CIFOR (Centre international de recherches sur les forêts)
I01	Ce rapport bref met en ordre et analyse, de façon comparative, les concepts des trois approches distinctes par niveau de mise en œuvre à savoir les niveaux national, infranational, projet ou hybride (imbriqué) utilisables pour soutenir ou mettre en place le mécanisme d'incitation de la REDD+. Ce document présente les principes d'attribution des incitations suivant ces trois approches et les évalue en fonction de trois critères principaux : efficacité, rendement et impartialité. Bien qu'aucun exemple concret d'application de chaque approche n'est donné, cette fiche est idéale pour comprendre les idées de base et les caractéristiques de chaque approche dans un court délai. Nous vous recommandons d'avoir recours à cet ouvrage surtout si vous souhaitez renforcer vos connaissances de base sur la relation entre les activités au niveau du projet et celles au niveau national.				
National, infranational et projet					
<a href="http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/2595.html">http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/2595.html</a>					

N° 4	REDD+ at project scale: Evaluation and Development Guide (La REDD+ à l'échelle projet : guide de développement et d'évaluation)	Anglais, français	2010	Calmel et al.	FFEM (Fonds Français pour l'Environnement Mondial), ONFI (Office National des Forêts International), etc.
I02	Guide de développement et d'évaluation de projets rédigé pour apporter un soutien aux porteurs d'un projet de la REDD+ et aux investisseurs ou bailleurs de fonds dans l'évaluation de leur projet. Il présente d'une manière équilibrée et détaillée les défis principaux qui doivent être pris en compte au niveau du projet, y compris le choix, la conception et la mise en œuvre des activités de la REDD+, les problèmes légaux et organisationnels, l'évaluation sur la base des aspects économiques et financiers, ainsi que les mesures de sauvegarde socio-environnementales. Cet ouvrage indique pour chaque type de défi des cas de référence à partir des projets existants et apporte des propositions concrètes et réalistes. Il est recommandé aux porteurs de projet et responsables politiques.				
Projet					
<a href="http://www.forestcarbonportal.com/resource/redd-project-scale-evaluation-and-development-guide">http://www.forestcarbonportal.com/resource/redd-project-scale-evaluation-and-development-guide</a>					

N° 5	Building Forest Carbon Projects: Step-by-Step Overview and Guide <sup>1)</sup> In: Building Forest Carbon Projects <sup>2)</sup> (Mise en œuvre de projets sur le carbone forestier : aperçu par étapes <sup>1)</sup> , In : Mise en œuvre de projets du carbone forestier <sup>2)</sup> )	Anglais, français	2010	Calmel et al.	FFEM (Fonds Français pour l'Environnement Mondial), ONFI (Office National des Forêts International), etc.
I02 I03 I04	Guide de développement et d'évaluation de projets rédigé pour apporter un soutien aux porteurs d'un projet de la REDD+ et aux investisseurs ou bailleurs de fonds dans l'évaluation de leur projet. Il présente d'une manière équilibrée et détaillée les défis principaux qui doivent être pris en compte au niveau du projet, y compris le choix, la conception et la mise en œuvre des activités de la REDD+, les problèmes légaux et organisationnels, l'évaluation sur la base des aspects économiques et financiers, ainsi que les mesures de sauvegarde socio-environnementales. Cet ouvrage indique pour chaque type de défi des cas de référence à partir des projets existants et apporte des propositions concrètes et réalistes. Il est recommandé aux porteurs de projet et responsables politiques.				
Projet					
<a href="http://forest-trends.org/publication_details.php?publicationID=2555">http://forest-trends.org/publication_details.php?publicationID=2555</a>					

## Chapitre 2 : Conception du système de surveillance des forêts

N° 6	Cost of implementing methodologies and monitoring systems relating to estimates of emissions from deforestation and forest degradation, the assessment of carbon stocks... Technical paper ( FCCC/TP/2009/1) (Coût de la mise en place des méthodologies et des systèmes de surveillance portant sur l'estimation des émissions provenant de la déforestation et de la dégradation des forêts et l'estimation des stocks du carbone... Fiche technique (FCCC/TP/2009/1))	Anglais	2009	Carmel et al.	Secrétariat de la CCNUCC
I02 I03	Ce rapport, rédigé par le secrétariat de la CCNUCC, donne un aperçu sur les éléments, étapes et coûts nécessaires au développement et à la gestion du système de surveillance des gaz à effet de serre dans le cadre de la REDD+. On y présente clairement les compétences actuelles des pays en développement ainsi que celles requises pour la gestion du système, les coûts estimés en fonction de l'étape de développement et de la superficie du pays concerné, la relation entre le niveau de précision du système et le coût ainsi que l'estimation du coût pour chaque pays. Les auteurs citent également l'exemple du développement du système de surveillance nationale des forêts en Inde et plusieurs ouvrages dans lesquels ont été effectuées des analyses détaillées sur les coûts. Ce rapport est utile en guise d'introduction à l'égard des personnes chargées du développement du système national de surveillance dans le cadre de la REDD+ dans les pays en développement ainsi qu'à tous ceux qui s'intéressent à ce domaine.				
National					
<a href="http://unfccc.int/documentation/documents/advanced_search/items/6911.php?preref=600005151">http://unfccc.int/documentation/documents/advanced_search/items/6911.php?preref=600005151</a>					

N° 7	An assessment of national forest monitoring capabilities in tropical non-Annex I countries: Recommendations for capacity building (Évaluation de la capacité en matière de surveillance des forêts nationales auprès des pays tropicaux non parties à l'Annexe I : Recommandations pour le renforcement des capacités)	Anglais	2009	Herold	Bureau du projet de GOFC-GOLD
I03	Ce rapport vise à identifier les domaines qui nécessitent le renforcement de la capacité à court terme pour lancer le système de surveillance de l'évolution de la superficie des forêts et du stock de carbone pour les 99 pays non parties à l'Annexe I. En lisant les articles sur l'état des capacités dans ces 99 pays et les propositions générales, vous pourrez comprendre de façon sommaire la situation actuelle et les défis concernant la surveillance du stock de carbone dans les pays en développement. De plus, sur les 30 pays entre eux, le rapport présente le statu quo sur leur capacité ainsi que les propositions pour le renforcement des capacités. Cette brochure est utile pour avoir un aperçu du système de surveillance de carbone forestier au niveau national pour chacun des pays concernés intéressant les porteurs de projet.				
International, national					
<a href="http://unfccc.int/">http://unfccc.int/</a>					

N° 8	Estimating the cost of building capacity in rainforest nations to allow them to participate in a global REDD mechanism (Évaluer le coût du renforcement des capacités dans les pays tropicaux pour leur permettre de participer au mécanisme mondial de la REDD)	Anglais	2008	Hoare et al.	Chatham House
I04	Ce rapport calcule les coûts nécessaires aux activités de préparation préalables à la réduction de la déforestation et de la dégradation des forêts dans les 25 pays situés dans les zones de forêts tropicales. Les calculs ont été faits avec suffisamment de marges en prenant compte des coûts de plusieurs projets réels et en se focalisant par exemple sur la rédaction de la stratégie de la REDD, le niveau de référence, le développement de l'inventaire, la préparation du plan d'utilisation des terrains, la révision et la mise en application de la législation ou les réformes institutionnelles. La liste des projets réels est indiquée à la fin de l'ouvrage. Il peut servir aux responsables politiques ainsi qu'aux donateurs de document de référence pour examiner les coûts des différentes activités et pour faire des recherches sur les cas réels.				
International, national					
<a href="http://www.illegal-logging.info/item_single.php?it_id=744&amp;it=document">http://www.illegal-logging.info/item_single.php?it_id=744&amp;it=document</a>					
N° 9	A stepwise framework for developing REDD+ reference levels. In: Analysing REDD+ Challenges and choices (Cadre par étapes pour développer les niveaux de référence de la REDD+, In : Analyser les défis et les choix de la REDD+)	Anglais	2012	Herold et al.	CIFOR
I04 P13	Chapitre d'une publication de la CIFOR intitulée Analysing REDD+ Challenges and choices (Analyse des défis et des choix de la REDD+) qui présente de façon détaillée l'approche par étapes nécessaire pour réfléchir sur la mise en place des niveaux de référence. En matière de détermination des niveaux de référence, l'ouvrage présente les trois étapes dont les niveaux techniques sont différents et explique brièvement les défis liés à l'incertitude et les contre-mesures. L'auteur fait également référence à l'exemple de la prévision des facteurs de déforestation à l'aide d'une régression linéaire multiple correspondant à l'étape 2 (Brésil, Indonésie et Vietnam). En plus, en tant qu'annexe, la section BOX16.3 clarifie les termes importants pouvant porter à confusion pour la compréhension de la REDD+ (3 phases, 3 approches, 3 niveaux et 3 étapes), ce qui sera utile aux lecteurs.				
National, infranational et projet					
<a href="http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/3805.html">http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/3805.html</a>					
N° 10	What is needed to make REDD+ work on the ground? Lessons learned from pilot forest carbon initiatives (Qu'est-ce qui est nécessaire pour faire fonctionner la REDD+ sur le terrain ? Leçons apprises des projets pilotes sur le carbone forestier)	Anglais, espagnol, portugais, français et chinois	2010	Harvey et al.	Conservation International
I04	Ce rapport fait le point des éléments importants pour réduire les gaz à effet de serre, assurer la biodiversité et fournir des co-avantages sociaux dans le cadre des projets de la REDD+. Ils se fondent sur les expériences initiales des 12 projets de carbone forestier (5 REDD+ et 7 BR/MDP). En tant que clés pour la réussite de projets, les auteurs citent les cinq éléments suivants : (1) partenariat et renforcement des capacités sur le terrain, (2) activités basées sur les analyses techniques et scientifiques solides, (3) fonds suffisant pour le développement des projets, (4) participation active des parties prenantes à la conception et à la mise en œuvre du projet, et (5) obtention du soutien total de la part du gouvernement. Le rapport résume la conception et la mise en œuvre des 12 projets, présente les leçons tirées et propose des mesures pour assurer les avantages climatiques, biologiques et sociaux. À lire lors d'une étude de faisabilité.				
Projet					
<a href="http://www.conservation.org/publications/Pages/REDD_lessons_learned.aspx">http://www.conservation.org/publications/Pages/REDD_lessons_learned.aspx</a>					

N° 11	Legal Frameworks for REDD: Design and Implementation at the National Level (Cadres légaux pour la REDD : conception et mise en œuvre au niveau national)	Anglais	2009	Costenbader et al.	UICN (Union internationale pour la conservation de la nature)
I04	Rapport résumant les informations sur le cadre juridique de la REDD. Ce rapport montre clairement les critères juridiques requis auxquels il faudra des réponses au niveau national dans le cadre de la REDD, y compris la propriété de terrain, divers droits y compris le droit d'utilisation, la répartition des avantages, l'additionnalité et la durabilité, puis fait des propositions. En tant qu'annexe, la liste de contrôle des critères divers, ainsi que, pour référence, la situation actuelle sur le cadre juridique de la REDD dans les quatre pays sélectionnés (Brésil, Cameroun, Guyana et Papouasie-Nouvelle-Guinée) en tenant compte de leurs différences de conditions géographiques, de superficie des forêts et des taux de déforestation sont données. Cet ouvrage sera utile pour les professionnels chargés de l'élaboration des politiques ou pour les porteurs de projet qui souhaitent examiner les points à vérifier sur le cadre juridique du pays faisant l'objet de leur projet.				
National, infranational et projet					
<a href="http://www.iucn.org/what/tpas/climate/resources/publications/?uPubsID=3943">http://www.iucn.org/what/tpas/climate/resources/publications/?uPubsID=3943</a>					

### Chapitre 3 : Connaissances de base indispensables aux initiatives de la REDD-Plus

N° 12	The Importance of Defining 'Forest': Tropical Forest Degradation, Deforestation, Long-term Phase Shifts, and Further Transitions (L'importance de la définition du mot « forêt » : la dégradation des forêts tropicales, la déforestation, le changement de phase à long terme et les transitions futures)	Anglais	2010	Putz et al.	Biotropica Vol 42, 1 <sup>ère</sup> édition
P01	Cet ouvrage global vise à clarifier l'évolution historique du terme « forêt » et étudie de façon exhaustive et détaillée la manière dont il a été utilisé dans les domaines des sciences sociales et naturelles. Tout en faisant mention des définitions du terme « forêt » employées par la CCNUCC et la FAO et également de la REDD+, les auteurs mènent des discussions sur les définitions de la « déforestation » et de la « dégradation des forêts » dans les zones tropicales. Les lecteurs peuvent y vérifier en détail les définitions utilisées dans le cadre de la REDD+ et les défis autour de ces définitions qui sont actuellement en usage. Il est recommandé de lire cet ouvrage aux négociateurs de la REDD+ et aux chercheurs qui s'intéressent à la REDD+.				
International, national					
<a href="http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7429.2009.00567.x/abstract">http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7429.2009.00567.x/abstract</a>					

N° 13	Global and national REDD+ architecture Linking institutions and actions. In: Realising REDD+ National strategy and policy options (Architecture mondiale et nationale de la REDD+, lier les institutions et les activités, In : Établir la stratégie nationale et les options politiques de la REDD+)	Anglais, espagnol, français et indonésien	2009	Wertz-Kanouni	CIFOR koff et al.
P01	Chapitre d'une publication de la CIFOR intitulée « Realising REDD+ National strategy and policy options (Établir la stratégie nationale et les options politiques de la REDD+) ». Alors que ce chapitre n'est pas consacré à la problématique de la définition, les auteurs y mènent des discussions sur la partie « Plus » de la REDD+. Ils y expliquent clairement comment la REDD a évolué pour devenir « Plus » ainsi que le concept du « Plus ». D'ailleurs, la définition de la REDD+ est également indiquée de façon sommaire dans le cadre 1.1, page 2, chapitre 1 de ce même ouvrage. Ce chapitre sera utile pour les personnes qui commencent leur apprentissage sur la REDD+ ou qui veulent vérifier les discussions passées sur la définition de la REDD+.				
International					
<a href="http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/2871.html">http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/2871.html</a>					

## Références

N° 14	a. REDD+ Institutional Options Assessment (Chapter 2) (Evaluation des options institutionnelles de la REDD+, chapitre 2) b. Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD): An Options Assessment Report (Chapter 2) (Réduction des émissions provoquées par la déforestation et la dégradation des forêts (REDD) : Rapport sur l'évaluation des options, chapitre 2)	Anglais, français, espagnol, portugais	2009	a. Streck et al. b. Angelsen et al.	Institut Merdian
P02	Voici deux manuels (a. et b.) sur l'approche progressive. Chapitre 2 de l'ouvrage a) résume le concept des trois phases de l'approche par étapes. Plus particulièrement, le Tableau 2.1. présente des informations plus concrètes sur les activités, fonds, indices de résultats et capacités de mesure, de rapport et de vérification (MRV) nécessaires à chaque phase. Il est utile pour avoir un aperçu des conditions nécessaires pour chaque phase. Le Chapitre 2 du manuel b) explique en détail la relation entre l'approche par étapes et les options en matière de ressources financières. Les auteurs décrivent les éléments qui nécessitent une aide financière à chaque phase ainsi que les options sur les moyens de financement. Il sera utile de lire les deux manuels si vous souhaitez acquérir les connaissances de base sur l'approche par étapes.				
International, national					
<a href="http://www.redd-oar.org/rl.html">http://www.redd-oar.org/rl.html</a>					

N° 15	REDD+ safeguards in national policy discourse and pilot projects. In: Analysing REDD+ Challenges and choices (Sauvegardes au niveau de la politique nationale dans la REDD+, discours et projets pilotes, In : Analyse de la REDD+, défis et choix)	Anglais	2012	Jagger et al.	CIFOR
P03	À chaque niveau de mise en œuvre à savoir au niveau international, national et de projet, les auteurs présentent les tendances dans le cadre de la mise en place des sauvegardes environnementales et sociales et proposent des défis futurs. Il correspond à un chapitre d'une publication de la CIFOR intitulée « Analysing REDD+ Challenges and choices (Analyse de la REDD+, défis et choix) ». Les auteurs analysent principalement les sauvegardes adoptées au Brésil, au Cameroun, en Indonésie, en Tanzanie et au Vietnam, en mettant l'accent sur la situation actuelle de plusieurs projets pilotes et les sujets souvent traités par les médias de masse. Cet ouvrage sera utile à ceux qui souhaitent comprendre dès maintenant les mesures à prendre alors qu'il n'existe pas pour le moment de consensus international sur l'aperçu des discussions sur les sauvegardes ainsi que sur leur situation actuelle.				
International, national, infranational, projet					
<a href="http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/3805.html">http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/3805.html</a>					

N° 16	Safeguarding and enhancing the ecosystem-derived benefits of REDD+ Multiple Benefits Series 2 (Sauvegarder et améliorer les avantages provenant de l'écosystème dans le cadre de la REDD+, Deuxième série sur les avantages multiples)	Anglais	2010	Miles et al.	UNEP-WCMC, Programme ONU-REDD
P03	À chaque niveau de mise en œuvre à savoir au niveau international, national et de projet, les auteurs présentent les tendances dans le cadre de la mise en place des sauvegardes environnementales et sociales et proposent des défis futurs. Il correspond à un chapitre d'une publication de la CIFOR intitulée « Analysing REDD+ Challenges and choices (Analyse de la REDD+, défis et choix) ». Les auteurs analysent principalement les sauvegardes adoptées au Brésil, au Cameroun, en Indonésie, en Tanzanie et au Vietnam, en mettant l'accent sur la situation actuelle de plusieurs projets pilotes et les sujets souvent traités par les médias de masse. Cet ouvrage sera utile à ceux qui souhaitent comprendre dès maintenant les mesures à prendre alors qu'il n'existe pas pour le moment de consensus international sur l'aperçu des discussions sur les sauvegardes ainsi que sur leur situation actuelle.				
International, national, infranational, projet					
<a href="http://beta.unep-wcmc.org/resources-and-data">http://beta.unep-wcmc.org/resources-and-data</a>					

N° 17	Multiple Benefits Series 5 & 6 (Avantages multiples, Série 5 et 6) A) Ecosystem services and biodiversity from new and restored forests: tool development (Services écosystémiques et biodiversité des forêts nouvelles et restaurées : développement des outils) B) Methods for assessing and monitoring change in ... (Méthodes d'évaluation et de surveillance des changements dans ...)	Anglais	2010	A) Miles et al. B) Doswald et al.	UNEP-WCMC, Programme ONU-REDD
P03	Voici les deux rapports pairs utiles pour réfléchir sur les sauvegardes environnementales dans les projets/programmes de boisement/reboisement et de restauration des forêts. Le rapport a) indique les connaissances utiles pour prévoir les effets des activités de boisement ou de restauration des forêts sur la biodiversité, l'approvisionnement en eau, la conservation des sols et les produits forestiers non ligneux à l'aide de diagrammes bien visibles appelés « fiche de scores » et présente une riche gamme d'ouvrages académiques comme fondements. Le rapport b) explique en bref les conditions et procédures pour la conception de systèmes de surveillance et d'évaluation des effets mentionnés ci-dessus et présente plusieurs méthodes et conseils nécessaires pour mettre en place de tels systèmes. Il sera utile de lire les deux si vous voulez acquérir des connaissances de base sur les approches fondamentales destinées à éviter des effets environnementaux imprévus dus au boisement/reboisement et à la restauration des forêts.				
National, infranational et projet					
<a href="http://www.unredd.net/documents/redd-papers-and-publications-90/other-sources-redd-papers-and-publications/benefits-for-ecosystems-and-livelihoods-270.html">http://www.unredd.net/documents/redd-papers-and-publications-90/other-sources-redd-papers-and-publications/benefits-for-ecosystems-and-livelihoods-270.html</a>					

N° 18	Climate Change & the Role of Forests A Trainer's Manual (Changement climatique et rôle des forêts : manuel pour formateurs)	Anglais, etc.	2010	Stone et al.	Conservation International
P03	Manuel en série destiné à promouvoir et approfondir les connaissances auprès des habitants locaux sur les fondements scientifiques du changement climatique, la circulation du carbone forestier, les politiques en matière de changement climatique, le paiement pour services écosystémiques (PES) et la REDD+. L'objectif principal de ce manuel est de former les personnes susceptibles de communiquer efficacement à la communauté locale et aux autres parties prenantes des informations sur le changement climatique et la REDD+. Les auteurs présentent les grandes lignes des méthodes de formation du personnel ainsi que les techniques de facilitation et précisent comment mener des activités de formation, y compris la méthode d'utilisation des cartes ou brochures illustrées comme outils de formation. Ce manuel a été traduit en sept langues (anglais, espagnol, français, indonésien, malaisien, khmer et chinois) et utilisé dans 12 pays. Il est mis gratuitement à la disposition des organisations à but non lucratif.				
Projet					
<a href="http://www.conservation.org/publications/Pages/climate_change_and_the_role_of_forests.aspx">http://www.conservation.org/publications/Pages/climate_change_and_the_role_of_forests.aspx</a>					

## Chapitre 4 : Le système de mesure, notification et vérification (MNV) du carbone des forêts

N° 19	Emissions factors. Converting land use change to CO <sup>2</sup> estimates. In: Analysing REDD+ Challenges and choices (Facteurs d'émissions : convertir le changement d'utilisation de terrains en valeur estimée d'émissions de CO <sup>2</sup> . In : Analyse des défis et des choix de la REDD+)	Anglais	2012	Verchot et al.	CIFOR
P03	Chapitre d'une publication de la CIFOR intitulée « Analysing REDD+ Challenges and choices (Analyse des défis et des choix de la REDD+) » qui présente les connaissances de base nécessaires au calcul du carbone forestier dans le cadre de la REDD+ ainsi que la situation actuelle et les défis en matière de capacités des pays en développement et d'informations disponibles. Les auteurs expliquent en détail la méthode par défaut (méthodes « gains et pertes »), qui n'est expliquée que brièvement dans le Livre des Recettes, ainsi que l'approche à un niveau (Tier 1 approach). De plus, ils citent de façon exhaustive les sujets de discussion portant sur le calcul du carbone forestier en faisant référence aux coefficients d'émissions actuels disponibles et à la possibilité d'amélioration future, ainsi qu'à la possibilité d'intégration de la surveillance du carbone par la communauté locale dans la surveillance au niveau national. Ce chapitre mérite d'être lu par ceux qui souhaitent acquérir de manière efficace des connaissances sur le calcul du carbone forestier autres que celles mentionnées dans le Livre des Recettes.				
National, infranational et projet					
<a href="http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/3805.html">http://www.cifor.org/online-library/browse/view-publication/publication/3805.html</a>					

N° 20	A) Reporting on Climate Change Use manual for the guidelines on national communications from non-Annex I Parties (Rapport sur le changement climatique : Manuel de l'utilisateur relatif aux directives pour l'établissement des communications nationales des Parties non visées à l'annexe I de la Convention) B) UNFCCC Resource Guide for Preparing the National Communications of Non-Annex I Parties. Module 3 National greenhouse Gas Inventories (Guide des ressources de la CCNUCC pour la préparation des communications nationales des Parties non visées à l'annexe I – Modules 3 : Inventaires nationaux sur les gaz à effet de serre)	Anglais, français et espagnol	A. 2004 B. 2009	Secrétariat de la CCNUCC	
P05	Le manuel (a) a été développé afin d'aider les pays non visés à l'annexe I de la Convention à rédiger des communications nationales (CN) sur la base des informations actuellement disponibles. Les auteurs y insèrent les explications et conseils concrets en faisant référence aux dispositions de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques afin de permettre aux personnes concernées de remplir sans lacunes les CN suivant les exigences. De plus, pour des explications encore plus approfondies, un guide des ressources composé de quatre volumes distincts est mis à la disposition du public. Le Volume III (b) est un manuel servant à la rédaction de l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre. Alors que le contenu du rapport et les méthodes à utiliser pour le rapport ne sont pas définis puisque la REDD+ est en cours de négociation au niveau de la Conférence des parties, lire ce texte permet d'avoir un aperçu du processus de travail du « rapport au niveau national ».				
International, national					
<a href="http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/guidelines_and_user_manual/items/2607.php">http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/guidelines_and_user_manual/items/2607.php</a>					

N° 21	IPCC Inventory Software (Logiciel d'inventaire du GIEC)	Anglais	2012	Le Groupe de travail du GIEC sur les inventaires nationaux des émissions de gaz à effet de serre	
P05	C'est un logiciel qui a été développé pour aider à la rédaction de l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre qui sera joint aux communications nationales (CN) à soumettre à la CCNUCC (voir p.05 du volume principal). La structure du logiciel correspond aux méthodologies des niveaux 1 et 2 des Lignes directrices du GIEC modifiées et publiées en 2006. Comme les données par défaut pour la mise en œuvre du niveau 1 sont déjà intégrées, les utilisateurs peuvent simuler la rédaction du rapport à l'aide des données déjà présentes. De plus, ils peuvent télécharger le manuel d'utilisateur expliquant la méthode d'utilisation de ce logiciel à partir du même site web. Alors que le contenu et la méthode de rapport pour la REDD+ n'ont pas encore été concrètement définis, ce logiciel est utile pour ceux qui souhaitent avoir un aperçu du processus de rédaction de l'inventaire qui sera nécessaire pour présenter un rapport.				
International, national					
<a href="http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html">http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html</a>					

N° 22	8. Verification and Issuance. In: Building Forest Carbon Projects. Step-by-Step Overview and Guide (8. Vérification et mise en circulation, In : Créer les projets sur le carbone forestier : aperçu par étapes)	Anglais	2011	Olander et al.	Forest Trends
P06	Les auteurs font une présentation sommaire de la vérification des absorptions et des émissions au niveau des projets et de la mise en circulation des crédits (correspond à une partie de l'ouvrage en série « Building Forest Carbon Projects (Mise en place de projets sur le carbone forestier) » citée au cadre n° 5 du présent document de référence). Alors qu'il n'existe pas encore de consensus au niveau de la CCNUCC sur les modalités de vérification pour la REDD+, ce chapitre présente les procédures de base de la vérification de la quantité de réduction des gaz à effet de serre au niveau de projet, la disparité des coûts nécessaires pour la vérification ainsi que l'importance de la date de la première vérification en prenant pour exemples les VCS (Voluntary Carbon Standard) et MDP (mécanisme de développement propre). Ils mentionnent également la relation entre la mise en circulation des crédits et la vérification. Ce texte est utile si vous voulez organiser des informations sur les modalités de vérification de la REDD+ au niveau de projet.				
Projet					
<a href="http://forest-trends.org/publication_details.php?publicationID=2555">http://forest-trends.org/publication_details.php?publicationID=2555</a>					

## Chapitre 5 : Surveillance grâce à la méthode de différence des stocks

N° 23	Remote sensing and image interpretation Sixth Edition (Télédétection et interprétation d'images, 6 <sup>ème</sup> édition)	Anglais	2007	Lillesand et al.	John Wiley & Sons, Inc.
P08	Ce document a subi 5 révisions depuis la parution de l'édition originale en 1979. C'est l'un des manuels les plus célèbres au niveau mondial sur la télédétection et l'interprétation d'images. Ce manuel est structuré pour orienter les professionnels dans différents domaines qui traitent d'informations géospatiales. Comme il s'agit d'un manuel qui s'adresse à la télédétection en général, il n'y a pas beaucoup d'explications spécifiquement sur l'écosystème forestier. Cependant, cet ouvrage est utile pour ceux qui souhaitent avoir des connaissances et techniques communes à la télédétection, y compris les différents types et la sélection de données, le prétraitement de données, la définition des classes, les méthodes de classification et la vérification de la précision comme indiqués à la p.8 de la section de planification du volume principal du Livre des Recettes ainsi que dans le chapitre 7 de la section technique du même ouvrage.				
National, infranational, projet					
Ce livre est en vente ISBN978-0-470-05245-7					

## Références

N° 24	Field Methods in Remote Sensing (Méthodes sur le terrain en télédétection)	Anglais	2005	MaCoy	Guilford Press
P08	Manuel sur l'obtention des données terrestres (réalité de terrain) nécessaires à l'application de la technique de télédétection. L'auteur explique en détail l'élaboration de plans pour l'obtention de données terrestres, les méthodes d'échantillonnage, la procédure d'identification de l'emplacement à l'aide du géo-positionnement par satellite (GPS) ainsi que différentes méthodes de mesure. Plus particulièrement, il présente les méthodes pour identifier et déterminer les informations sur les végétaux ainsi que les caractéristiques des différents types de surfaces et inclut le modèle de la fiche d'enregistrement des données utiles aux enquêtes terrestres, ce qui rend ce document utile pour obtenir les données terrestres nécessaires à la REDD+. Ce livre est recommandé aux personnes chargées de planification ou d'études sur le terrain qui ont des connaissances de base sur la télédétection, mais qui n'ont pas beaucoup d'occasions de participer aux études sur le terrain.				
National, infranational et projet					
Ce livre est en vente ISBN978-1593850791					

N° 25	Carbon Inventory Methods: Handbook for Greenhouse Gas Inventory, Carbon Mitigation and Roundwood Production Projects (Méthodes pour l'inventaire de carbone : Manuel pour l'inventaire des émissions de gaz à effet de serre et les projets de mitigation du carbone et de production du bois rond)	Anglais	2008	Ravindranath et al.	Springer
P04-P10	Manuel pour la création de l'inventaire de carbone rédigé par les auteurs qui avaient été chargés de la rédaction de plusieurs lignes directrices du GIEC.				
National, infranational et projet	Ici sont expliquées de façon plus détaillée les informations présentées sur les pages 4 à 10 du Livre des Recettes. Plus particulièrement, les auteurs se réfèrent aux méthodes de détermination de la biomasse souterraine, du bois mort, de la litière et des bassins de carbone dans le sol qui ne sont pas bien expliquées dans le volume principal du Livre des Recettes. On conseille aux personnes chargées de la planification de l'inventaire de carbone ou des études sur le terrain de porter ce livre sur eux en plus du Livre des Recettes afin de le consulter lors de la planification.				
Ce livre est en vente ISBN978-1-4020-6546-0					

N° 26	Tropical Forest Census Plots (Placettes d'étude des forêts tropicales)	Anglais	1998	Condit	Springer-Verlag
P10	Manuel pratique qui explique en détail les méthodes de mise en place des placettes pour les études écologiques à grande échelle des forêts tropicales. En ce qui concerne les méthodes d'installation des placettes fixes présentées dans le Livre des Recettes, l'auteur explique de façon exhaustive les conditions requises pour la mise en place de placettes y compris la méthodologie des études sur le terrain et la création de la base des données, la solution des défis divers prévus, ou bien la planification des études et la main-d'œuvre nécessaire. Plus concrètement, on y présente les approches qui ont été utilisées sur les placettes de grande ampleur dans les onze endroits du monde telles que les grandes placettes installées au Panama. Ce livre sera utile aux planificateurs responsables de l'installation des placettes et aux personnes chargées des études sur le terrain.				
National, infranational, projet					
Ce livre est en vente ISBN978-3-540-64144-5					

N° 27	Winrock Sample plot Calculator Spreadsheet tool (Outil de tableur Winrock pour calcul de parcelle d'échantillons)	Anglais	2007	Walker et al.	Winrock International
P10 T12	Outil destiné à calculer le nombre de placettes fixes nécessaires pour chaque catégorie de forêts sur la base de l'échantillonnage stratifié expliqué dans le Livre des Recettes (Recette T12). On utilise la fiche Excel : en mettant dans la cellule verte la superficie de la catégorie de forêts concernées, le stock de carbone unitaire et son écart type, la taille de la placette ainsi que les coûts (coûts de déplacement, du matériel et de l'analyse) nécessaires à l'installation des placettes pour chaque catégorie (niveau) de forêts, le nombre de placettes nécessaires ainsi que les coûts d'installation estimés seront affichés. Cet outil permet d'avoir un aperçu du nombre de placettes fixes à installer ainsi que des coûts liés.				
National, infranational, projet					
<a href="https://www.winrock.org/document/winrock-sample-plot-calculator-spreadsheet-tool">https://www.winrock.org/document/winrock-sample-plot-calculator-spreadsheet-tool</a>					

N° 28	2.7 Estimation of Uncertainties. In: A sourcebook of methods and procedures for monitoring and reporting anthropogenic greenhouse gas emissions and removals associated with deforestation, gains and losses of carbon stocks in forests remaining forests, and forestation (Evaluation des incertitudes, In : un recueil de références des méthodes et des procédures pour la surveillance et le rapport des émissions anthropogènes des gaz à effet de serre, de l'élimination liée à la déforestation, des gains et pertes des stocks de carbones dans les forêts restantes et du boisement)	Anglais	2012	GOFC-GOLD	Bureau de projet de GOFC-GOLD
P12	Ce chapitre inclus dans le « Recueil de références de GOFC-GOLD » présente en détail les méthodes de calcul de l'incertitude des valeurs de la superficie et du stock de carbone calculées. L'auteur commence par expliquer la notion d' « incertitude », puis les conditions pour calculer l'incertitude de la superficie concernée et du stock de carbone unitaire, les méthodes pour synthétiser les incertitudes de ces deux valeurs, ainsi que la méthode de rapport de l'incertitude. Pour les lecteurs souhaitant en savoir plus, les ouvrages de référence sont présentés à la fin du chapitre.				
National, infranational et projet	Ce chapitre servira à ceux qui souhaitent en connaître davantage sur le contenu du Livre des Recettes, mais également à ceux qui ont envie d'apprendre les notions de base telles que « l'incertitude » ou « la synthèse des incertitudes ».				
<a href="http://www.gofcgold.wur.nl/redd/">http://www.gofcgold.wur.nl/redd/</a>					

N° 29	Guidelines for REDD+ Reference Levels: Principles and Recommendations (Lignes directrices sur les niveaux de référence de la REDD+ : principes et recommandations)	Anglais	2011	Angelsen et al.	Institut Merdian, le gouvernement norvégien
P13	Lignes directrices de 20 pages destinées à déterminer les niveaux de référence sous la supervision de la CCNUCC. Les auteurs expliquent les procédures destinées à sélectionner les données des activités concernées et les coefficients d'émission pour la détermination des niveaux de référence, présentent les méthodes d'analyse et proposent des concepts de base et des points à prendre en compte en matière d'adaptation à la situation spécifique de chaque pays et des niveaux de référence au niveau infranational. Ils fournissent également des informations pratiques aux responsables politiques, par exemple en faisant figurer comme annexes les exemples de la détermination des niveaux de référence au Brésil et Guyana, ainsi que les lignes directrices pour la création de la sous-mission de mise à la disposition aux parties visées à l'Annexe I des informations sur les niveaux de référence. Nous vous recommandons de lire ce manuel si vous voulez connaître davantage sur la théorie de la détermination des niveaux de référence à l'échelle nationale et sur les exemples de mise en œuvre.				
National, infranational et projet					
<a href="http://www.forestcarbonportal.com/resource/guidelines-redd-reference-levels-principles-and-recommendations">http://www.forestcarbonportal.com/resource/guidelines-redd-reference-levels-principles-and-recommendations</a>					

## Index

abattage illégal	I02	classification orientée-objet	P08,T08,T09
Accord de Copenhague	I01,I03	classification supervisée	P08,T08,T09
Accords de Marrakech	P01	cocotier	T13
AFAT	I04,P04,T04	coefficient de rétrodiffusion	P07,P09,P11,T15,T19
affectation des terres	I01,I03,I04,P02,P04 P05,P06,P07,P11,P13 T04,T12,T13,T18	coefficient Kappa	P08
âge de la communauté	P07,P11,T18	cohérence	I03,I04,P05
appareil photo GPS	T08	comparabilité (comparability)	I03,P05
approche par étapes	I01,I02,I03,I04 P02,P04	Conférence des Parties (COP)	I01,I02,I04,P01,P02,P03,P05,P13
augmentation des absorptions	I02,P02	Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques	I01,I02,I03,I04,P01,P02 P03,P04,P05,P06,P13,T04
augmentation des émissions	I02	COP13	I01,I02,I03,P01,P02
bambou	P11,T13,T16,T17	COP15	I01,I02,P03,P13
biodiversité	I01,I02,P01,P03,P06,T01	COP16	I01,I02,P03,P05,P13
biomasse aérienne	P04,P11,T02,T14,T19	COP17	I01,I02,P03,P05,P13
biomasse souterraine	P04,P11,T02,T14,T19	correction d'atmosphère	P08
bruit	T05,T19	correction de la topographie et de la géométrie	P08,T03,T11,T17
brûlis	P11,T18,T19	correction géographique	P08,T03,T19
brume	T05,T06	courbe de hauteur	T13,T17
caoutchouc	P11,T13,T18	couverture	I02,P01
capteur	P08,P11,T03,T05,T19	couverture terrestre	P07,P08,T05,T06 T07,T08,T09,T10,T11
capteur à vision stéréoscopique satellitaire	P11	crédits	I01,I02,I03,I04 P03,P04,P06,P12,P13,T04
capteur optique	P08,P11,T05,T06	crédits carbone	I01,I02,I03,P06,P12
capteur satellitaire optique	T05	déboisement	I01,I02,I04,P01,P02 P05,P06,P09,P11,P13,T16
Catalogue national des gaz à effet de serre (inventaire)	P05	dégradation des forêts	I01,I02,I04
CDM	02,I03,P04,P05,P06,T04		P01,P02,P06,P11 P13,T05,T12,T18
CER (Certified Emission Reduction)	T04		
chronologique	I02,P13,T11,T18		
circonférence à hauteur d'homme	T13		
classe	P08,T07,T08,T09,T10		
classification non supervisée	P08,T09		

développement des compétences		gaz à effet de serre	I01,I02,I03,I04
	I02,P02,P04		P03,P04,P05,P06,P13,T02
diamètre à hauteur d'homme	P10	GBP	P05,P06
	T01,T13,T14	gestion durable des forêts	I01,I02,P01,P02
diamètre de la canopée	P07,P11,T17	GIEC	I01,I02,I03,I04,P04
données de télédétection	I04,P07,P08,T07		P05,P06,P07,T02,T14
	T08,T09,T16,T17	GOFC-GOLD	T11
échantillon d'apprentissage		GPS	T05,T08,T13
	P08,T08,T09,T10,T11	grappe	P08,T01,T09
échantillon de validation	P08,T08	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat	
échantillonnage double (double sampling)	T15		I01,I04,P04,T02
échantillonnage stratifié	P10,T08,T10,T12	hauteur de l'étage dominant	P07,P11
émission de CO2	I01		T15,T16
enquête de terrain	I01,I02,I04,P04	image multi-couches	T11
	07,P11,T08,T13	image sans nuages	P08,T06
	T15,T16,T18,T19	Impact de nuages	P11
Équation d'allométrie	P10,T13,T14,T16	incertitude	I03,P04,P06,P07,P12
estimation de la surface	P07,P08	interférométrie SAR multi-polarimétrique	P11
	P12,T06,T10	inventaire	I03,I04,P02
estimation de la surface des forêts	P08		P05,P06,P07,P13
état de la surface du sol	P11	Inventaires forestiers nationaux	I04,T01
évaluation des ressources forestières			T03,T10,T13
	I02,T09,T11	J-VER	T04
évolution de la surface	I02,I03,I04	Landsat	P08,T05,T06,T09,T19
	P07,P08,T03,T11	laser pulsé	P08,T05
évolution de la surface des forêts	I02,I03	LiDAR	P08,P11,T05,T16
	I04,P07,T03	LiDAR aéroporté	P11,T16
exactitude	I03,P05	LiDAR satellitaire	P11,T16
exhaustivité	I03,P04,P05	lignes directrices du GIEC	I01,I04,P05,P06,P07
facteur d'expansion de la biomasse	P10,T14	logiciel	P08,P12,T05
FAO	I01,I02,T09,T11	masquage des nuages	T06
Fonds de partenariat pour le carbone forestier		Mécanisme bilatéral de crédit de compensation (BOCM; Bilateral Offset Crediting Mechanism)	
	I01,P02,P03		I01,I04,T04

mécanisme pour un développement propre (Clean Development Mechanism)	I03,P05,P06,T04	modalité	I01,I03,P05,P06,P13
mécanismes de crédits	I03	modèle d'estimation	P09,P11,T03,T19
mesure	02,I03,I04,P02,P04,P05 P10,P11,P13,T02,T13,T15,T17	modèle d'estimation des stocks de carbone du peuplement forestier	P11
mesures d'atténuation du réchauffement climatique	I01,I02,P03	musure, rapport, vérification	I03,I04,P02 P05,P11,P13
Mesures de sauvegarde	I01,I02,I03,I04,P02,P03,P06	NFI	I04,T01,T03
Mesures de sauvegarde environnementale et sociale	P03	niveau de projet	I01,I02,I03
Mesures de sauvegarde environnementales	P03	niveau infranational	I02,I03,I04,P02,P06 P10,P13,T04,T12,T18
Mesures de sauvegarde sociales	P03	niveau national (National level)	I02,I03,I04 P02,P05,P06,P07,P08,P09,P10 P13,T04,T06,T12,T14,T16,T18
méthode de différence des stocks	P04,P07,P09,P12,T02	niveaux de référence	I01,I02,I04
Méthode de l' âge de la communauté	P09,P11,T15,T18	niveaux d'émissions de référence	I01,I02
Méthode de la hauteur de l'étage dominant	P09,P11,T15,T16	ONU-REDD	I01,P02,P03
méthode de placettes d'échantillonnage permanentes	P07,P09,P10,P11 T03,T12,T13,T14,T15,T16,T17	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture	I01
méthode des flux	T02	Organisation internationale de normalisation	P06
Méthode du diamètre de la canopée	P09,P11,T15,T17	orientée-objet	T11
méthode par défaut	P04,P07	palmiers à huile	T13
micro-ondes	P08,P11,T05	paramètre	P05,P06,P09,P11 T09,T15,T18
MNS	T05,T16	pixel	P08,T11
MNT	T05	plan d'échantillonnage	P07,T01
MNV (Mesure, notification, vérification)	I01,I02,I03,P02,P05,P11,P13	planification forestière	P02
		plateforme	T05
		Polarisation croisée	T19
		polarisation parallèle	T19

précision de l'utilisateur	P08,T10	stocks de carbone	I01,I02,I03,I04
précision du producteur	P08,T10		P01,P02,P04,P07
précision globale	P08,T10		P09,P10,P11,P12,P13
préservation des forêts			T02,T03,T12,T13,T14
	I01,I02,P01,P06,P13,T04		T15,T16,T17,T18,T19
Programme des Nations Unies pour le développement	I01	surface terrière	T14,T16
Programme des Nations Unies pour l'environnement	I01	surveillance des forêts	I01,I02,I03,I04
		système de surveillance des forêts nationales	I01,I02,I04
Protocole de Kyoto	I01,I02,P01,P02,P05,T04	télétection	I01,I02,I04,P04,P06
quatrième rapport d'évaluation(AR4)	I01		P07,P08,P10,P11,P13
racine-contrefort	T13		T03,T05,T07,T09,T10
radar à synthèse d'ouverture (SAR)			T11,T13,T15,T16,T17
	P08,P11,T05,T19	transparence (transparency)	I02,I03,I04
Rapport national d'inventaire	P05		P05,P07,P13
rapports nationaux d'inventaire des gaz à effet de serre	P06	troisième rapport d'évaluation(TAR)	I01
		Type de forêt	P07,P08,P09,P10,P11,P12
réalité de terrain	P08,T08,T10		T05,T06,T12,T14,T16,T17,T19
recensement des arbres	P11	UTCATF	P02,P05,P06
	T13,T14,T15,T18	VCS (Verified Carbon Standard)	I01,I03,T04
REDD-Plus	I01,I02,I03,I04,P01,P02,P03	VCU (Verified Certification Units)	P06,T04
	P04,P05,P06,P11,P13,T02	VER (Verified Emission Reduction)	I04,T04
	T03,T04,T13	vérification	I02,I03,P02
réduction des émissions	I01,I02,I03,I04,P01		P06,P11,T04,T08
	P02,P05,P06,P13,T04	vérification du degré de précision	P08,P11,T08,T10
réflexions multiples	P11		
résolution en longueur d'onde	P08,T03,T05		
résolution spatiale	P08,T05,T07,T09		
résolution temporelle	P08,T05		
responsabilité sociale des entreprises	T04		
saisonnalité	T06		
SAR	P07,P08,P11,T05,T19		
SBSTA	I01,I02,I03,P13		

## Auteurs

Shinichi Aikawa <sup>1)</sup>	References Guide	Kei Suzuki <sup>6)</sup>	Recette T03
Satoshi Akahori <sup>5)</sup>	Recette P02	Gen Takao <sup>1)</sup>	Recette I04, P04, T10, T15
Yoshio Awaya <sup>2)</sup>	Recette T19	Shinya Tanaka <sup>1)</sup>	Recette T09
Makoto Ehara <sup>1)</sup>	Recette P03, References Guide	Takeshi Toma <sup>1)</sup>	Recette P01, T03, References Guide
Yasumasa Hirata <sup>1)</sup>	Recette I02, P13	Jumpei Toriyama <sup>1)</sup>	Recette P12, T02
Naoyuki Furuya <sup>1)</sup>	Recette T17	Naoko Tsukada <sup>1)</sup>	Recette P05, P06
Kimihiko Hyakumura <sup>3)</sup>	Recette P03	Satoshi Tsuyuki <sup>4)</sup>	Recette T05
Toshiro Iehara <sup>1)</sup>	Recette T01	Mitsuo Matsumoto <sup>1)</sup>	Recette I01, T04
Eriko Ito <sup>1)</sup>	Recette P11, T16	Toshiya Matsuura <sup>1)</sup>	Recette T08
Tsuyoshi Kajisa <sup>3)</sup>	Recette T11	Nobuya Mizoue <sup>3)</sup>	Recette P10, T12
Satoko Kawarasaki <sup>1)</sup>	References Guide	Yukako Monda <sup>1)</sup>	Recette P09, T14
Yoshiyuki Kiyono <sup>1)</sup>	Recette I03	Tetsushi Ohta <sup>3)</sup>	Recette T07
Hideki Saito <sup>1)</sup>	Recette P08, T06	Yasuhiro Yokota <sup>1)</sup>	Recette P03
Akinobu Sato <sup>6)</sup>	Recette T03		
Tamotsu Sato <sup>1)</sup>	Recette P07, T13, T18		

1) Forestry and Forest Products Research Institute, Japon

2) Gifu University, Japon

3) Kyusyu University, Japon

4) The University of Tokyo, Japon

5) Forestry Agency, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japon

6) Japan Forest Technology Association, Japon

## Editeurs

Yasumasa Hirata • Gen Takao • Tamotsu Sato • Jumpei Toriyama

## Rédaction

Makoto Araki • Yasumasa Hirata • Gen Takao • Tamotsu Sato

Jumpei Toriyama • Naoko Tsukada • Tomomi Fukumi • Atsuko Naka

## Édition française

Masayoshi Takahashi

## Traduction française

Nanaka Translation OFFICE

Traducteurs: Milene WOLF • Keisuke Suetsugu • Isabelle et Tetsuro Sakai

## Citation

Le présent livre doit être cité comme:

Hirata Y, Takao G, Sato T, Toriyama J (eds) (2012) REDD-plus Cookbook. REDD Research and Development Center, Forestry and Forest Products Research Institute Japan, 156pp. ISBN 978-4-905304-15-9

Le présent livre peut être téléchargé sur le site web suivant :  
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/en/reference/cookbook.html>

2017.2



Forestry and Forest Products Research Institute

1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN

REDD Research and Development Center

TEL: +81-29-829-8365 FAX: +81-29-829-8366

URL: <http://www.ffpri.affrc.go.jp/redd-rdc/ja/index.html>

E-mail: [redd-rd-center@ffpri.affrc.go.jp](mailto:red-d-center@ffpri.affrc.go.jp)