



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE



MANUEL DE MESURE, NOTIFICATION ET VÉRIFICATION (MVN) DE LA REDD+, VERSION 2.0

PROGRAMME CARBONE FORESTIER, MARCHÉS ET COMMUNAUTÉS (FCMC)

DÉCEMBRE 2014

This publication was produced for review by the United States Agency for International Development.

L'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID) a lancé le Programme Carbone forestier, marchés et communautés (FCMC) afin d'aider ses missions, les gouvernements partenaires, les parties prenantes locales et internationales à créer et mettre en œuvre des initiatives REDD+. Les services de FCMC incluent l'analyse, l'évaluation, des outils et des recommandations visant à appuyer la conception de programmes, ainsi que des matériels de formation et la préparation et l'animation de réunions et d'ateliers qui confortent les contributions du gouvernement des États-Unis à l'architecture internationale de la REDD+.

Cette publication a été réalisée pour soumission à l'examen de l'Agence des États-Unis pour le développement international par Tetra Tech ARD, au titre d'un ordre de service dans le cadre du contrat à quantité indéfinie Prospérité, Moyens d'existence et Conservation des Écosystèmes (PLACE) (contrat USAID No. EPP-I-00-06-00008-00, numéro d'ordre AID-OAA-TO-11-00022).

Rédacteurs :

- Jennifer Hewson, Conservation International
- Marc Steininger, FCMC & Conservation International
- Stelios Pesmajoglou, Greenhouse Gas Management Institute

Auteurs ayant apporté leur contribution :

- Angel Parra, Consultant ; spécialiste des Inventaires GES et expert du secteur UTCATF
- Gordon Smith, Greenhouse Gas Management Institute
- David Shoch, TerraCarbon, LLC
- John Musinsky, National Ecological Observatory Network
- Fred Stolle, World Resources Institute
- Kemen Austin, World Resources Institute
- Irene Angeletti, Greenhouse Gas Management Institute

Forest Carbon, Markets and Communities (FCMC) Program

1611 North Kent Street
Suite 805
Arlington, Virginia 22209 USA
Telephone: (703) 592-6388
Fax: (866) 795-6462

Stephen Kelleher, Chef de mission
Courriel : stephen.kelleher@fcmcglobal.org

Olaf Zerbock, Représentant de l'agent de négociation des contrats de l'USAID
Courriel : ozerbock@usaid.gov

Personnes à contacter chez Tetra Tech :

Ian Deshmukh, principal conseiller/directeur technique
Courriel : ian.deshmukh@tetratech.com

Tetra Tech
159 Bank Street, Suite 300
Burlington, Vermont 05401 USA
Téléphone : (802) 658-3890
Courriel : (802) 658-4247
E-Mail : international.development@tetratech.com
www.tetrachintdev.com

Veuillez citer ce rapport comme suit :

Hewson, J., M.K. Steininger and S. Pesmajoglou, eds. (2014). REDD+ Measurement, Reporting and Verification (MRV) Manual, Version 2.0. Washington, DC, USA. (Manuel de mesure, notification et vérification (MNV) de la REDD+, Version 2.0. Programme Carbone, marchés et communautés, avec le soutien de l'USAID.

MANUEL DE MESURE, NOTIFICATION ET VÉRIFICATION (MNV) DE LA REDD+, VERSION 2.0

PROGRAMME CARBONE FORESTIER, MARCHÉS ET COMMUNAUTÉS (FCMC)

DÉCEMBRE 2014

AVIS DE NON RESPONSABILITÉ

Les vues de l'auteur exprimées dans cette publication ne représentent pas nécessairement les vues de l'Agence des États-Unis pour le développement international, ou celles du gouvernement des États-Unis.

TABLE DES MATIÈRES

ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS	iv
REMERCIEMENTS.....	viii
I.0 INTRODUCTION	I
I.1 OBJECTIF, PORTÉE ET STRUCTURE.....	I
I.2 CONTEXTE.....	5
I.3 RÉFÉRENCES.....	9
2.0 DISPOSITIFS INSTITUTIONNELS.....	11
2.1 INTRODUCTION.....	11
2.2 ÉLÉMENTS D'UN SYSTÈME MNV POUR LA REDD+	15
2.3 FONCTIONS ET COMPOSANTES CLÉS DES DISPOSITIFS NATIONAUX	18
2.4 ÉTAPES DE L'ÉTABLISSEMENT DE DISPOSITIFS INSTITUTIONNELS.....	22
2.5 EXEMPLES.....	24
2.6 MODÈLES DE SYSTÈME NATIONAL DE L'EPA	30
2.7 REFERENCES	35
3.0 ESTIMER LES ÉMISSIONS ET ABSORPTIONS DES GAZ À EFFET DE SERRE	37
3.1 INTRODUCTION.....	37
3.2 RECOMMANDATIONS DU GIECLES	39
3.3 ÉTAPES DE L'INVENTAIRE ET LA NOTIFICATION.....	47
3.4 DEFINITIONS DES BASSINS DE CARBONE ET DES UTILISATIONS DES TERRES	49
3.5 MÉTHODOLOGIES POUR L'ESTIMATION DES ÉMISSIONS ET ABSORPTIONS	51
3.6 RÉFÉRENCES	59
4.0 INVENTAIRES BASÉS SUR LES RELEVÉS DE TERRAIN.....	61
4.1 INTRODUCTION.....	61
4.2 BASSINS DE CARBONE ET LEURS MESURES.....	66
4.3 CONCEPTS ET ASPECTS À ENVISAGER DANS LA CONCEPTION DE L'INVENTAIRE	69
4.4 L'ÉQUIPE DE L'INVENTAIRE DE CARBONE FORESTIER.....	79
4.5 TRAVAIL SUR LE TERRAIN ET ANALYSE.....	80

4.6 CALCULER LES STOCKS DE CARBONE À PARTIR DES DONNÉES DE TERRAIN	83
4.7 VÉRIFICATION DES DONNÉES.....	89
4.8 CONSOLIDER LES ENSEMBLES DE DONNÉES D'INVENTAIRE.....	91
4.9 MÉTHODE DES GAINS ET DES PERTES.....	93
4.10 RÉFÉRENCES	93
4.11 RESSOURCES SÉLECTIONNÉES	96
5.0 TÉLÉDÉTECTION DU CHANGEMENT DE LA COUVERTURE TERRESTRE	97
5.1 INTRODUCTION.....	97
5.2 UTILISATIONS DES TERRES ET CATÉGORIES DANS LA CCNUCC	99
5.3 ÉTAPES ET BESOINS GÉNÉRAUX.....	107
5.4 APERÇU SUR LA TÉLÉDÉTECTION.....	110
5.5 DOMAINES ÉMERGENTS EN MATIERE DE RECHERCHE.....	132
5.6 REFERENCES	138
5.7 SOURCES DE DONNEES SATELLITAIRES COURANTES POUR LE SUIVI DE L'AFFECTATION DES TERRES	143
5.8 RESSOURCES SELECTIONNÉES	148
6.0 NOTIFICATION ET VERIFICATION : ELEMENTS ET RECOMMANDATIONS	152
6.1 INTRODUCTION.....	152
6.2 NOTIFICATION.....	154
6.3 VERIFICATION	178
6.4 RÉFÉRENCES	190
7.0 REVUES PAR THEMES.....	191
7.1 HISTORIQUE DE LA REDD+ DANS LE CONTEXTE DE LA CCNUCC	191
7.2 SURVEILLANCE COMMUNAUTAIRE	208
7.3 SURVEILLANCE ET SYSTEMES D'ALERTE EN TEMPS QUASI REEL	227

ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

ACP	Analyse en composantes principales (PCA en anglais)
ACR	Registre de carbone des États-Unis
AD	Données d'activités
AFOLU	Agriculture, foresterie et autres utilisations des terres
AGB	Biomasse aérienne
AQ/CQ	Assurance de la qualité et Contrôle de la qualité (QA/QC en anglais)
BRDF	Fonction de distribution de réflectance bidirectionnelle
BUR	Rapports biennaux d'actualisation
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (UNFCCC en anglais)
CH4	Méthane
CI	Conservation International
CMP	Conférence des Parties agissant comme réunion des Parties dans le cadre du Protocole de Kyoto
CO2	Dioxyde de carbone
COP	Conférence des Parties
CV	Coefficient of Variation
DBH	Diamètre à hauteur de poitrine
DT	Arbres décisionnels
EFDB	Base de données des facteurs d'émissions
EF	Facteurs d'émissions
EM	Électromagnétique
EOS	Système d'observation de la Terre
EPA	Agence américaine pour la protection de l'environnement
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FAS	Système d'alerte incendies
FCMC	Programme Carbone forestier, marchés et communautés
FCPF	Fonds de partenariat pour le carbone forestier

FECB	Facteurs d'expansion et de conversion de biomasse (BCEF en anglais)
FEM	Fonds pour l'environnement mondial (GEF en anglais)
FIRMS	Information incendies pour le système de gestion des ressources
FREL	Niveau d'émission de référence pour les forêts
FRL	Niveau de référence pour les forêts
FSI	Institut indien de recensement forestier
FUNCATE	Fondation pour les sciences, les applications et la technologie spatiales
GFIMS	Système mondial de gestion de l'information sur les incendies
GFOI MGD	Documentation sur les méthodes et recommandations de l'Initiative mondiale de l'Observation des forêts
GFW	Global Forest Watch
GES	Gaz à effet de serre (GHG en anglais)
GHGMI	Institut de gestion des gaz à effet de serre
GLAS	Système laser altimétrique Géoscience
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC en anglais)
GOFC-GOLD	Observation mondiale des dynamiques de couverture forestière et terrestre
GPG-UTCRAFT	Recommandations en matière de bonnes pratiques pour l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie (GPG-LULUCF en anglais)
GPS	Système mondial de géolocalisation
IDEAM	Institut d'hydrologie, de météorologie et d'études environnementales de la Colombie
ILUA	Évaluation de l'utilisation intégrée des terres
INPE	Institut national de recherche spatiale du Brésil
KCA	Analyse des catégories clés
LDCM	Mission de continuité des données de Landsat
LEDS	Stratégies de développement à faible émission
LiDAR	Détection et localisation par la lumière
LUC	Changement dans l'affectation des terres
MADS	Ministère du développement durable de Colombie
MAAN	Mesures d'atténuation appropriées aux niveaux national et international (NAMA en anglais)
MCT	Ministère brésilien de la science, la technologie et l'innovation
MMU	Unité cartographique minimale

MNE	Modèle numérique d'élévation (DEM en anglais)
MNV	Mesure, notification et vérification (MRV en anglais)
N20	Oxyde d'azote
NASA	Agence nationale des États-Unis pour l'aéronautique et l'espace
NC	Communications nationales
NFMS	Système national de surveillance des forêts
NGGIP	Programmes des inventaires nationaux des gaz à effet de serre
NN	Réseaux neuronaux
NRT	En temps quasi réel
ONG	Organisation non gouvernementale (NGO en anglais)
PNUD	Programme des Nations Unies pour le développement (UNDP en anglais)
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement (UNEP en anglais)
PRODES	Projeto De Estimativa De Desflorestamento da Amazônia (Programme de suivi de la déforestation de l'Amazonie brésilienne)
QUICC	Indicateur trimestriel du changement du couvert forestier
RADAR	Détection et télémétrie par radioélectricité
REDD+	Réduction des émissions résultant de la déforestation et de la dégradation des forêts, plus le rôle de la conservation, de la gestion durable des forêts et de l'accroissement des stocks de carbone forestier.
SBSTA	Organe subsidiaire du Conseil scientifique et technique
SES	Respect social et environnemental
SIG	Système d'information géographique (GIS en anglais)
SINA	Système national de l'environnement de la Colombie
SLR	RADAR à visée latérale
SRTM	Mission de cartographie radar de la Terre
TACCC	Principes de transparence, d'exactitude, d'exhaustivité, de comparabilité et de cohérence du GIEC
TOA	Sommet de l'atmosphère
UMD	Université du Maryland
USAID	Agence des États-Unis pour le développement international
USGS	Service géologique des États-Unis
VCS	Norme de carbone vérifiée

WG

Groupe de travail

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les divers collègues dans nos organisations qui ont commenté le texte, y compris Colin Silver, Maggie Roth, Rishi Das et Leif Kindberg de FCMC ; Karyn Tabor, Mario Chacon et Johnson Cerda de Conservation International ; Deborah Lawrence de l'University of Virginia ; Andrew Lister, Ronald McRoberts et Charles Scott de l'US Forest Service ; Chris Potter du Centre de recherche Ames de la NASA (US National Aeronautics and Space Administration) ; Christine Dragisic du département d'État américain ; Megan McGroddy, consultante à SilvaCarbon ; Michael Gillenwater du Greenhouse Gas Management Institute (Institut de gestion des gaz à effet de serre) ; Asim Banksota de l'University of Minnesota ; Axel Penndorf de BlackBridge ; Frank Martin Seifert de l'Institut européen de recherches spatiales (ESRIN) pour l'observation de la Terre ; Carly Green et Jim Penman de Global Forest Observations Initiative (Initiative mondiale de l'Observation des forêts) ; Brice Mora de Global Observation of Forest Cover and Land Dynamics (Observation mondiale des dynamiques de couverture forestière et terrestre) ; et des membres du bureau de l'USAID pour le changement climatique. Les auteurs remercient également les personnes et organisations ayant mis les graphiques à la disposition de ce manuel, y compris le American Museum of Natural History (Musée d'histoire naturelle des États-Unis) ; John Rogan de Boston University et Jamie Eaton de TerraCarbon LLC. D'autres figures proviennent des sites Internet de la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique, du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat et du Programme Landsat.

I.0 INTRODUCTION

Auteurs : *Marc Steininger, Fred Stolle, Jennifer Hewson et Stelios Pesmajoglou*

I.I OBJECTIF, PORTÉE ET STRUCTURE

L'objectif de ce manuel est de proposer un examen global des données, des modèles, des techniques et des méthodes de comptabilisation pouvant faire partie d'un système de Mesure, notification et vérification (MNV) en vue de la Réduction des émissions résultant de la déforestation et de la dégradation des forêts, plus le rôle de la conservation, de la gestion durable des forêts et de l'accroissement des stocks de carbone forestier (REDD+) dans les pays en développement. Il est à prendre en compte dans le contexte de la REDD+ en tant que mécanisme exposé dans la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC). Ce manuel a pour but de donner des informations aux décideurs sur la REDD+, ainsi qu'aux personnes chargées de la mise en œuvre de la MNV sur le plan national.

I.I.I Public

Ce manuel est destiné à un public divers. Il s'adresse tout d'abord aux personnes chargées de planifier et de développer un système MNV dans le cadre d'un organe national ou infranational. Même si ces personnes n'effectuent peut-être pas elles-mêmes des activités propres à la MNV, telles que le travail sur le terrain, le traitement de données, l'analyse et l'établissement de rapports, elles doivent en comprendre les implications au niveau du temps du personnel, des financements, de l'expertise, du renforcement des capacités, des questions d'exactitude et des choix concernant les différentes techniques et méthodes. Il est important qu'elles aient une vue d'ensemble de tous les aspects relatifs à un système MNV pour leur permettre d'envisager une structure au sein de l'organe, de comprendre l'éventail des composantes et de participer à des discussions basées sur des informations précises sur les données, les techniques et les besoins en matière de personnel et d'équipement pour la comptabilisation des gaz à effet de serre (GES). Il leur faut également des connaissances de base sur la terminologie et les concepts MNV afin de prendre langue avec les consultants, savoir quelles sont les questions à poser et pouvoir comparer avec un esprit critique les différents conseils qu'elles pourraient recevoir.

Ce manuel s'adresse également aux directeurs et techniciens participant à la conception d'une sous-composante d'un système MNV. Il vise à les aider à envisager ce type de conception et à comprendre la sous-composante dans un contexte plus vaste. Sur le plan infranational, on peut supposer que les dispositifs et les exigences sont semblables à ceux existant au niveau national et que la coordination avec le gouvernement national sera très importante. Même si l'ensemble du processus MNV se déroule au niveau d'une juridiction infranationale, certains aspects de la MNV peuvent toutefois être menés nationalement afin de réduire les coûts et de favoriser la normalisation.

Les personnes œuvrant dans le cadre d'initiatives sur site peuvent également trouver ce manuel adapté à leurs besoins en matière de MNV. La Norme de carbone vérifiée (VCS) et le Registre de carbone américain (ACR) sont des exemples de programmes ayant un rôle de soutien sur les marchés de carbone volontaires en enregistrant les réductions d'émissions annoncées par les initiatives au niveau d'un site. Ces programme fournissent des méthodologies approuvées pour l'estimation des bases de référence de la REDD+ et la MNV, de même que des approches REDD+ intégrées, lorsque la comptabilisation et le suivi peuvent être coordonnés. Les aspects techniques de ces méthodologies sont

souvent différents des Lignes directrices du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, notamment celles ayant trait à la définition des classes d'utilisation des terres et aux estimations des stocks de carbone. D'autres aspects dépendent de technologies et méthodologies semblables à celles existant sur le plan national.

1.1.2 Portée et structure

Le manuel commence par un aperçu général des composantes de programme nécessaires pour un système MNV, y compris un exposé des dispositifs nationaux exigés par la CCNUCC (Chapitre 2). Les trois chapitres suivants portent sur le processus de Mesure, soit les Inventaires GES (Chapitre 3) et leurs principaux intrants, les Inventaires basés sur les relevés de terrain (Chapitre 4) et le Changement de l'affectation des terres (Chapitre 5). Le Chapitre 6 traite des processus de Notification et Vérification.

Le Chapitre 7 propose trois revues par thèmes à titre d'informations supplémentaires. Le premier (Section 7.1) porte sur les négociations de la CCNUCC en matière de REDD+ et sur le rôle du GIEC pour les recommandations dans le cadre de la MNV. Les deux autres sections abordent les activités pouvant faire partie des systèmes MNV, mais qui ont été définies au sens large jusqu'à présent ou sont mises à l'essai dans divers pays : les MNV basées sur la communauté sur la communauté et la surveillance en temps quasi réel (NRT) (Section 7.3). Un bref glossaire figure au début du manuel.

Le lecteur remarquera que certains chapitres comportent moins de descriptions que d'autres. C'est là une indication de l'état actuel des connaissances scientifiques et des recommandations sur ces sujets. Par exemple, les Lignes directrices du GIEC contiennent des exigences et des formats de notification spécifiques pour les inventaires GES. Elles donnent également des conseils spécifiques pour mesurer les stocks de carbone, en se fondant sur la longue tradition des méthodes de terrain dans les inventaires forestiers. En revanche, même si le GIEC fournit des formats pour notifier les changements dans l'affectation des terres, il donne relativement peu de conseils sur la façon d'estimer ces changements. Dans la majorité des cas, la télédétection, essentiellement par le biais de l'analyse de données numériques acquises par satellite, est nécessaire pour surveiller les changements dans l'affectation des terres. La télédétection est un domaine en pleine évolution avec les nouvelles technologies, et comporte une variété d'approches et de facteurs de décision valant la peine d'être pris en considération. Le Chapitre 5 donne un aperçu des étapes à suivre pour sélectionner un système de surveillance du changement dans l'affectation des terres.

Ce manuel complète d'autres sources disponibles portant sur la MNV en matière de REDD+. Elles comprennent le *Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics (GOFC-GOLD) Sourcebook*¹ (Recueil sur l'Observation mondiale des dynamiques de couverture forestière et terrestre) et la *Global Forest Observation Initiative (GFOI)'s Methods and Guidance Documentation (MGD)*² (Documentation sur les méthodes et recommandations de l'Initiative mondiale de l'Observation des forêts). Le recueil GOFC-GOLD propose chaque année une revue actualisée de la science et donne des informations approfondies sur les technologies en plein essor et une série d'exemples, même si sa présentation est très conceptuelle. Le GFOI MGD présente un guide par étapes, avec des approches aisément applicables pour générer par exemple des données d'activités basées sur la télédétection, et des facteurs

¹ Le recueil est disponible sur le site : http://www.gofcgold.wur.nl/redd/sourcebook/GOFC-GOLD_Sourcebook.pdf

² Le MGD est disponible sur le site : <http://www.gfoi.org/methods-guidance-documentation>

d'émissions fondés sur des inventaires au sol. Ce manuel couvre les composantes majeures du développement d'un système MNV. Il met davantage l'accent sur les matières ayant trait aux dispositifs institutionnels, ainsi que la notification et la vérification, contenant des chapitres détaillés sur ces sujets. Le lecteur devrait utiliser toutes les ressources disponibles. Un bref glossaire figure au début du manuel.

La Section 3.3 du manuel, Étapes de l'inventaire et la notification, décrit la séquence des étapes requises pour générer un inventaire national des gaz à effet de serre (GES). L'étape ou les étapes couvertes dans chaque chapitre sont mises en évidence dans un schéma des Étapes de l'Inventaire et notification au début de chaque chapitre. Puisque le processus nécessite des étapes qui peuvent être élaborées i) selon un ordre chronologique, ii) en même temps, ou iii) certains éléments d'une étape peuvent être développés avant les autres, les sujets se rapportant à une étape sont parfois traités dans un chapitre ultérieur, comme l'indique la Figure I.1 ci-dessous.

FIGURE 1.1 : LES ETAPES DE L'INVENTAIRE ET DE LA NOTIFICATION TRAITÉES PAR CHAPITRE

ÉTAPE 0 : Établir des dispositifs institutionnels. **Chapitre 2**



ÉTAPE 1 : Estimer les superficies terrestres dans chaque catégorie d'occupation des terres, par stratification ou une autre méthode, pour la durée requise, pour les superficies représentées dans les GPG-UTCATF. **Chapitre 5**



ÉTAPE 2 : Faire une analyse des grandes catégories (KCA) pour les catégories pertinentes. Dans les catégories jugées essentielles, évaluer les gaz non-CO₂ et les bassins de carbone importants, et établir la priorité en terme de choix méthodologique. **Chapitre 3**



ÉTAPE 3 : Préparer un inventaire du carbone forestier afin de générer des facteurs d'émission (EF), si la méthode des gains et des pertes est utilisée ; s'assurant que les exigences en matière de facteurs d'émission et d'absorption sont satisfaites. Les EF représentent les coefficients qui quantifient les émissions/absorptions par unité de surface. **Chapitre 4**



ÉTAPE 4 : Générer des données d'activités (AD) ; correspondant au Niveau déterminé. Les AD représentent l'étendue sur laquelle une activité humaine a lieu. **Chapitre 5**



ÉTAPE 5 : Quantifier les émissions et absorptions ; en estimant l'incertitude dans chaque estimation. Les estimations des émissions et des absorptions représentent la multiplication des AD par les EF qui y sont liés. **Chapitre 3**



ÉTAPE 6 : Notifier les estimations des émissions et des absorptions ; en utilisant les tableaux de notification et les fiches de travail, si nécessaire. Documenter/archiver les informations utilisées pour établir les estimations nationales des émissions et des absorptions, en suivant les instructions spécifiques à chaque catégorie/changement d'affectation des terres, bassin de carbone et source non-CO₂. **Chapitre 6**



ÉTAPE 7 : Faire une vérification et mettre en place des contrôles de la qualité ; y compris des examens par les pairs des estimations des émissions en suivant les recommandations spécifiques pour chaque utilisation des terres, les bassins et les gaz non-CO₂. **Chapitre 6**

1.2 CONTEXTE

1.2.1 Réduire les émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD+)

Il est prévu que la REDD+ sera mise en œuvre en majorité dans les pays tropicaux en développement, où se produisent la plupart des émissions provenant des forêts dans l'ensemble des pays en développement. Les forêts tropicales de la planète sont riches en ressources naturelles. Elles contiennent pratiquement 50 pour cent des espèces existantes sur Terre sur moins de 5 % de la surface terrestre (Mittermeier et Robles Gil, 2005). En outre, ces forêts fournissent un large éventail de services écosystémiques, y compris le bois d'œuvre, le bois de chauffage, la purification de l'eau, ainsi que des valeurs culturelles et religieuses. Ces bénéfices sont cruciaux pour les plus de 50 millions d'habitants vivant dans ces forêts tropicales et beaucoup d'autres millions indirectement tributaires de ces services forestiers. Par ailleurs, les forêts tropicales à travers le monde aident à réguler le climat en conservant plus de 200 milliards de tonnes métriques de carbone (Baccini et al., 2012).

Pour autant, notre planète perd actuellement plus de sept millions d'hectares de forêts par an (Hansen et al., 2014). Ce taux de déforestation a de sérieuses implications pour la biodiversité, les communautés rurales dépendant de la forêt pour leur alimentation et leurs revenus, et pour les effets des émissions GES sur le climat mondial. Selon le Cinquième rapport d'évaluation du GIEC (GIEC 2014), les émissions annuelles nettes de GES provenant de l'utilisation des terres et des activités du changement de l'affectation des terres entre 2000 et 2010 étaient responsables d'environ 4,3 à 5,5 milliards de tonnes métriques d'équivalent de dioxyde de carbone (GtCO₂eq) par an, ce qui représente à peu près 12 pour cent des émissions mondiales de CO₂.

Alors que la déforestation sous les tropiques contribue de manière très importante aux émissions mondiales, de nombreux pays tropicaux forestiers n'ont pas suffisamment d'informations précises et à jour sur le couvert forestier, sur les variations de la teneur en carbone qui se produisent dans leurs forêts et sur les facteurs de ces variations. Les pays doivent avoir ces informations pour pouvoir gérer leurs forêts.

Les efforts visant à proposer des paiements pour des services écosystémiques peuvent créer des conditions favorables pour limiter la déforestation et, s'ils sont efficaces, permettre de mieux répondre aux besoins des communautés dépendant des forêts. Les travaux en matière de REDD+ au titre de la CCNUCC en font partie. Le Plan d'action de Bali de la CCNUCC (2007) avait montré le désir accru des pays industrialisés et des donateurs de payer pour des projets et des politiques réduisant la déforestation dans les pays en développement, ce souhait ayant été renforcé par la suite dans les « Accords de Cancún ». La volonté du soutien international est également démontrée par le lancement de programmes comme le Fonds de partenariat pour le carbone forestier (FCPF) et le Programme des Nations Unies pour la Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts (ONU-REDD), de même que par plusieurs efforts bilatéraux. Le principe de la REDD+ et la disponibilité de fonds ont suscité un intérêt considérable parmi les pays en développement. Cependant, pour répondre aux exigences en matière de REDD+ (telles que décrites dans les chapitres suivants), un renforcement significatif des capacités est nécessaire. Afin de renforcer ces capacités indispensables à la préparation et l'anticipation de la REDD+, les donateurs ont appuyé des programmes de préparation dans de nombreux pays ayant besoin de meilleures capacités techniques. Une composante majeure pour la REDD+ et un point important des différentes initiatives incluent la formation et le développement de systèmes MNV nationaux.

Un système de Mesure, notification et vérification (MNV) doit être intégré dans l'élaboration générale d'une stratégie REDD+ pour un pays, puisque les politiques doivent inclure des dispositions visant à garantir la conformité et mesurer leur impact. Il s'agit notamment de coordonner les Mesures

d'atténuation appropriées aux niveaux national et international (MAAN) d'un pays et les notifications qui en font partie. Certains pays développent des programmes REDD+ intégrés, au titre desquels les activités se déroulent sur deux niveaux ou plus, par exemple au niveau d'un site, d'un État ou d'une province et du pays. Dans ces situations, la MNV doit être coordonnée entre les différents niveaux pour avoir la certitude que les systèmes MNV infranationaux s'accordent avec le système national. Et enfin, un système MNV doit être lié aux prises de décisions et à l'application afin de disposer d'une meilleure gestion adaptative et d'une meilleure mise en œuvre des politiques au niveau national.

La CCNUCC possède des organes spécialisés, dont l'Organe subsidiaire du Conseil scientifique et technique (SBSTA), l'un des deux organes subsidiaires permanents auprès de la Convention. Dans le cadre de la REDD+, le SBSTA fait des recommandations au sujet des éléments techniques et méthodologiques de la REDD+, y compris la MNV et les niveaux de référence, et prodigue des conseils à la Conférence des Parties auprès de la CCNUCC (COP) et à la Conférence des Parties agissant comme réunion des Parties dans le cadre du Protocole de Kyoto (CMP)³ par le biais d'informations en temps voulu sur les matières scientifiques et techniques dans le cadre de la Convention ou du Protocole.

Les *Recommandations en matière de bonnes pratiques pour l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie* (GPG-UTCATF) du GIEC, citées dans ce document, sont une ressource essentielle et portent sur les exigences générales en matière de notification et les critères détaillés pour des aspects particuliers de la MNV. Le GIEC a été constitué par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et l'Organisation météorologique mondiale (OMM) à titre d'organe intergouvernemental des Nations Unies ; 195 pays sont membres du GIEC aujourd'hui. Les GPG-UTCATF remplissent une fonction essentielle en stipulant les exigences de notification dans le contexte de la CCNUCC et les méthodologies pour la MNV. Elles sont souvent citées dans ce manuel.

En plus des principaux organes de conseils techniques, le SBSTA et le GIEC, d'autres organisations liées au processus de la CCNUCC procurent des financements et exécutent des projets pilotes ou des programmes de pays afin de mieux faire comprendre la REDD+. Le Fonds pour l'environnement mondial (FEM), une entité de la Convention chargée du financement, apporte une aide financière aux pays en développement par l'intermédiaire de ses agences d'exécution, le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), le PNUE et la Banque mondiale. Quelques accords bilatéraux procurent également une aide financière et technique aux Parties⁴ non visées à l'Annexe I pour la préparation de leurs communications nationales.

³ La COP est l'organe suprême de prise de décision de la CCNUCC. Tous les États Parties à la Convention sont représentés dans la COP, au sein de laquelle ils examinent la mise en œuvre de la Convention et tout autre instrument juridique que la COP adopte, et prennent les décisions nécessaires pour favoriser la mise en œuvre efficace de la Convention, y compris les dispositifs institutionnels et administratifs. Tous les États Parties au Protocole de Kyoto sont représentés à la CMP, alors que les États qui ne sont pas Parties y participent à titre d'observateurs. La CMP revoit la mise en œuvre du Protocole de Kyoto et prend des décisions visant à encourager sa mise en place effective.

⁴ La CCNUCC répartit les pays en deux groupes principaux : Les Parties visées à l'Annexe I et les Parties non visées à l'Annexe I. Les Parties visées à l'Annexe I (appelées ainsi car ces pays sont énumérés dans l'Annexe I de la CCNUCC) incluent les pays industrialisés qui étaient membres de l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) en 1992, plus les pays en transition vers une économie de marché (Parties EIT), y compris la Fédération de Russie, les États baltiques et plusieurs États d'Europe centrale et orientale. Les Parties non visées à l'Annexe I sont tous les autres pays ne figurant pas sur la liste de l'Annexe I à la Convention et sont en majorité des pays en développement. Certains groupes de pays en développement sont reconnus par la CCNUCC comme étant particulièrement vulnérables aux répercussions négatives du changement climatique, y compris les pays avec des zones côtières de faible altitude et ceux susceptibles de désertification et de sécheresse. D'autres pays (comme les pays dépendant fortement de revenus tirés de la production et du commerce de carburant fossile) se sentent plus vulnérables aux impacts économiques potentiels face aux mesures prises pour réagir aux changements climatiques.

Pratiquement tous ces efforts visent à appuyer la REDD+ au titre d'un mécanisme de paiement fondé sur la performance, et mettent donc l'accent sur une MNV de haute qualité. Pour autant, la qualité de la MNV n'est pas toujours garantie en raison de plusieurs facteurs :

- *Le manque d'informations permettant d'évaluer les politiques et d'établir des objectifs et des compensations réalistes.* Les renseignements sur les forêts et l'utilisation des terres doivent être continuellement actualisés, systématiquement archivés et mis à la disposition des décideurs pour qu'ils puissent les évaluer en temps voulu. Les données sur les changements du couvert forestier à l'échelle du pays ne sont pas collectées de manière systématique et il n'y a pas souvent de méthodes et de systèmes pour détecter le défrichement et la dégradation des forêts. Les informations sur les stocks et les flux de carbone n'existent pas, et les pays ne peuvent pas systématiquement comptabiliser les émissions GES résultant des secteurs d'utilisation des terres.
- Le manque de modèles existants pour générer les informations susceptibles de guider les décideurs dans la conception des politiques et des programmes. Il existe peu d'exemples de systèmes MNV nationaux et détaillés. Les mécanismes pour partager les données, les méthodologies et les expériences sont insuffisants pour encourager leur reproduction.
- *Le manque de capacités pour recueillir et utiliser les informations sur le couvert forestier et le carbone forestier.* Plusieurs pays n'ont pas les connaissances ou les capacités nécessaires pour évaluer les impacts d'autres choix de politique sur l'étendue des forêts, les stocks de carbone et l'économie.
- Le manque de transparence résultant du fait de ne pas partager les données sur les forêts et les mécanismes de carbone forestier en vue de faciliter une vaste participation de la société civile dans les décisions en matière de REDD+. Il n'existe pas de système de surveillance indépendant pouvant tenir le gouvernement responsable de ses décisions en matière de politiques.

La Version 1 du Manuel MNV du FCMC avait été diffusée à la COP19 à Varsovie, Pologne (novembre 2013). La Version 2 contient des révisions et des mises à jour dans les différents chapitres à la suite de commentaires d'utilisateurs et des principales décisions REDD+ prises depuis la publication de la Version 1, y compris les décisions adoptées à la COP19, connues collectivement sous le nom de « Cadre de Varsovie pour la REDD+ ». Les décisions sont décrites ci-dessous, et les Décisions 10-15/CP.19 sont citées dans l'ensemble du manuel. L'encadré 1.2 donne un aperçu de la Décision 9/CP.19 puisqu'elle ne concerne pas vraiment les sujets couverts et ne sera plus citée dans le manuel.

ENCADRE I.I : LE PROGRAMME CARBONE FORESTIER, MARCHES ET COMMUNAUTES (FCMC)

Le gouvernement des États-Unis (USG) a promis un don de 1 milliard de \$ à titre de « démarrage rapide » pour 2010 à 2012, afin d'aider des pays à développer et mettre en œuvre des plans REDD+ qui contribuent à des moyens d'existence durables, protègent la biodiversité et respectent les droits des peuples autochtones, des femmes, des pauvres et des populations vulnérables. L'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID) a dirigé la mise en œuvre des activités REDD+, avec des financements affectés par le biais du volet de gestion durable des paysages de son programme mondial sur le changement climatique. En réponse à la demande de contributions techniques dans le but d'améliorer le cadre international pour la REDD+ et dans le cadre de l'aide technique pour mettre en place des programmes et des projets liés à la REDD+, l'USAID a lancé le Programme carbone forestier, marchés et communautés (FCMC) (2011-2015) afin d'apporter une aide technique aux missions, aux gouvernements partenaires et aux parties prenantes locales et internationales dans le but de développer et de mettre en œuvre des initiatives REDD+.

Le FCMC renforce les capacités techniques en développant des outils et des formations appuyant les contributions de l'USG à l'architecture internationale de la REDD+. Les compétences techniques fournies par le FCMC présentent une approche intégrée pour aborder le respect social et environnemental (SES) ; les finances et les marchés du carbone (FCM) ; la mesure, notification et vérification (MNV) ; et les stratégies de développement à faible émission (LEDS).

Le travail MNV dans le cadre du FCMC se concentre sur le renforcement des capacités dans le cadre des protocoles liés à la REDD+. L'équipe du FCMC englobe Conservation International (CI), Greenhouse Gas Management Institute (GHGMI - Institut de gestion des gaz à effet de serre) et World Resources Institute (WRI - Institut des ressources mondiales) sous la coordination de Tetra Tech, l'organisation dirigeant le FCMC.

- **Décision 9/CP.19** : Programme de travail sur le financement axé sur les résultats visant à favoriser la pleine mise en œuvre des activités mentionnées au paragraphe 70 de la Décision 1/CP.16 – Voir l'Encadré I.2.
- **Décision 10/CP.19** : Coordination de l'appui à la mise en œuvre d'activités relatives aux mesure d'atténuation dans le secteur forestier par les pays en développement, y compris les dispositifs institutionnels.
- **Décision 11/CP.19** : Modalités de fonctionnement des systèmes nationaux de surveillance des forêts.
- **Décision 12/CP.19** : Calendrier et fréquence de présentation de résumés des informations sur la manière dont les garanties visées à l'appendice I de la Décision 1/CP.16 sont prises en compte et respectées.
- **Décision 13/CP.19** : Lignes directrices et procédures relatives à l'évaluation technique des communication des Parties sur les niveaux d'émission de référence pour les forêts et/ou les niveaux de référence pour les forêts proposés.
- **Décision 14/CP.19** : Modalités de mesure, de notification et de vérification.
- **Décision 15/CP.19** : Prise en considération des facteurs déterminants du déboisement et de la dégradation des forêts.

Des modifications techniques ont également été faites dans chaque chapitre technique. Enfin, un nouveau Manuel de Mesure, Notification et Vérification (MNV) de la REDD+ par le FCMC plus court, intitulé Overview (« Généralités » ci-après dans ce document) est fourni en plus de ce manuel. Les Généralités ne sont pas aussi détaillées que les chapitres techniques, mais elles sont plus approfondies que le Résumé à l'intention des décideurs (Summary for policymakers). Les Généralités présentent un sommaire des composantes de la MNV et le processus pour développer un système MNV durable. Elles proposent également une liste de vérification pour les étapes en vue de développer le système que les pays peuvent utiliser ou adapter selon leurs propres situations. Suivre les progrès pour l'établissement d'un système de ce type dans un pays peut être utile.

ENCADRE 1.2 : PROGRAMME DE TRAVAIL SUR LE FINANCEMENT BASE SUR LES RESULTATS POUR FAIRE AVANCER LA MISE EN ŒUVRE COMPLETE DES ACTIVITÉS REDD+

Avec l'adoption de la Décision 9/CP.19, les gouvernements œuvrant au titre de la CCNUCC ont affirmé à nouveau que le financement, accordé en fonction des résultats et fourni aux pays en développement pour la mise en place totale des activités REDD+, pourrait provenir d'une variété de ressources publiques ou privées, bilatérales et multilatérales, y compris d'autres sources.

Ils ont également convenu que les pays en développement cherchant à obtenir et à recevoir des paiements basés sur les résultats devraient fournir le résumé d'informations le plus récent sur la manière dont toutes les sauvegardes ont été abordées et respectées avant de pouvoir recevoir des paiements basés sur les résultats.

La COP a encouragé les organismes finançant des activités REDD+, y compris le Fonds vert pour le climat, d'acheminer collectivement le financement basé sur les résultats, adéquats et prévisibles, d'une manière équitable et équilibrée, en tenant compte d'approches de politiques différentes. Elle a également décidé d'établir un hub d'information sur la plateforme Internet de la CCNUCC comme méthode de publication des informations sur les résultats des activités REDD+ et les paiements basés sur les résultats correspondants.

1.3 RÉFÉRENCES

- Baccini, A., S.J. Goetz, W.S. Walker, N.T. Laporte, M. Sun, D. Sulla-Menashe, J. Hackler, P.S.A. Beck, R. Dubayah, M.A. Friedl, S. Samanta, and R.A. Houghton. 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change* 2:182-185. doi:10.1038/nclimate1354
- Hansen, M.C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S.A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S.V. Stehman, S.J. Goetz, T.R. Loveland, A. Komarodeey, A. Egorov, L. Chini, C.O. Justice, and J.R.G. Townshend. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342(6160):850-853. doi: 10.1126/science.1244693
- IPCC. 2014. Smith P., M. Bustamante, H. Ahammad, H. Clark, H. Dong, E.A. Elsiddig, H. Haberl, R. Harper, J. House, M. Jafari, O. Masera, C. Mbow, N.H. Ravindranath, C.W. Rice, C. Robledo Abad, A. Romanovskaya, F. Sperling, and F. Tubiello. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T.

Zwickel and J.C. Minx, eds.. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Mittermeier, R. and P. Robles Gil. 2005. Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions, Conservation International, 392 pp.

2.0 DISPOSITIFS INSTITUTIONNELS

Auteur : Stelios Pesmajoglou

2.1 INTRODUCTION

Ce chapitre aborde les principaux éléments d'un système de Mesure, notification et vérification (MNV) pour réduire les émissions résultant de la déforestation et de la dégradation des forêts, plus le rôle de la conservation, de la gestion durable des forêts et de l'accroissement des stocks de carbone forestier (REDD+), et les fonctions et composantes essentielles des dispositifs institutionnels. Il souligne les principales étapes pour établir des dispositifs nationaux et décrit les dispositifs administratifs et organisationnels essentiels, y compris les rôles et responsabilités des différentes parties prenantes. La Section 3.3 du manuel, Étapes de l'inventaire et la notification, décrit la chronologie des étapes requises pour générer un inventaire national des gaz à effet de serre (GES). Ce chapitre concerne les activités mises en évidence à la page suivante.

ÉTAPE 0 : Établir des dispositifs institutionnels.



ÉTAPE 1 : Estimer les superficies terrestres dans chaque catégorie d'occupation des terres, par stratification ou une autre méthode, pour la durée requise, pour les superficies représentées dans les GPG-UTCATF.



ÉTAPE 2 : Faire une analyse des grandes catégories (KCA) pour les catégories pertinentes. Dans les catégories jugées essentielles, évaluer les gaz non-CO₂ et les bassins de carbone importants, et établir la priorité en terme de choix méthodologique.



ÉTAPE 3 : Préparer un inventaire du carbone forestier afin de générer des facteurs d'émission (EF), si la méthode des gains et des pertes est utilisée ; s'assurant que les exigences en matière de facteurs d'émission et d'absorption sont satisfaites. Les EF représentent les coefficients qui quantifient les émissions/absorptions par unité de surface.



ÉTAPE 4 : Générer des données d'activités (AD) ; correspondant au Niveau déterminé. Les AD représentent l'étendue sur laquelle une activité humaine a lieu.



ÉTAPE 5 : Quantifier les émissions et absorptions ; en estimant l'incertitude dans chaque estimation. Les estimations des émissions et des absorptions représentent la multiplication des AD par les EF qui y sont liés.



ÉTAPE 6 : Notifier les estimations des émissions et des absorptions ; en utilisant les tableaux de notification et les fiches de travail, si nécessaire. Documenter/archiver les informations utilisées pour établir les estimations nationales des émissions et des absorptions, en suivant les instructions spécifiques à chaque catégorie/changement d'affectation des terres, bassin de carbone et source non-CO₂.



ÉTAPE 7 : Faire une vérification et mettre en place des contrôles de la qualité ; y compris des examens par les pairs des estimations des émissions en suivant les recommandations spécifiques pour chaque utilisation des terres, les bassins et les gaz non-CO₂.

Conformément à la Décision I/CP.16, les actions basées sur les résultats REDD+, qui doivent être complètement mesurées, notifiées et vérifiées, devraient être mises en œuvre en suivant une approche en trois phases (voir l'Encadré 2.1). Une des principales actions pour la Phase I est l'établissement de dispositifs institutionnels, appelés aussi parfois « systèmes nationaux » qui garantissent une MNV transparente, comparable, cohérente, exhaustive et précise (voir l'Encadré 2.2) des émissions et absorptions GES liées aux activités REDD+.

ENCADRE 2.1 APPROCHE EN 3 PHASES POUR LA REDD+

Pendant la **Phase 1** (appelée souvent « préparation à la REDD+ »), les pays élaborent : une stratégie nationale ou un plan d'action national ; un Niveau national d'émission de référence des forêts et/ou ou un Niveau national de référence des forêts ; un système national de surveillance forestière solide et transparent ; et un système pour fournir des informations sur la manière selon laquelle les sauvegardes sociales, juridiques et environnementales sont traitées et respectées pendant toute la mise en œuvre des activités REDD+.

La **Phase 2** vise la mise en place de politiques et mesures nationales, et de stratégies ou plans d'action nationaux, qui pourraient concerner un renforcement des capacités, le développement et le transfert technologique et des activités de démonstration basées sur les résultats.

La **Phase 3** porte sur la mise en place d'actions basées sur les résultats qui peuvent être pleinement mesurées, notifiées et vérifiées.

Étant donné que les pays sont à des niveaux divers en matière de développement et ont des besoins différents concernant le renforcement des capacités, la mise en œuvre des trois phases se déroule à des moments différents. Par exemple, certains pays devront partir de rien et s'assurer de suivre d'abord les deux premières phases avant d'être prêts à mettre en place des activités REDD+, alors que d'autres peuvent sauter les premières phases, s'ils ont déjà mis en place les éléments requis lors des Phases 1 et 2.

ENCADRE 2.2 DEFINITIONS DES ELEMENTS DE LA MNV

La **Mesure** signifie la mesure directe ou indirecte des émissions ou des absorptions provenant des superficies forestières. La mesure indirecte concerne l'estimation des réductions des émissions à l'aide d'équations basées sur des données sur les superficies des terres et des facteurs spécifiques d'émission ou de l'utilisation de modèles complexes prenant en compte un certain nombre de paramètres différents qui affectent la libération ou la séquestration du carbone et des autres GES.

La **Notification** signifie la présentation des informations mesurées de manière transparente et (souvent) normalisée. Les informations notifiées englobent les données liées à la forêt et les estimations de GES, ainsi que les méthodologies utilisées pour les obtenir, de même que d'autres points y afférent, tels que les activités d'assurance de la qualité et de contrôle de la qualité (AQ/CQ) et une estimation de l'incertitude, etc.

La **Vérification** signifie l'évaluation (par le biais de vérifications internes et externes) de l'exhaustivité, de la cohérence et de la fiabilité des informations notifiées à l'aide d'un processus indépendant. La vérification fournit des intrants pour améliorer les données (incluant les émissions et les absorptions de GES, ainsi que toutes les données mesurées ou les paramètres dérivés), et permet de faire davantage confiance aux estimations et aux tendances et d'en avoir une meilleure compréhension scientifique.

En plus de la MNV, la **surveillance** est une autre activité particulièrement importante pour les activités REDD+. De manière générale, la surveillance peut être caractérisée comme une fonction de gestion portant sur l'examen de la mise en œuvre d'objectifs et de buts planifiés. Elle regroupe plusieurs objectifs et vise à optimaliser la totalité des bénéfices. La surveillance englobe la MNV, les aspects de la gouvernance et la génération d'informations sur l'efficacité des politiques et des pratiques de la gestion forestière dans le cadre de la mise en place de la REDD+.

Les critères de qualité acceptés internationalement sont définis dans les Lignes directrices et recommandations en matière de bonnes pratiques pour la gestion de l'incertitude dans les inventaires nationaux de GES du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (GIEC, 2000), les Recommandations du GIEC en matière de bonnes pratiques pour l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie (GPG-UTCATF) (GIEC, 2003) et les Lignes directrices 2006 pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre du GIEC (GIEC, 2006). Selon ces directives, les inventaires GES doivent être transparents, exhaustifs, cohérents, comparables et exactes, tel que décrit dans l'Encadré 2.3.

Dans le contexte de ce manuel, les termes dispositifs institutionnels, englobant également les dispositifs infranationaux pour des juridictions spécifiques, sont définis comme étant les processus et les procédures codifiant tous les éléments pertinents d'un système MNV pleinement opérationnel couvrant toutes les terres et les activités présentant un intérêt dans le cadre de la REDD+, de manière à respecter les principes du GIEC et les éléments de la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC) ou d'autres directives.

Un avantage essentiel du fait de se concentrer sur les dispositifs nationaux est le développement et le maintien de capacités techniques plus solides dans le pays et d'institutions et organisations nationales et régionales pertinentes. Ces capacités et ces institutions devraient avoir des avantages et des applications dépassant les questions ayant trait simplement à la REDD+. Des systèmes MNV de haute qualité pour les forêts offrent des avantages évidents favorisant une surveillance environnementale plus étendue, la comptabilisation des GES, le développement économique durable et la gestion des ressources naturelles. De plus, avoir en place ce type de dispositifs permettra aux pays de participer dans l'avenir à des mécanismes financiers, des marchés environnementaux et/ou des régimes ou mécanismes volontaires ou fondés sur la conformité.

ENCADRE 2.3 ATTRIBUTS DE LA QUALITE DES INVENTAIRES GES

Transparence : La documentation est claire et suffisante pour permettre à d'autres personnes ou groupes que les compilateurs de l'inventaire de comprendre comment l'inventaire a été compilé et de confirmer la qualité des données ;

Exhaustivité : Les estimations sont notifiées pour toutes les activités et tous les gaz pertinents. S'il manque des données, la raison de leur absence doit être clairement documentée ;

Cohérence : Les estimations pour les différentes années d'inventaire, les différents gaz et les différentes catégories doivent être faites de sorte que les différences dans les résultats entre les années et les activités indiquent les différences réelles dans les émissions. L'inventaire des tendances annuelles, dans la mesure du possible, doit être calculé en utilisant la même méthode et les mêmes sources de données pour toutes les années et devrait chercher à refléter les fluctuations annuelles réelles dans les émissions et ne devrait pas comporter de changement résultant de différences méthodologiques ;

Comparabilité : L'inventaire GES est notifié de manière à pouvoir être comparé aux inventaires GES d'autres pays et ;

Exactitude : L'inventaire GES ne contient pas de sous-estimation ni de surestimation, autant qu'on puisse en juger, et les incertitudes doivent être réduites dans la mesure du possible. À cet effet, tous les efforts possibles doivent être faits pour supprimer toute distorsion dans les estimations d'inventaires.

L'objectif de ce chapitre est de faire des recommandations sur les éléments clés des dispositifs nationaux afin d'avoir des systèmes MNV crédibles et fonctionnels pour les activités REDD+. La portée du travail se limite à la MNV des émissions et absorptions des GES résultant de l'influence humaine sur les terres forestières⁵. Les informations développent plus avant les lignes directrices du GIEC et les éléments pertinents élaborés dans le contexte de la CCNUCC et du Protocole de Kyoto, le cas échéant, et s'y conforment.

2.2 ÉLÉMENTS D'UN SYSTÈME MNV POUR LA REDD+

2.2.1 Exigences pour la mise en œuvre de la REDD+

Conformément à la Décision 1/CP.16, paragraphe 71 (CCNUCC, 2009), les pays cherchant à mettre en œuvre des activités REDD+ doivent élaborer : i) une stratégie nationale ou un plan national ; ii) un niveau national d'émission de référence pour les forêts et/ou un niveau de référence pour les forêts (FREL/FRL) – voir l'Encadré 2.4 ; iii) un système national de surveillance des forêts (NFMS)⁶ solide et transparent et iv) un système pour donner des informations sur les sauvegardes.

ENCADRE 2.4 : FREL PAR RAPPORT AU FRL

Conformément à la Décision 12/CP.17, « les niveaux d'émission de référence pour les forêts et/ou les niveaux de référence pour les forêts exprimés en tonnes d'équivalent dioxyde de carbone par an servent de repères pour évaluer les résultats obtenus dans chaque pays dans la mise en œuvre des activités mentionnées au paragraphe 70 de la Décision 1/CP.70 ».

Les décisions 4/CP.15 et 11/CP.9 spécifient qu'un Système national de surveillance des forêts (NFMS) recourt à la fois à des approches de télédétection et à des mesures au sol pour l'inventaire du carbone forestier pour les estimations des émissions anthropiques de GES par les sources et les absorptions par les puits liées à l'état des forêts, les variations des stocks de carbone forestier et les modifications des superficies forestières. Un NFMS peut également fournir des informations pertinentes pour les systèmes nationaux de communication des informations sur la manière dont les sauvegardes sont traitées et respectées (voir la Décision 1/CP.16, appendice I).

Tenant compte des aptitudes et des capacités nationales, un NFMS devrait suivre les recommandations des GPG-LULUCF et fournir des données et des informations transparentes, cohérentes dans le temps et adaptées à la MNV à la suite de la mise en œuvres des activités REDD+. La Décision 11/CP.19 stipule également qu'un NFMS devrait :

- Être développé à partir d'un système existant, le cas échéant ;
- Permettre d'évaluer différents types de forêts dans le pays, y compris les forêts naturelles, telles que définies par un pays ;
- Être souple et permettre d'apporter des améliorations ;
- Réfléter, le cas échéant, l'approche par phase pour la mise en œuvre des activités REDD+.

⁵ Pour des informations plus détaillées sur la préparation d'un inventaire GES , se reporter au Chapitre 3 de ce manuel.

⁶ Ou infranational (en tant que mesure intermédiaire).

2.2.2 Aspects à envisager pour établir un système national de surveillance des forêts

Quand les pays élaborent un NFMS, ils ont la possibilité de : renforcer la gouvernance de leurs forêts, y compris l'application de la loi, la prise en compte de contre-mesures pour lutter contre la déforestation et la dégradation des forêts, et l'amélioration de la gestion durable des forêts. Le système à développer pourrait également tenir compte des multiples fonctions des forêts dans le cadre du changement climatique (par exemple en envisageant à la fois les avantages de l'atténuation et de l'adaptation) de manière à garantir une gestion intégrale et durable des forêts. Dans la majorité des cas, le développement d'un NFMS tient compte d'un certain nombre d'éléments pouvant également servir de guide (ces éléments sont énumérés dans l'Encadré 2.5). De manière générale, les pays devraient :

- S'assurer de la coopération de toutes les parties prenantes pendant l'établissement des dispositifs nationaux ;
- Disposer d'un inventaire forestier et d'une analyse des changements dans l'affectation des terres (voir l'Encadré 2.6) ;
- Pouvoir appliquer les Lignes directrices révisées 1996 telles qu'élaborées par les GPG-UTCATF dans le but de garantir la transparence, l'exhaustivité, la comparabilité et l'exactitude de leurs estimations d'émissions et d'absorptions ;
- Avoir en place des procédures adéquates pour l'assurance de la qualité / le contrôle de la qualité (AQ/CQ) ; et
- Pouvoir préparer des notifications nationales vérifiées sur le plan national.

ENCADRE 2.5 : ÉLÉMENTS TYPIQUES A ENVISAGER PAR LES PAYS QUAND ILS DETERMINENT LEUR CONTEXTE NATIONAL

Le développement historique de toutes les activités REDD+ pertinentes pour le pays, y compris la déforestation, la dégradation des forêts, la conservation des stocks de carbone forestier et l'accroissement des stocks de carbone forestier ;

Les caractéristiques géographiques spécifiques et autres influençant le développement des activités REDD+ (ex. régions montagneuses avec un accès limité, voire nul, la nécessité potentielle d'initiatives régionales entraînant la participation de pays voisins) ;

La population affectée (ex. données démographiques et statistiques de l'emploi liées aux activités REDD+ dans le pays) ;

Les informations ayant trait aux acteurs actuels et prévus contribuant à la déforestation, y compris une analyse relative aux facteurs de déforestation et l'impact des produits, tels que le soja ou l'huile de palme dans le secteur forestier ;

Les informations économiques liées aux facteurs qui seront affectées par les activités REDD+, en tenant compte des divers facteurs de l'économie nationale (y compris l'énergie, les transports, l'industrie, l'exploitation minière, le tourisme, l'agriculture, la pêche, la santé et les services) ;

L'enseignement, y compris les institutions scientifiques et de recherche portant sur des sujets ayant trait à la REDD+ ;

Les effets des efforts précédents pour apporter des changements dans la gestion de l'utilisation des terres et la propriété foncière (ex. investissements antérieurs pour réduire la déforestation ou améliorer le reboisement et les leçons apprises) ;

La synergie potentielle entre les activités et les politiques liées à la REDD+ et celles ayant trait à d'autres secteurs comme l'énergie et l'agriculture ; et

Les liens avec les mesures prises par le pays dans le contexte d'accords multilatéraux pertinents, comme la CCNUCC.

ENCADRE 2.6 : INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL ET ANALYSE DES CHANGEMENTS D'AFFECTATION DES TERRES

Un inventaire forestier national est la collecte systématique de données et d'informations sur les forêts à des fins d'évaluation ou d'analyse. Une estimation de la valeur et des usages possibles du bois d'œuvre est une partie importante des informations plus vastes requises pour maintenir les écosystèmes. Lorsque l'on fait un inventaire forestier, les éléments suivants sont importants pour mesurer et noter : les espèces, le diamètre à hauteur de poitrine, la qualité du site, l'âge et les défauts. À partir des données collectées, on peut calculer le nombre d'arbres par unité de surface (ex. hectare, are), la surface terrière, le volume d'arbres sur une surface et la valeur du bois d'œuvre. Des inventaires peuvent être faits pour d'autres raisons que le calcul de la valeur du bois d'œuvre, par exemple pour avoir des informations détaillées sur l'état et la dynamique des forêts afin de planifier la stratégie et la gestion.

L'analyse du changement dans l'affectation des terres (LUC) est l'analyse des dynamiques se déroulant sur un territoire donné. L'analyse évalue et quantifie le changement de la superficie des catégories spécifiques d'utilisation des terres (ex. terre forestières, terres cultivées, prairies, zones humides) pour une durée spécifique. Les informations fournies par l'analyse LUC – auxquelles s'ajoutent les informations contenues dans l'inventaire forestier, sont intégrées dans l'inventaire GES dans le but d'estimer les émissions ou les absorptions associées provenant des différentes catégories et sous-catégories d'utilisation des terres. De plus, la surveillance du LUC au moyen de la télédétection est un outil essentiel permettant d'identifier et de mettre en œuvre des mesures correctrices dans les endroits où ont lieu des déforestations illégales et des dégradations des forêts.

Un point important à envisager dans la MNV est le compromis à faire entre les coûts et l'exactitude pour les systèmes de surveillance et d'évaluation en matière de REDD+. L'identification de solutions rentables nécessite un équilibre entre la télédétection et les mesures au sol. L'imagerie et les produits de la télédétection, par exemple, aident dans la conception de systèmes d'échantillonnage au sol efficaces, dans l'évaluation des surfaces de changement et dans l'extrapolation des mesures de parcelles au niveau régional ou national. En revanche, les mesures au sol sont requises pour générer des données du carbone et pour vérifier la cartographie des forêts faite par ordinateur à partir des images de télédétection. Pour en savoir plus sur la télédétection, voir le Chapitre 5.

2.2.3 La comptabilisation nationale par rapport à la comptabilisation infranationale

L'une des questions essentielles dans les négociations de la CCNUCC sur la REDD+ concerne l'étendue géographique qui devrait être utilisée pour comptabiliser les émissions. Trois options ont fait l'objet de débats intenses : le niveau national, le niveau infranational, y compris au niveau d'une juridiction ou d'un projet, et les deux niveaux dans une « approche intégrée ». Les différents points de vue exprimés par chaque gouvernement s'expliquent par des intérêts politiques et des situations nationales divergentes, et par les problèmes techniques pour mesurer et comptabiliser les émissions.

Lors de la 17^e session de la Conférence des Parties (COP17), les gouvernements ont convenu que si la performance est mesurée au niveau national, les pays peuvent toujours continuer les activités au niveau

d'un projet après l'adoption de niveaux de référence nationaux (et possiblement au niveau infranational) (CCNUCC, 2011). Pour les pays souhaitant établir des systèmes de comptabilisation nationaux et infranationaux, il est important de s'assurer de la compatibilité des deux systèmes afin de sauvegarder l'intégrité de l'ensemble du processus de comptabilisation. Ceci peut se réaliser par les moyens suivants :

- Identifier les facteurs de déforestation et de dégradation des forêts aux niveaux national et infranational ;
- Établir un cadre légal de normalisation et de comptabilité qui soit clair concernant la mise en œuvre des activités nationales et infranationales ;
- Identifier les synergies entre les activités nationales et infranationales de la REDD+ ; et
- Garantir un usage cohérent des définitions des paramètres forestiers.

Dans le contexte d'une « approche intégrée », il est prévu que les programmes au niveau d'un projet ou au niveau infranational seront intégrés dans la comptabilité au niveau national. Cette intégration peut avoir lieu par étapes (par ex., en commençant au niveau infranational puis en passant au niveau national) ou une fois que la comptabilité nationale est en place. La comptabilité au niveau national donne une idée complète de la manière dont les projets, les politiques et les mesures contribuent aux progrès d'un pays en matière de réduction d'émissions. Elle joue aussi un rôle important pour obtenir un financement par projet pouvant dépendre de résultats mesurables, pouvant être notifiés et vérifiables.

2.3 FONCTIONS ET COMPOSANTES CLÉS DES DISPOSITIFS NATIONAUX

En général, les dispositifs nationaux de la MNV pour la REDD+ doivent inclure les dispositifs institutionnels, légaux et procéduraux mis en place dans un pays pour estimer les émissions anthropiques par sources et les absorptions par puits dans toutes les catégories et activités incluses dans le plan de surveillance, et pour notifier et archiver les informations. Les dispositifs nationaux devraient être conçus pour intégrer les fonctions générales et spécifiques, et fonctionner de manière à garantir la transparence, la cohérence, la comparabilité, l'exhaustivité et l'exactitude des données, de même que la qualité des données par le biais de la planification, la préparation et la gestion des activités d'inventaire.

Les informations sur les fonctions des dispositifs nationaux dans cette section sont adaptées des Lignes directrices pour la préparation des communications nationales par les Parties visées dans l'Annexe I à la Convention, Première partie : Les Lignes directrices pour la notification des inventaires annuels des gaz à effet de serre de la CCNUCC (Annexe à la Décision 15/CP.17) et les recommandations du Groupe consultatif d'experts pour les communications nationales des Parties non visées à l'Annexe I de la Convention (CGE). Même si la Décision 15/CP.17 s'applique aux Parties visées à l'Annexe I, les dispositions qu'elle contient sur les dispositifs nationaux peuvent en général s'appliquer à tous les pays.

2.3.1 Fonctions générales

Les principales fonctions générales des dispositifs pour l'inventaire national sont les suivantes : désigner un **organe unique au niveau national⁷ chargé de la responsabilité générale** de l'inventaire ; et établir et maintenir les dispositifs institutionnels, légaux et procéduraux entre les agences gouvernementales et les autres entités participant à la préparation des estimations d'émission et

⁷ D'autres termes pour cet organe désigné peuvent inclure une entité nationale, une agence dirigée au niveau national et un point focal ou un coordinateur.

d'absorption liées au secteur UTCATF. Pour ce faire, il faut absolument que le personnel participant au processus de développement de l'inventaire soit doté des capacités suffisantes et des compétences techniques nécessaires pour :

- La collecte en temps voulu des données nécessaires à l'estimation des émissions anthropiques de GES par sources et des absorptions par puits ; et
- La préparation des inventaires GES conformément aux lignes directrices pertinentes concernant les notifications à la CCNUCC.

2.3.2 Fonctions spécifiques

Les fonctions spécifiques des dispositifs pour les inventaires nationaux englobent la collecte de données d'activités (AD), la sélection des méthodes et des facteurs d'émissions (EF) adéquats, l'estimation des émissions anthropiques de GES par sources et des absorptions par puits, la mise en place d'évaluation des incertitudes et des activités de l'assurance de la qualité et du contrôle de la qualité (AQ/CQ) et l'exécution des procédures de vérification des données.

2.3.3 Phases de mise en œuvre

La mise en œuvre des dispositifs nationaux de la MNV de la REDD+ comprend trois phases : la planification de l'inventaire, la préparation de l'inventaire et la gestion de l'inventaire.

Planification de l'inventaire

La planification de l'inventaire inclut des mesures menant à la mise en œuvre des activités de la MNV. Dans le cadre de la planification de l'inventaire, un pays définira et répartira les responsabilités spécifiques lors du processus de développement de l'inventaire, y compris les rôles et la coopération entre les agences gouvernementales et les autres entités participant à la préparation de l'inventaire, ainsi que les dispositifs institutionnels, légaux et procéduraux établis pour préparer l'inventaire. Les pays devraient veiller à disposer des capacités suffisantes pour exercer toutes les activités en formant le personnel existant ou en embauchant des spécialistes.

Conformément aux GPG-UTCATF, les pays devraient envisager des moyens d'améliorer la qualité des AD, des EF, des méthodes et des autres éléments techniques pertinents de l'inventaire, après leur établissement initial. Ces améliorations peuvent se faire en élaborant un plan AQ/CQ de l'inventaire. Les informations obtenues de la mise en place du plan AQ/CQ et d'autres activités de vérification doivent être prises en compte lors du développement et/ou de l'examen des données GES et les objectifs de qualité concernant l'inventaire GES.

Dans le cadre de la planification de l'inventaire, des procédés devraient être établis pour l'examen et l'approbation officiels de l'inventaire, y compris pour tout recalcul. Dans le cadre d'évaluations périodiques du processus de préparation de l'inventaire (voir ci-après), les pays pourraient devoir réévaluer et ajuster le processus de planification de l'inventaire, le cas échéant.

Préparation de l'inventaire

La préparation de l'inventaire englobe tous les aspects de la mise en œuvre des mesures de la MNV, de même que leur organisation selon un format de notification. Dans le cadre de la préparation de l'inventaire, un pays doit collecter suffisamment de données d'activités (AD), d'informations procédurales et de facteurs d'émission (EF) pour étayer les méthodes sélectionnées pour l'estimation des émissions anthropiques et des absorptions de GES. La base méthodologique pour l'estimation des

émissions et des absorptions de GES est fournie dans les Lignes directrices du GIEC 1996 révisées, telles qu'elles ont été actualisées par les GPG-UTCATF.

Un domaine revêtant une importance particulière est la mise en place de procédures générales AQ/CQ pour l'inventaire conformément à un plan QA/CQ, en suivant les recommandations préconisées par les GPG-UTCATF. Les pays devront appliquer des procédures CQ propres à chaque catégorie pour les catégories clés (voir l'Encadré 2.7) et pour les catégories individuelles pour lesquelles des révisions méthodologiques ou de données importantes ont été faites. Ils devraient aussi prévoir un examen élémentaire de l'inventaire par des personnes qui n'ont pas participé à son processus de développement, de préférence une tierce partie indépendante, avant la soumission de l'inventaire, conformément aux procédures QA prévues. À la suite de l'examen de base, des dispositions devraient être prises pour avoir un examen approfondi par des experts dans les catégories clés, de même que pour les catégories où des changements significatifs ont été faits concernant les méthodes ou les données.

ENCADRE 2.7 : CATEGORIES CLES

Selon le GIEC, une catégorie clé est une catégorie qui a un ordre prioritaire au sein du système de l'inventaire national parce que son estimation a une importance significative sur l'inventaire total des GES d'un pays en termes de niveau absolu, de tendance ou d'incertitude en matière d'émissions et d'absorptions. Chaque fois que les termes catégories clés sont utilisés, ils englobent à la fois les catégories par sources et par puits, ainsi que les GES spécifiques. Pour ce qui est du niveau absolu, les catégories clés sont toutes des activités d'inventaire représentant 95 pour cent des émissions GES totales. Pour en savoir plus, voir le Chapitre 3 du manuel, et la section 5.4 des GPG-UTCATF (GIEC, 2003).

Gestion de l'inventaire

La gestion de l'inventaire signifie le traitement de la notification d'inventaire et ses informations sources pertinentes une fois qu'un cycle d'inventaire est terminé. Dans le cadre de la gestion d'inventaire, un pays archive activement toutes les informations d'inventaire pertinentes pour la série temporelle notifiée, y compris toutes les AD et les EF ventilés, accompagnés des explications de la raison pour laquelle ces facteurs et ces données avaient été sélectionnés pour la préparation de l'inventaire. Parmi les autres informations à archiver figurent :

- La description des méthodes utilisées pour l'identification des catégories clés ;
- L'explication de la manière selon laquelle les procédures AQ/CQ ont été mises en œuvre ; et
- Les conclusions des examens externes et internes et les descriptions des améliorations prévues pour l'inventaire à la suite de ces examens.

Un autre élément de la gestion d'inventaire est de s'assurer que le pays dispose des capacités nécessaires pour répondre en temps voulu aux demandes d'éclaircissement des informations dans l'inventaire national. Nombre de pays ont des systèmes bien établis pour la collecte et le traitement d'informations sans rapport avec les GES. Ces systèmes comprennent les processus de gestion de la base de données permettant d'archiver les données et les informations. Les expériences tirées de l'utilisation de ces systèmes sont extrêmement précieuses et devraient être appliquées au développement de l'inventaire GES et/ou au renforcement des procédures d'archivage, de stockage et de retrait des informations. Les pays devraient examiner leur expérience dans d'autres domaines pour l'orientation et les ressources à ce sujet. La longueur du cycle de l'inventaire dépend de la situation nationale et des exigences des notifications. Un exemple de cycle d'inventaire est indiqué dans le

diagramme à la Figure 2.1. Ce type de cycle peut être appliqué sur une base annuelle, biennale ou des périodes plus longues.⁸

**FIGURE 2.1 : CYCLE TYPIQUE D'UN PROCESSUS D'INVENTAIRE (SOURCE :
MODÈLE DE SYSTÈME NATIONAL DE L'EPA) POUR EN SAVOIR PLUS, VOIR LA
SECTION 2.6**



Traduction :

Gauche

Soumettre à l'ONU, Préparer un plan d'amélioration de l'Inventaire national	Le cycle recommence
Finaliser l'ébauche de l'inventaire, Analyse des catégories clés et Préparation des archives	
Corriger les erreurs et répondre aux commentaires de l'examen	
QA du rapport ébauché	
Préparer et CQ du rapport ébauché	

Milieu

Finaliser	Planifier
Améliorer	Collecter
Rédiger	Estimer

Droit

Réunion de lancement de l'inventaire, Rencontre avec les experts du secteur, les fournisseurs de données et les compilateurs de données	Convier toutes les personnes identifiées à l'Étape 1
Choisir les méthodes et identifier les données disponibles	Envoyer des lettres aux collaborateurs et aux organisations
Collecter et CQ les données et les facteurs d'émission	Organiser les données d'activités et les facteurs d'émission
Préparer et CQ les estimations initiales	
Ébauche et CQ de l'analyse des catégories clés	

⁸ Il est à noter que les données de l'inventaire forestier national ne sont pas disponibles chaque année, mais à quelques années d'intervalle (en général tous les trois à dix ans).

2.4 ÉTAPES DE L’ÉTABLISSEMENT DE DISPOSITIFS INSTITUTIONNELS

La Décision 10/CP.19, stipule que les pays « désignent en fonction de la situation nationale et des principes de souveraineté, une entité ou un coordinateur national chargés d’assurer la liaison avec le secrétariat et les organes compétents en vertu de la Convention, selon qu’il conviendra, au sujet de la coordination de l’appui à la pleine mise en œuvre des activités et des éléments mentionnés aux paragraphes 70, 71 et 73 de la Décision I/CP.16, notamment les différentes méthodes d’action, telles les démarches communes en matière d’atténuation et d’adaptation, et à en informer le secrétariat ». La même décision stipule en outre que lesdites entités « peuvent, en fonction de la situation nationale et du respect des principes de la souveraineté, proposer leurs entités pour obtenir et recevoir un financement lié aux résultats, conformément aux modalités pratiques des entités de financement qui leur apportent un appui pour la pleine mise en œuvre des activités mentionnée au paragraphe 70 de la Décision I/CP.16 ».

Selon l’expérience avec d’autres processus similaires en vertu de la CCNUCC (comme les communications nationales des pays en développement), la mise en œuvre des activités REDD+ entraîne la participation de nombreux acteurs et parties prenantes nationaux appuyant le travail d’une entité ou d’un coordinateur au niveau national. Compte tenu de la nature interdisciplinaire de la REDD+, les dispositifs institutionnels peuvent renforcer les processus nationaux de prise de décision en améliorant la coordination entre toutes les parties prenantes pertinentes, en sensibilisant davantage les institutions privées et publiques et en facilitant les consultations et établissant des relations entre les parties prenantes.

Établir des dispositifs institutionnels inclut un certain nombre d’activités spécifiques, qui dépendent des objectifs de la MNV qui ont été identifiés par un pays, y compris sans s’y limiter : la préparation des notifications et des communications nationales pour satisfaire aux engagements internationaux ; la recherche de financement pour les projets REDD+ et la mise en œuvre d’initiatives nationales ou régionales.

Lorsqu’ils établissent des dispositifs nationaux, les pays doivent identifier les actions spécifiques en rapport avec les objectifs MNV et élaborer un plan pour leur réalisation, y compris l’obtention de ressources et l’engagement de toutes les parties prenantes dans le pays. Il peut s’agir de constituer des groupes de travail chargés de tâches spécifiques et d’établir des procédures et systèmes spécifiques pour la collecte et l’archivage des informations, par exemple. Afin de garantir la réalisation dans les temps, il faut identifier les capacités nationales existantes et allouer les fonds nécessaires, de même que les ressources humaines et autres.

Après avoir déterminé quelles sont les actions spécifiques, un pays doit mettre en place les dispositifs administratifs et organisationnels nécessaires. Chaque pays aura probablement sa propre approche sur la manière de mettre ces dispositifs en œuvre pour la REDD+. Voici quelques démarches spécifiques :

- La sous-traitance complète du processus de préparation de l’inventaire à une organisation extérieure, telle qu’un cabinet de consultants, une université ou un institut de recherche ;
- La supervision par une petite équipe de fonctionnaires de la préparation de l’inventaire faite par un certain nombre de consultants et de chercheurs ;
- La formation d’un conseil consultatif ou de surveillance constitué de représentants de plusieurs agences et ministères, et si possible d’autres organisations, comme des organisations non gouvernementales (ONG), le milieu universitaire ou d’autres organisations du secteur privé, chargé du processus décisionnel et de la surveillance du processus de préparation de l’inventaire ;
- La préparation de l’inventaire presque uniquement par des fonctionnaires d’un organe unique ; et

- La délégation de la préparation de l'inventaire à des provinces ou des États du pays. Les informations distinctes de l'inventaire provincial sont ensuite intégrées au niveau national.

Beaucoup d'autres situations sont possibles, y compris un mélange des démarches mentionnées ci-dessus, et il n'existe pas d'approche absolument correcte. Chacune présente des avantages et des inconvénients et comporte des implications au niveau des finances et du personnel. Quelle que soit l'approche utilisée, elle doit fonctionner de manière à maintenir et améliorer la qualité de l'inventaire dans le temps et à prendre des décisions avec efficacité et en temps voulu.

Indépendamment de l'approche suivie, le processus exige de définir clairement les rôles et les responsabilités pour ce qui est des dispositifs administratifs et organisationnels. L'organe ou l'institut en charge au niveau national doit exercer la responsabilité générale, possiblement mandatée par la législation nationale, de la gestion d'un système MNV en matière de REDD+, peut-être à titre de sous-ensemble d'un inventaire GES plus approfondi. Il est important d'identifier l'entité adéquate au début du processus afin de faciliter la nomination du personnel et pour répartir les rôles et responsabilités plus spécifiques. Les nominations doivent être transparentes à l'égard de toutes les parties prenantes au processus afin qu'il n'y ait aucune ambiguïté au sujet de l'institution à la tête du processus.

En termes généraux, cet organe constitutionnel devra gérer le travail des autres institutions et organisations et sera chargé de la responsabilité générale de la coordination des dispositifs administratifs et techniques et de la qualité générale des estimations notifiées. Le système de gestion qu'utilise un pays sera déterminé par la situation nationale. Certains éléments communs incluent ce qui suit :

- Centralisation ou décentralisation : L'organe du pays chargé de la direction peut conserver un niveau important de contrôle et le pouvoir décisionnel sur le processus de préparation de l'inventaire. Une approche centralisée inclura probablement un petit nombre d'autres institutions. Une approche décentralisé, par contre, peut inclure plusieurs équipes et/ou institutions, chacune se penchant sur différentes parties de l'inventaire et prenant ses propres décisions concernant les méthodologies et d'autres sujets. Les pays disposant d'une administration importante et diverses institutions ayant des connaissances spécialisées dans certains domaines de l'inventaire ont souvent recours à l'approche centralisée. Dans ces situations, l'organe responsable a plus un rôle de coordination et moins de pouvoir décisionnel sur les questions méthodologiques.
- Sources internes ou sous-traitance : les organes et les employés gouvernementaux peuvent préparer la majorité, voire la totalité de l'inventaire, utilisant donc les « sources internes » pour le processus. Dans d'autres situations, le gouvernement peut sous-traiter le travail de la préparation de l'inventaire à des consultants privés, à des institutions de recherche, au milieu universitaire ou à d'autres ONG, par exemple. La décision de sous-traiter ou non dépend des aptitudes et des capacités de l'administration à faire elle-même la majorité ou tout le travail technique en entraînant la participation d'experts ou d'agences. Les pays plus petits ont souvent beaucoup recours à une aide extérieure en raison du manque de spécialistes et du temps requis pour développer des capacités pendant le délai spécifique nécessaire à la préparation d'un inventaire GES.
- Organe unique ou plusieurs organes : L'organe responsable peut être hébergé au sein d'un organe gouvernemental unique, ou l'organe du pays responsable peut être constitué d'un groupe ou d'un comité avec des représentants de plusieurs agences, ou une autre structure. Ce type de structure regroupant plusieurs agences exige une définition très précise des rôles et des responsabilités afin que les rapports hiérarchiques et les prises de décision concernant les questions d'inventaire GES soient clairs pour tous. Même si l'approche avec plusieurs organes peut présenter certains avantages au niveau de la pluralité, dans la pratique, un seul organe sera souvent chargé de la coordination générale afin d'éviter les conflits.

- Intégration ou séparation : Le travail de l'inventaire GES peut être intégré à d'autres efforts (par ex., réduction des menaces contre la biodiversité, traitement des eaux, éviter l'érosion des sols) pour s'assurer que les ressources sont utilisées au mieux et que l'expertise disponible est sollicitée).

Lorsqu'il élabore un système MNV pour les activités REDD+, un pays a la possibilité de déterminer quels sont les priorités et les objectifs de développement régional et national servant de base pour aborder la REDD+ et le changement climatique. Ce type d'informations fournit un contexte permettant à un pays de mieux comprendre, entre autres, ses propres conditions spécifiques, les capacités nationales qui existent et les choix possibles pour aborder les émissions et les absorptions de GES liées à la REDD+ au sein du cadre plus vaste du développement durable.

À chaque étape du processus, les pays doivent absolument assurer le suivi des rôles et responsabilités de toutes les organisations pertinentes, ainsi que des changements dans les dispositifs tels que les perfectionnements et/ou les nouvelles parties prenantes participantes. Une façon d'y procéder de manière systématique est d'utiliser les *National System Templates* (Modèles de systèmes nationaux) de la *United-States Environmental Protection Agency -EPA* (Agence des États-Unis pour la protection de l'environnement) – voir la Section 2.6 ci-après. Même si ces modèles ont été élaborés pour un inventaire national GES couvrant tous les secteurs de l'économie, ils peuvent être modifiés dans le but de répondre aux objectifs d'un inventaire GES pour le secteur UTCATF. Une brève description des modèles et un exemple de la manière de les modifier sont fournis à l'Appendice 2.

2.5 EXEMPLES

Dans cette section, nous présentons les exemples de dispositifs institutionnels du Brésil, de la Colombie et de l'Inde pour la préparation des inventaires GES concernant le secteur UTCATF. Les informations dans cette section sont basées sur la *Measurement and Performance Tracking Project National GHG Inventory Case Study Series*⁹ (Série d'études de cas d'inventaires nationaux GES en matière de mesures et de surveillance de la performance de projet) du WRI.

2.5.1 Brésil

La Fondation pour les sciences, les applications et la technologie spatiales (FUNCATE) est l'institution unique en charge de compiler l'inventaire brésilien pour le secteur UTCATF, sous la coordination de la Coordination générale sur le changement climatique sous la tutelle du ministère brésilien des Sciences, de la technologie et de l'innovation (MCT). La FUNCATE avait un mandat précis établi par le biais d'un contrat ou accord de coopération stipulant les termes de référence, les délais, les coûts et les responsabilités. La FUNCATE avait engagé d'autres agences, des associations et des institutions universitaires et de recherche, mais n'avait sous-traité aucune composante de l'inventaire UTCATF.

Quarante-cinq membres du personnel avaient participé au travail à différentes étapes de l'élaboration de l'inventaire (vingt-deux interprètes d'image, un coordinateur général, sept administrateurs, cinq personnels chargés de la validation et de l'analyse des données, un expert en technologie de l'information, trois personnels de développement de système, trois vérificateurs, un expert en gestion de base de données et un spécialiste de la documentation). L'expérience tirée du premier inventaire national et les nouvelles demandes d'application des GPG-UTCATF avaient permis de déterminer le nombre initial de ressources humaines nécessaires. Cependant, au fur et à mesure de l'avancement des

⁹ Des rapport complets sont disponibles sur le site : <https://sites.google.com/site/maptpartnerresearch/national-ghg-inventory-case-study-series/producing-a-national-ghg-inventory-for-the-land-use-land-use-change-and-forestry-lulucf-sector>.

tâches, la FUNCATE s'était aperçu qu'il fallait agrandir l'équipe, dont le nombre allait varier en fonction de l'étape de développement du projet. Par exemple, il fallait davantage d'interprètes d'image au début du projet, mais ils furent affectés à d'autres tâches au sein de la FUNCATE par la suite, ou remerciés. Le nombre de personnel embauché dépendait du calendrier de livraison du produit et du budget. Chaque fois qu'un membre du personnel était embauché, il suivait une formation dans le but d'assurer la cohérence en matière de classification d'image entre les différents interprètes d'image et de ce fait, minimiser l'incertitude dans la classification.

La coordination de l'inventaire à la FUNCATE était exercée par une seule personne expérimentée en télédétection et dont le rôle était de superviser l'élaboration de l'inventaire à toutes les phases (y compris la compilation des données GES pour l'inventaire UTCATF), de veiller à ce que les dépenses budgétaires et le calendrier convenus respectaient le contrat et l'accord de coopération avec le MCT, d'effectuer des procédures CQ supplémentaires et de préparer les notifications partielles et finales. Cette personne possédait une bonne connaissance générale du développement de l'inventaire et avait participé activement à toutes les phases.

Aucune personne extérieure n'avait été engagée directement pour la préparation de l'inventaire, hormis celles appartenant à la FUNCATE, au MCT et à l'Institut national de recherche spatiale (INPE) du Brésil. Au cours de l'élaboration du projet (par ex., la classification de l'image), le personnel avait travaillé à plein temps jusqu'à ce que cette activité soit terminée. D'autres membres du personnel, comme ceux participant au développement du système, travaillaient en même temps sur d'autres projets de la FUNCATE. La majorité du personnel était engagé à plein temps dans ce projet.

L'inventaire UTCATF avait été le plus coûteux de tous les autres secteurs notifiés dans l'inventaire GES national. Le second inventaire, notamment, incluait des coûts supplémentaires en raison des nouvelles exigences méthodologiques des GPG-UTCATF. Une partie de ces frais supplémentaires était liée à la décision de créer une base de données spatialement explicite, et la nature complète de la couverture nationale exigeait d'inclure d'autres catégories d'utilisation des terres qui n'avaient pas été envisagées précédemment (par ex., la coupe sélective). L'idée était de créer une base de données facilitant la mise à jour des estimations d'inventaire précédentes et les recalculs, le cas échéant. Il fallait une couverture nationale complète avec des données acquises de la télédétection comportant une résolution adéquate. Le coût total du second inventaire annuel s'élevait à environ 1,1 million \$ répartis entre un accord de coopération et un contrat. Le coût englobait les salaires et les avantages sociaux, l'équipement, les consommables, les frais de déplacement, la construction de la base de données et une partie du développement d'un outil de logiciel pour gérer les ensembles de données importants. Le budget n'envisageait pas l'acquisition de données autres que celles prévues en vertu de l'instrument juridique. Tous les coûts de chaque phase étaient détaillés par la FUNCATE, et ont aidé le MCT à établir l'ordre prioritaire des activités, à éliminer celles jugées sans rapport avec le produit fini et à convenir de l'affectation définitive du budget complet pour le secteur UTCATF.

La majorité du financement provenait du Fonds pour l'environnement mondial (FEM) et du MCT. Une petite partie du budget incombeait au ministère de l'Environnement. Aucun consultant n'avait été recruté pour le projet.

2.5.2 Colombie

La Colombie a préparé deux communications nationales en vertu de la CCNUCC. Même si la méthode de travail pour préparer ces communications avait été efficace, le processus, la compréhension des lignes directrices et l'acquisition des données recommencent à zéro avec chaque nouvel inventaire GES, puisqu'il n'existe pas de plateforme technique centralisée pour partager et échanger les informations avec d'autres institutions ayant un rapport avec le secteur UTCATF, de manière permanente, opportune et efficace. L'unique système national en place, le Système national de l'environnement (SINA),

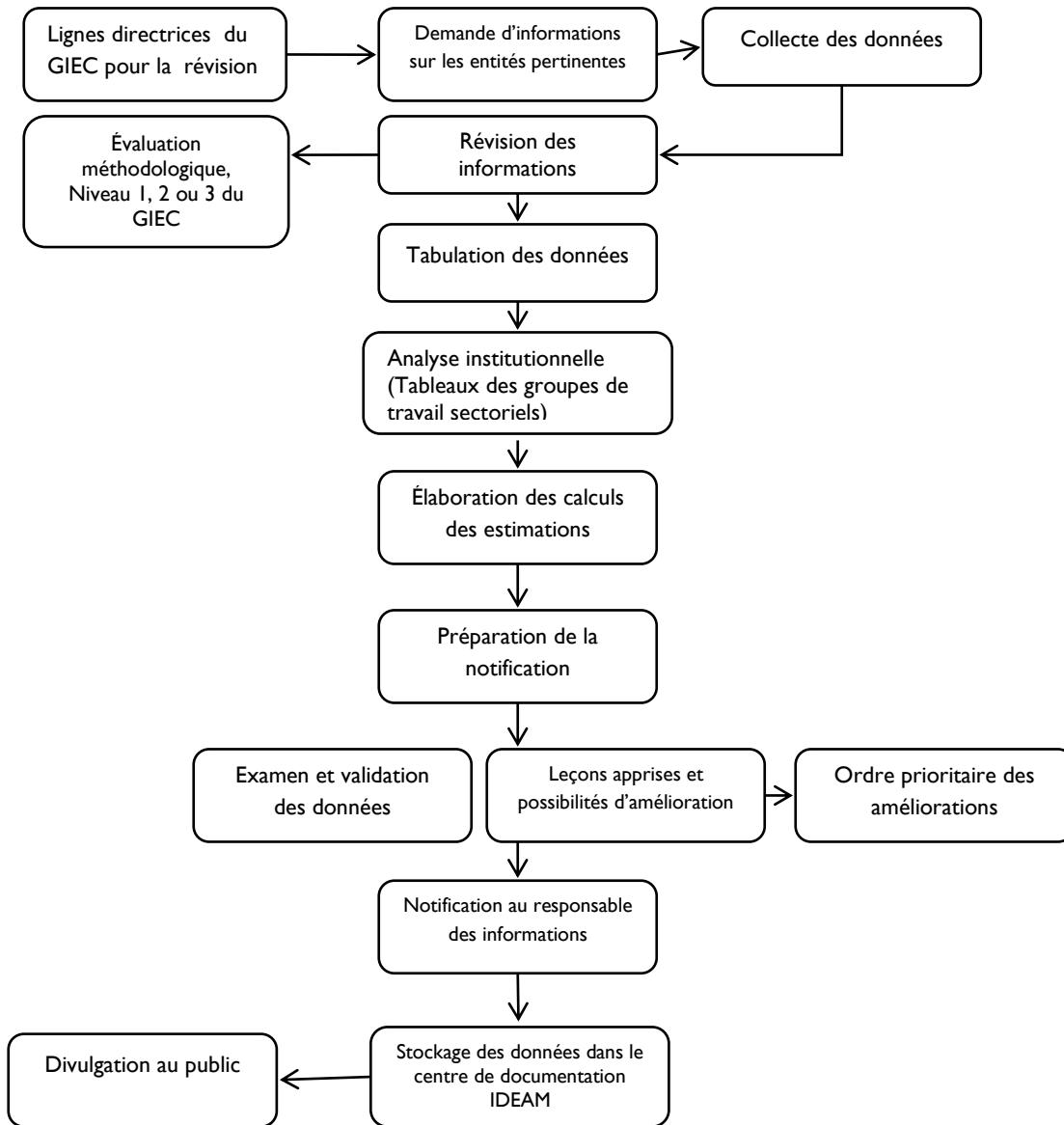
comprend un ensemble de principes fondamentaux portant sur les principes environnementaux afin de favoriser la gestion des ressources naturelles du pays. L'absence d'un système permettant de partager les données empêche également la mise en place de procédures CQ détaillées à l'échelle de la Colombie. Une option envisagée actuellement est que l'institution nationale et les institutions régionales responsables de la collecte, la compilation, l'analyse et la systématisation des informations forestières développent des mécanismes de révision contrôlant le flux des informations ; cela permettrait d'améliorer la qualité, la fréquence et la disponibilités des données rapportées. Il faudrait aussi identifier les données prioritaires aux niveaux national, régional et local nécessaires à titre d'intrants de base pour la recherche et pour respecter les engagements internationaux. Des détails supplémentaires concernant le système général en place sont fournis ci-après.

L'institut chargé de mener l'inventaire GES est l'Institut d'hydrologie, de météorologie et d'études environnementales (IDEAM), une institution publique faisant partie du ministère de l'Environnement et du développement durable (MADS). L'IDEAM est chargé de sélectionner les institutions publiques et privées participant activement aux secteurs liés à l'inventaire (par ex., l'énergie, les transports, les déchets, l'industrie, l'agriculture et l'UTCATF) afin de constituer des groupes de travail par secteur. Les objectifs ultimes visent à définir les besoins et les priorités pour chaque secteur, et de sélectionner les EF et les méthodes pour calculer l'incertitude associée à chaque module.

L'IDEAM fournit également un appui technique et scientifique aux agences constituant le SINA. Le SINA est un ensemble de normes, régulations, activités, ressources, programmes et institutions qui encouragent le respect des principes environnementaux inscrits dans la constitution de la Colombie. Le SINA est constitué de plusieurs institutions aux niveaux local, régional et national qui, ensemble, génèrent des informations, mènent des recherches scientifiques et renforcent les capacités technologiques pour leurs objectifs propres. Le SINA, toutefois, ne dispose pas de plateforme technique pour partager les informations en ligne. Par conséquent, chaque institution participante compile et archive les données sur son propre site portail.

Les dispositifs constitutionnels sont fondés sur des accords volontaires entre les différentes organisations : le MADS, le ministère de l'Agriculture et du développement rural, la Corporation nationale pour la recherche et le développement des forêts, l'Association des corporations autonomes régionales et du développement durable, les Corporations régionales autonomes, les universités, des entités privées (par ex., Pizano S. A., Carton de Colombia, etc.), l'Institut d'Amazonie pour la recherche scientifique, l'Institut géographique Agustin Codazzi, le Jardin botanique Jose Celestino Mutis de Bogota, l'Institut du Pacifique pour la recherche environnementale, l'Unité administrative spéciale du système des parcs nationaux et le Système intégré de surveillance des cultures illicites. Pour l'heure, l'élaboration du système d'inventaire GES englobe les étapes illustrées à la Figure 2.2.

FIGURE 2.2 : PRINCIPALES ETAPES POUR LA PREPARATION DE L'INVENTAIRE NATIONAL EN COLOMBIE

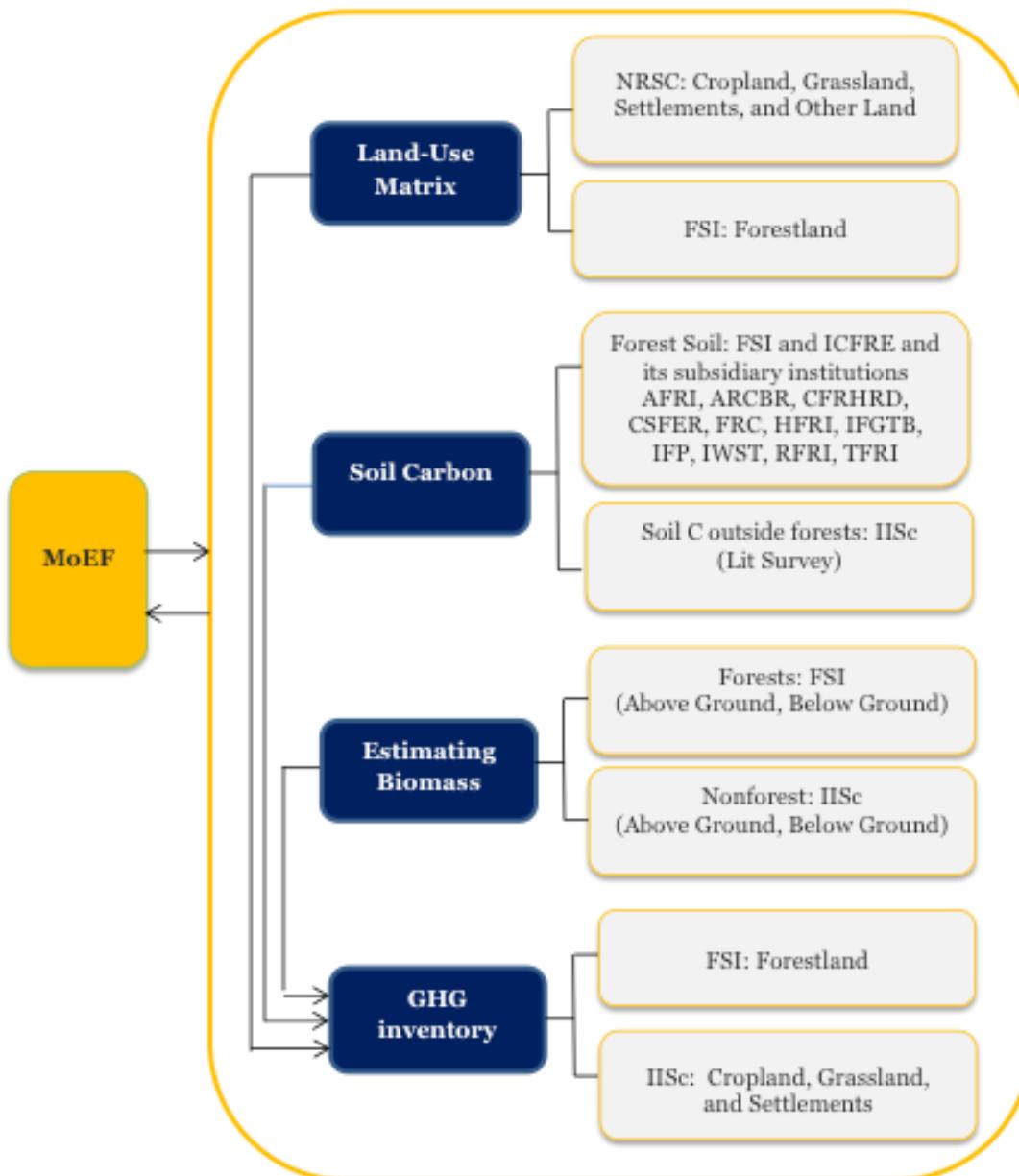


2.5.3 Inde

La structure des dispositifs institutionnels généraux de l'Inde pour la préparation de l'estimation GES concernant le secteur UTCATF est indiquée à la Figure 2.3. Le ministère de l'Environnement et des forêts est chargé de la coordination générale du processus. Diverses autres institutions participant au secteur UTCATF apportent une aide et une expertise techniques pour veiller à ce que tous les processus méthodologiques soient suivis afin de développer un inventaire détaillé et exacte dans la mesure où les capacités le permettent.

Le processus de coordination a évolué au fil des années. Initialement, l'Institut des sciences indien avait un rôle déterminant puisque c'était l'institution ayant participé au processus du GIEC dans le cadre du développement de l'inventaire des émissions GES pour le secteur UTCATF. L'approche actuelle porte sur la coopération avec d'autres organisations, comme la *Forest Survey of India* (FSI – Institut indien du recensement forestier), le Centre national de télédétection et le Conseil indien pour la recherche et l'enseignement forestier, qui se réunissent régulièrement afin de décider des rôles respectifs et de l'établissement de ces rôles, et pour veiller à ce que toutes les activités soient mises en œuvre en temps voulu.

FIGURE 2.3 : REPARTITION DES TACHES ET MISE EN PLACE DES DISPOSITIFS POUR LE DEVELOPPEMENT DE L'INVENTAIRE DES EMISSIONS GES PAR SOURCES ET LES ABSORPTIONS PAR PUITS POUR LE SECTEUR UTCATF EN INDE.



Here IFGTB: Institute of Forest Genetics and Tree Breeding, Coimbatore; IWST: Institute of Wood Science and Technology, Bangalore; TFRI: Tropical Forest Research Institute, Jabalpur; RFRI: Rain Forest Research Institute, Jorhat; AFRI: Arid Forest Research Institute, Jodhpur; HFRI: Himalayan Forest Research Institute, Shimla; IFP: Institute of Forest Productivity, Ranchi; CSEFR: Centre for Social Forestry and Eco-Rehabilitation, Allahabad; CFRHRD: Centre for Forestry Research and Human Resource Development, Chhindwara; FRC: Forest Research Centre, Hyderabad; ARCBR: Advanced Research Centre for Bamboo and Rattans, Aizawl, IISc: Indian Institute of Science; FSI: Forest Survey of India; NRSC: National Remote Sensing Centre.

Traduction:

	NRSC : Terres cultivées, Prairies, Établissement et Autres terres
Matrice de l'utilisation des terres	FSI : Terres forestières
	Sol forestier : FSI et ICFRE et ses institutions subsidiaires AFRI, ARCBR, CFRHRD, CSFER ; FRC, HFRI, IFGTB, IFP, IWST, RFRI, TFRI
Carbone du sol	Carbone forestier en dehors des forêts : IISc (sondage de litière)
	Forêts : FSI (aérienne, souterraine)
Estimer la biomasse	Non-forêt : FSI (aérienne, souterraine)
	FSI : Terres forestières
Inventaire GES	IISc : Terres cultivées, Prairies et Établissements

IFGTB : Institut de la génétique forestière et de la culture des arbres, Coimbatore ; IWST : Institut des sciences et technologies du bois, Bangalore ; TFRI : Institut de recherche pour la forêt tropicale, Jabalpur ; RFRI : Institut de recherche pour les forêts tropicales, Jorhat ; AFRI : Institut de recherche pour les forêts arides, Jodhpur, HFRI : Institut de recherche pour les forêts de l'Himalaya, Shimla ; IFP : Institut de la productivité des forêts, Ranchi ; CSFER : Centre de la foresterie sociale et réhabilitation écologique, Allahabad ; CFRHRD : Centre pour la foresterie : Recherche et développement des ressources humaines, Chhindwara ; FRC : Centre de recherche forestière, Hyderabad ; ARCBR : Centre de recherche avancée pour les bambous et rotins, Aizawl ; IISc : Institut des sciences indien ; FSI : Forest Survey of India ; NRSC : Centre national de télédétection

Le financement de toutes les activités fait partie du *Indian Geosphere Biosphere Programme* dans le cadre de l'Organisation indienne pour la recherche spatiale. Par exemple, la Division de la gestion des ressources naturelles, qui couvre la cartographie de l'utilisation des terres, avait octroyé un budget de 537,4 millions de roupies (soit 9,95 millions \$) pour 2012-13 (Budget de l'union, 2012-13), en comparaison des 68,75 millions de roupies (1,27 millions \$) qui avaient été alloués au budget pour la préparation de la totalité de l'inventaire des émissions GES, pour la seconde communication nationale, répartis sur quatre ans.

De même, la préparation de l'inventaire des émissions GES fait partie du mandat du FSI et a été financé par l'intermédiaire du budget de la foresterie, de la flore et de la faune du ministère de l'Environnement et des forêts, l'organe de tutelle du FSI. Le budget des dépenses de sa division de la foresterie, de la faune et de la flore était de 9.066,8 millions de roupies (167 millions \$) pour 2012-2013 (budget de l'Union 2012-13). L'Institut des sciences indien (IISc) était aussi financé par le biais de la seconde communication nationale, et plusieurs autres sources, y compris des fonds gouvernementaux, bilatéraux et multilatéraux.

2.6 MODÈLES DE SYSTÈME NATIONAL DE L'EPA

Les Modèles de système national de l'EPA peuvent être utilisés par les pays comme fondement pour édifier un système national de gestion de l'inventaire¹⁰. Les avantages des systèmes sont les suivants :

- Ils concentrent la documentation des informations essentielles sous une forme concise et évitent la rédaction inutile de longs rapports écrits ;

¹⁰ Voir le site <http://www.epa.gov/climatechange/EPAactivities/internationalpartnerships/capacity-building.html#National> pour plus d'informations et pour savoir comment télécharger les modèles.

- Ils normalisent les tâches, ce qui permet aux pays à l'intérieur d'une région de comparer et d'opposer les résultats ;
- Ils veillent à ce que les rôles et les responsabilités soient compris ;
- Ils acceptent des niveaux variés en matière de capacités nationales ;
- Ils fournissent un système objectif et efficace permettant d'identifier les priorités pour les améliorations ultérieures ;
- Ils servent de guide d'instruction et de point de départ pour les équipes d'inventaire futures ; et
- Ils créent la transparence dans le système national d'un pays et améliorent la qualité dans le temps.

Les six modèles (décrits brièvement ci-après) peuvent être compilés dans une seule Notification du système national de l'inventaire, de moins de 50 pages habituellement, fournissant une documentation détaillée de chaque composante essentielle du système national. L'outil d'analyse des catégories clés (KCA) peut servir à déterminer les catégories clés dans un inventaire GES.

Modèle 1 : Dispositifs institutionnels pour le système d'inventaire national

Ce modèle aide les équipes à évaluer et à documenter les points forts et les points faibles des dispositifs institutionnels existants pour le développement de l'inventaire. Il assure la continuité et l'intégrité de l'inventaire, favorise l'institutionnalisation du processus d'inventaire et facilite l'établissement de l'ordre prioritaire des améliorations futures.

Modèle 2 : Méthodes et documentation des données

Ce modèle aide les équipes d'inventaire à documenter et notifier l'origine des méthodologies, les bases de données des activités et les EF utilisés pour estimer les émissions ou les absorptions. Les équipes d'inventaire futurs peuvent se référer à l'inventaire terminé pour chaque catégorie de source et de puits afin de déterminer quelles étaient les informations collectées, comment les données avaient été obtenues et quelles méthodes avaient été utilisées.

Modèle 3 : Description des procédures AQ/CQ

Ce modèle guide les pays pour l'établissement d'un programme AQ/CQ rentable dans le but d'améliorer la transparence, la cohérence, la comparabilité, l'exhaustivité et la confiance dans les inventaires nationaux GES. Des listes de vérification supplémentaires, accompagnées de procédures AQ/CQ recommandées, ont été développées pour le Coordinateur de l'inventaire et le Coordinateur AQ/CQ.

Modèle 4 : Description d'un système d'archives

Un système d'archives représente une étape peu coûteuse et pourtant essentielle dans la durabilité du système d'inventaire national. Un système d'archives permet de notifier les inventaires facilement, d'assurer une protection contre les pertes de données et d'informations et de faciliter la reproductibilité des estimations.

Modèle 5 : Analyse des catégories clés (KCA)

La KCA donne des informations, conformément aux critères du GIEC, précisant quels sont les sources et les puits les plus importants qui devraient faire l'objet d'amélioration. L'outil KCA permet à un pays de déterminer les catégories clés d'un inventaire GES.

Modèle 6 : Plan d'amélioration de l'inventaire national

Il fait la synthèse des conclusions et décrit les priorités spécifiques concernant les futurs projets de renforcement des capacités, en fonction des besoins identifiés dans les cinq premiers modèles, et permet d'améliorer continuellement l'inventaire.

Exemple de modification du Modèle 1 dans le cadre de la REDD+

Étape 1 :

Lister l'organe responsable et décrire les dispositifs ou les liens entre l'Organe/organisation chargée l'inventaire en matière de REDD+ et le Coordinateur national¹¹ de la CCNUCC, s'ils sont différents (Tableau 2.1).

Étape 2 :

Enumérer les informations supplémentaires propres aux personnes contactées/experts pour l'élaboration de l'inventaire, pour les éléments + par secteur. Utiliser le tableau 2.2 afin de documenter les dispositifs existant pour obtenir les données de l'inventaire, les compiler et les examiner. Identifier le rôle, l'organisation et les coordonnées des personnes à contacter qui fournissent les données pertinentes pour l'estimation des émissions. Des exemples de rôles sont cités dans le tableau 2.2.

Étape 3 :

Déterminer s'il existe des dispositifs institutionnels bien établis pour la préparation de l'inventaire, si les données ont été collectées et gérées de manière adéquate et par conséquent si des renforcements sont inutiles. Énumérer ces informations dans la colonne intitulée, « Points forts dans la structure de gestion du système d'inventaire en matière de REDD+ » dans le tableau 2.3.

En tenant compte de l'analyse des catégories clés et des dispositifs institutionnels existant au sein de chaque secteur, déterminer quelles sont les améliorations nécessaires pour perfectionner les dispositifs institutionnels concernant chaque secteur et les énumérer dans la colonne intitulée, « Améliorations potentielles à la structure de gestion du système d'inventaire en matière de REDD+ » du tableau 2.3. En préparant cette section, vérifier si des tâches importantes pour la préparation de l'inventaire n'ont pas été affectées ou déléguées et déterminer si elles pourraient être affectées.

Dans la colonne « Commentaires » du tableau 2.3, donner des information sur le statut des dispositifs institutionnels, ou tout autre renseignement supplémentaire ne figurant pas ailleurs dans le tableau. Expliquer en détails comment les dispositifs avaient été établis. Par exemple, indiquer quel fournisseur de données listé dans le tableau 2.2 a fourni les statistiques qui seront utilisées dans l'inventaire. Décrire les stratégies qui avaient été utilisées pour collecter les données d'inventaire nécessaires auprès d'une organisation. Dans cette description, aborder les questions suivantes et faire des commentaires supplémentaires, le cas échéant :

- Existe-t-il un contrat juridique officiel entre les organisations ?

¹¹ « L'organe au niveau national » est utilisé dans l'ensemble du manuel et signifie l'organe unique désigné au niveau national chargé de la responsabilité générale de l'inventaire ainsi que de l'établissement et de la maintenance des dispositifs institutionnels, légaux et procéduraux entre les organes du gouvernement et les autres entités participant à la préparation des estimations des émissions et des absorptions résultant de l'UTCATF. D'autres termes pour désigner cet organe incluent l'entité nationale, l'agence responsable au niveau national et le point focal ou coordinateur.

- Y a-t-il eu une réunion entre les experts, les fournisseurs de données et les autres contributeurs essentiels expliquant le contexte et l'objectif de l'inventaire ?
- Existe-t-il un dispositif informel (par ex., communication écrite ou verbale avec le personnel) ?
- Comment la demande de données avait-elle été faite ?
- À quel niveau de la hiérarchie, la requête avait-elle été présentée ?
- Comment l'organisation avait-elle été motivée pour partager ses données et ses informations avec l'organe chargé de l'inventaire ?

TABLEAU 2.I : ORGANE DESIGNÉ POUR L'INVENTAIRE ; IL IDENTIFIE LES MEMBRES DE L'EQUIPE DE GESTION DE L'INVENTAIRE. LE STATUT DES DISPOSITIFS INSTITUTIONNELS PEUT ETRE NOTE DANS LA COLONNE DES « COMMENTAIRES ».

Organe désigné au niveau national pour la préparation de l'inventaire en matière de REDD+	Coordinateur national de la CCNUCC (nom) et organe coordinateur de la CCNUCC	Décrire les dispositifs ou les liens entre l'Organe/l'Organisation de l'inventaire en matière de REDD+ et l'Organe coordinateur national de la CCNUCC, s'ils sont différents.

TABLEAU 2.2 : ÉQUIPE DE GESTION DE L'INVENTAIRE NATIONAL

Rôle	Nom	Organisation	Coordonnées	Commentaires
Directeur/coordinateur de l'inventaire				
Responsable du secteur UTCATF				
Directeur/coordinateur des archives (données et documentation)				
Coordinateur AQ/CQ				
Coordinateur de l'analyse des incertitudes				
Autre : par ex., spécialiste des politiques GES qui suit les travaux de renforcement des capacités et les processus du GIEC				

TABLEAU 2.3 : POINTS FORTS ET AMÉLIORATIONS POTENTIELLES DU SYSTÈME D'INVENTAIRE EN MATIÈRE DE REDD+

Activités REDD+	Points forts dans la structure de gestion du système d'inventaire en matière de REDD+	Améliorations potentielles à la structure du système d'inventaire REDD+	Commentaires
UTCATF (général)			
Déforestation			
Dégénération des forêts			
Conservation des stocks de carbone forestier			
Gestion durable des forêts			
Accroissement des stocks de carbone			

2.7 REFERENCES

CGE: Training material and methodological documents provided by the Consultative Group of Experts on National Communications from Parties not included in Annex I to the Convention.
<http://CCNUCC.int/7914.php>

EPA National System Templates: Building Sustainable National Inventory Management Systems. Available at: <http://www.epa.gov/climatechange/EPAactivities/internationalpartnerships/capacity-building.html>

FCCC/CP/2011/9/Add.1. Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011 Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its seventeenth session

- IPCC. 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Published: IGES, Japan. <http://www.ipcc-nngip.iges.or.jp/public/gp/gpgaum.htm>
- IPCC GPG-LULUCF. 2003. IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Published: IGES, Japan. <http://www.ipcc-nngip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.htm>
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K., eds. Published: IGES, Japan. <http://www.ipcc-nngip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- CCNUCC. 2010. Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010 Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its seventeenth session
<http://CCNUCC.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf#page=2>
- CCNUCC. 2011. Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011 Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its seventeenth session
<http://CCNUCC.int/resource/docs/2011/cop17/eng/09a01.pdf#page=4>
- CCNUCC. 2013. Report of the Conference of the Parties on its nineteenth session, held in Warsaw from 11 to 23 November 2013 Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its nineteenth session <http://CCNUCC.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a01.pdf>

3.0 ESTIMER LES ÉMISSIONS ET ABSORPTIONS DES GAZ À EFFET DE SERRE

Auteurs : Angel Parra et Stelios Pesmajoglou

3.1 INTRODUCTION

Ce chapitre donne une brève description des Recommandations en matière de bonnes pratiques pour l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie (GPG-UTCATF) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évaluation du climat (GIEC), y compris un bref aperçu de l'évaluation des lignes directrices du GIEC ; les principales étapes pour l'estimation des émissions et des absorptions afin de réduire les émissions liées à la déforestation et la dégradation des forêts, plus le rôle de la conservation, la gestion durable des forêts et l'accroissement des stocks de carbone forestier dans les pays en développement ; les principaux bassins de carbone ; et les types d'utilisation des terres. Il donne également un aperçu des méthodologies pour estimer les émissions et les absorptions, y compris une discussion sur les données d'activités (AD) et les facteurs d'émission (EF) nécessaires. Des informations plus détaillées et techniques sur la collecte de données qui serviront pour l'estimation des gaz à effet de serre (GES) sont données aux Chapitres 4 et 5. Section 3.3, Étapes de l'inventaire et la notification, de ce manuel et fournissent des renseignements plus précis sur les étapes à suivre pour générer un inventaire national GES. Ce chapitre porte sur les activités mises en évidence à la page suivante.

ÉTAPE 0 : Établir des dispositifs institutionnels.



ÉTAPE 1 : Estimer les superficies terrestres dans chaque catégorie d'occupation des terres, par stratification ou une autre méthode, pour la durée requise, pour les superficies représentées dans les GPG-UTCATF.



ÉTAPE 2 : Faire une analyse des grandes catégories (KCA) pour les catégories pertinentes. Dans les catégories jugées essentielles, évaluer les gaz non-CO₂ et les bassins de carbone importants, et établir la priorité en terme de choix méthodologique.



ÉTAPE 3 : Préparer un inventaire du carbone forestier afin de générer des facteurs d'émission (EF), si la méthode des gains et des pertes est utilisée ; s'assurant que les exigences en matière de facteurs d'émission et d'absorption sont satisfaites. Les EF représentent les coefficients qui quantifient les émissions/absorptions par unité de surface.



ÉTAPE 4 : Générer des données d'activités (AD) ; correspondant au Niveau déterminé. Les AD représentent l'étendue sur laquelle une activité humaine a lieu.



ÉTAPE 5 : Quantifier les émissions et absorptions ; en estimant l'incertitude dans chaque estimation. Les estimations des émissions et des absorptions représentent la multiplication des AD par les EF qui y sont liés.



ÉTAPE 6 : Notifier les estimations des émissions et des absorptions ; en utilisant les tableaux de notification et les fiches de travail, si nécessaire. Documenter/archiver les informations utilisées pour établir les estimations nationales des émissions et des absorptions, en suivant les instructions spécifiques à chaque catégorie/changement d'affectation des terres, bassin de carbone et source non-CO₂.



ÉTAPE 7 : Faire une vérification et mettre en place des contrôles de la qualité ; y compris des examens par les pairs des estimations des émissions en suivant les recommandations spécifiques pour chaque utilisation des terres, les bassins et les gaz non-CO₂.

Selon les GPG-UTCATF, la base fondamentale de la méthodologie de l'inventaire GES pour l'utilisation des terres et le changement d'affectation des terres dans les forêt, y compris la REDD+, repose sur deux hypothèses liées entre elles :

- Le flux du dioxyde de carbone (CO₂) pénétrant et s'échappant de l'atmosphère est égal aux variations dans les stocks de carbone existant dans la biomasse et les sols ; et
- Les variations des stocks de carbone peuvent être estimées en établissant d'abord les taux de changement dans l'affectation des terres, la méthode utilisée pour convertir les terres à un autre usage (par ex., le brûlis, le défrichement, la coupe sélective, les modifications dans la sylviculture ou les méthodes de gestion) et les stocks de carbone avant et après le changement. Il faut donc estimer :

- L'utilisation des terres dans l'année de l'inventaire ;
- La conversion des forêts en une autre utilisation des terres ;
- Les stocks de carbone dans les catégories d'utilisation des terres (à la fois ceux susceptibles de variation et ceux qui ne le sont pas).

Pour estimer les émissions et absorptions GES, il est important de tenir compte de la portée de l'inventaire, des méthodologies d'estimation et des données nécessaires.

Dans le contexte de la REDD+, un inventaire national GES doit couvrir toutes les émissions anthropiques et les absorptions à l'intérieur des frontières nationales au cours d'une durée spécifique (par ex., une année calendaire ou une période de plusieurs années). Les émissions anthropiques et les absorptions sont définies comme étant celles ayant lieu sur des terres gérées. Le terme, terres gérées, a une définition très large et même si ce n'est pas la même chose au sens strict que les activités anthropiques, il est utilisé relativement couramment comme la meilleure approximation disponible sur une base mondiale (voir l'Encadré 3.I).

ENCADRE 3.I : TERRES GEREES ET NON GEREES

Les pays peuvent utiliser leurs propres définitions des terres gérées et non gérées, qui peuvent faire référence aux définitions acceptées internationalement, telles que celles de la FAO, de Ramsar, etc. Aucune définition n'est donnée ici pour cette raison, en dehors de descriptions générales.

Les terres gérées peuvent être distinguées des terres non gérées en remplissant non seulement des fonctions de production, mais aussi des fonctions écologiques et sociales. Les définitions détaillées et l'approche nationale pour établir une distinction entre les terres gérées et non gérées doivent être décrites de manière transparente dans la notification de l'inventaire (GIEC GPG 2003), disponible sur le site : http://www.ipcc-nngip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/Chp2/Chp2_Land_Areas.pdf.

Les exigences minimales pour qu'un pays puisse participer à un mécanisme d'atténuation lié à un processus financier (par ex., la REDD+) sont d'avoir l'aptitude et les capacités nécessaires pour compiler un inventaire GES contenant des estimations de variations de stocks de carbone avec une incertitude connue. Dans le contexte de ce manuel, les méthodologies d'estimation décrites sont celles des stipulations des GPG-UTCATF, qui sont conformes à celles définies dans les Lignes directrices 2006 du GIEC pour l'Inventaire national des gaz à effet de serre (Lignes directrices du GIEC, 2006). Pour remplir cette condition, un pays doit avoir : i) des estimations EF propres au pays, par exemple, un Inventaire forestier national, pour les changements liés aux terres forestières ; ii) des données d'inventaire sur plusieurs années ; et iii) des estimations de l'incertitude associée à toutes les données notifiées.

3.2 RECOMMANDATIONS DU GIECLES

3.2.I Recommandations en matière de bonnes pratiques pour l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie

Le GIEC avait élaboré les GPG-UTCATF en 2003 (GIEC, 2003) à titre de supplément aux *Lignes directrices 1996 révisées du GIEC pour les Inventaires nationaux des gaz à effet de serre* (*Lignes directrices 1996 révisées*) (GIEC, 1996). Pour plus de détails, se reporter à la Section 7.I de ce manuel. Leurs principaux objectifs sont les suivants :

- Aider les pays à réaliser des inventaires nationaux GES pour le secteur UTCATF qui soient transparents, cohérents, exhaustifs, comparables et exacts ; et

- Faire des recommandations en matière de bonnes pratiques sur le choix de la méthodologie des estimations et sur les améliorations des méthodes, de même que donner des conseils sur les questions transversales, y compris les estimations des incertitudes, la cohérence des séries temporelles, l'assurance de la qualité et le contrôle de la qualité.

Les GPG-UTCATF donnent des conseils sur des caractéristiques spécifiques liées au secteur UTCATF, notamment :

- Représentation cohérente des superficies des terres ;
- Échantillonnage pour les estimations de superficie et pour estimer les émissions et les absorptions ;
- Vérification ; et
- Des directives sur la façon de réaliser les notifications à la Convention pour le secteur UTCATF afin de respecter les exigences supplémentaires en vertu du Protocole de Kyoto.

D'autres modifications apportés par des GPG-UTCATF sont les inclusions suivantes :

- Une analyse des catégories clés par source/puits, permettant de consacrer les ressources limitées en matière d'inventaire à des catégories importantes par source/puits, bassins de CO₂ et gaz non CO₂ ;
- Les cinq bassins de carbone, (biomasse aérienne, biomasse souterraine, bois mort, litière et carbone organique du sol) ;
- Les estimations d'émissions et d'absorptions de CO₂ pour tous les bassins de carbone ; et
- Les estimations des gaz non CO₂ suivants :
 - Oxyde d'azote (N₂O) et méthane (CH₄) provenant de feux de forêt ;
 - N₂O et CH₄ provenant de zones humides gérées ;
 - N₂O provenant de forêts gérées (fertilisation des forêts) ;
 - N₂O provenant du drainage de sols forestiers ; et
 - N₂O provenant de conversion de l'utilisation des terres.

Les inventaires peuvent être organisés en suivant les six catégories générales d'utilisation des terres : terres forestières ; terres cultivées ; prairies ; zones humides ; établissements et autres terres. Ces catégories peuvent être divisées à leur tour en terres conservant la même utilisation des terres (par ex., Terres forestières restant des terres forestières) pendant la période couverte par l'inventaire, et les terres converties dans une autre catégorie d'utilisation des terres (par ex., Terres forestières converties en terres cultivées) pendant la période de l'inventaire.

Le Tableau 3.1 résume les différences entre les Lignes directrices 1996 révisées, les GPG-UTCATF 2003 et les Lignes directrices 2006 du GIEC (Volume 4 : Agriculture, foresterie et autre utilisation des terres).

TABLEAU 3.1 : DIFFÉRENCES ENTRE LES LIGNES DIRECTRICES 1996 DU GIEC, LES GPG-UTCATF ET LES LIGNES DIRECTRICES 2006 POUR LE SECTEUR AFOLU

Lignes directrices 1996 révisées du GIEC	GPG-UTCATF	Lignes directrices 2006 du GIEC, secteur AFOLU
<p>Approche de notification basée sur quatre catégories :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variations des stocks forestiers et autre biomasse ligneuse • Conversion des forêts et des prairies • Abandon de terres cultivées, prairies ou autres terres gérées • Émissions et absorptions de CO₂ provenant des sols <p>Certaines catégories de terres ne sont pas incluses (par ex., café, thé, noix de coco).</p> <p>Manque de clarté pour l'agroforesterie.</p>	<p>Approche de notification basée sur six catégories de terres :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Terres forestières • Terres cultivées • Prairies • Zones humides • Établissements • Autres terres 	<p>Le secteur agricole est intégré au secteur UTCATF par mesure de cohérence et pour éviter le double-comptage. La notification pour les catégories de terres reste semblable aux stipulations des GPG-UTCATF.</p>
<p>Les catégories Terres forestières et Prairies sont subdivisées en fonction des quatre catégories de notification :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Changement dans la gestion • Conversion • Abandon • Cultures 	<p>Les six catégories des terres sont divisées à leur tour en :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Terres restant dans la même catégorie d'utilisation • Terres converties dans un autre catégorie d'utilisation 	Semblable

<p>Méthodes fournies surtout pour la biomasse aérienne et le carbone organique du sol.</p> <p>Hypothèse par défaut : Les changements dans les matières organiques mortes et la biomasse souterraine sont égaux à zéro (soit, les intrants sont égaux aux pertes).</p>	<p>Méthodes données pour mesurer et estimer les cinq bassins de carbone :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biomasse aérienne • Biomasse souterraine • Matières organiques mortes • Litière • Carbone organique du sol <p>Méthodes données pour tous les gaz non CO₂.</p>	<p>Intégration de méthodes pour les émissions de gaz non CO₂ provenant de terres gérées, des sols et du brûlis de biomasse, de la description du cheptel communautaire et des systèmes de gestion des fumiers liés à l'agriculture</p> <p>Intégration de méthodes pour estimer les émissions de CO₂ provenant de terres inondées, avec des méthodes pour les émissions de CH₄ contenues dans une appendice, indiquant la disponibilité limitée des informations scientifiques.</p> <p>Description d'autres méthodes pour estimer et notifier les modifications dans les stocks de carbone associés aux produits ligneux récoltés.</p>
<p>Analyse des catégories clés par source/puits non fournie.</p>	<p>Analyse des catégories clés par source/puits fournie pour la sélection des :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Catégories des terres • Sous-catégories des terres • Bassins de carbone • Gaz CO₂ et non CO₂ 	<p>Semblable</p>

<p>AD essentielles requises :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Superficie de plantations/forêts • Superficie forestière convertie • Superficie moyenne convertie (10 ans en moyenne) • Superficie abandonnée et régénérée en forêts : 20 ans avant l'année t (année de l'inventaire) et 20-100 ans avant l'année t • Superficie avec une autre utilisation/des systèmes de gestion et type de sol : pendant l'année t et 20 ans avant l'année t • Superficie constituée de sols organiques gérées 	<p>AD essentielles requises :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Superficie de terres forestières restant des terres forestières et autre catégorie de terres converties en terres forestières, réparties par : région climatique, type de végétation, espèces, système de gestion, etc. • Superficie forestière affectée par des perturbations • Superficie forestière affectée par des feux • Terres à reboiser provenant de terres cultivées/prairies • Terres converties en forêts par des plantations ou la régénération naturelle 	<p>Semblable</p>
---	--	------------------

Facteurs d'émissions essentiels requis :	<ul style="list-style-type: none"> • Biomasse annuelle transférée dans le bois mort • Biomasse annuelle récupérée du bois mort • Stocks de litière avec des systèmes de gestion différents • Carbone organique du sol dans différent systèmes de gestion • Quantité de combustible issu de la biomasse présent sur une superficie sujette au brûlis 	Facteurs d'émissions essentiels requis :	<ul style="list-style-type: none"> • Accumulation annuelle nette moyenne en volume destinée à la transformation industrielle. • Facteur d'expansion de la biomasse (BEF) pour la conversion d'accumulation annuelle nette (y compris l'écorce) en accumulation de biomasse des arbres en surface • Rapport racine/pousse adéquat pour l'accumulation • BEF pour convertir le volume de bois rond extrait en biomasse aérienne totale (y compris l'écorce) • Taux de mortalité dans les forêts naturelles et les forêts régénérées artificiellement. 	Améliorations des facteurs par défaut des émissions et de variation des stocks, de même que le développement de la Base de données des facteurs d'émission (EFDB) du GIEC, un outil s'ajoutant aux Lignes directrices 2006 du GIEC, fournissant d'autres facteurs d'émissions avec la documentation correspondante.
Approche de structure à trois niveaux présentée pour la sélection des méthodes ; AD et Facteurs d'émissions non fournis.	Approche de structure à trois niveaux présentée pour la sélection des méthodes ; AD et Facteurs d'émissions décrits explicitement.	Semblable		
Variations des stocks de carbone dans la biomasse et le carbone dans le sol dans une végétation donnée ou un type de forêts, aucun lien.	Liens entre les bassins de biomasse et carbone dans le sol	Semblable		

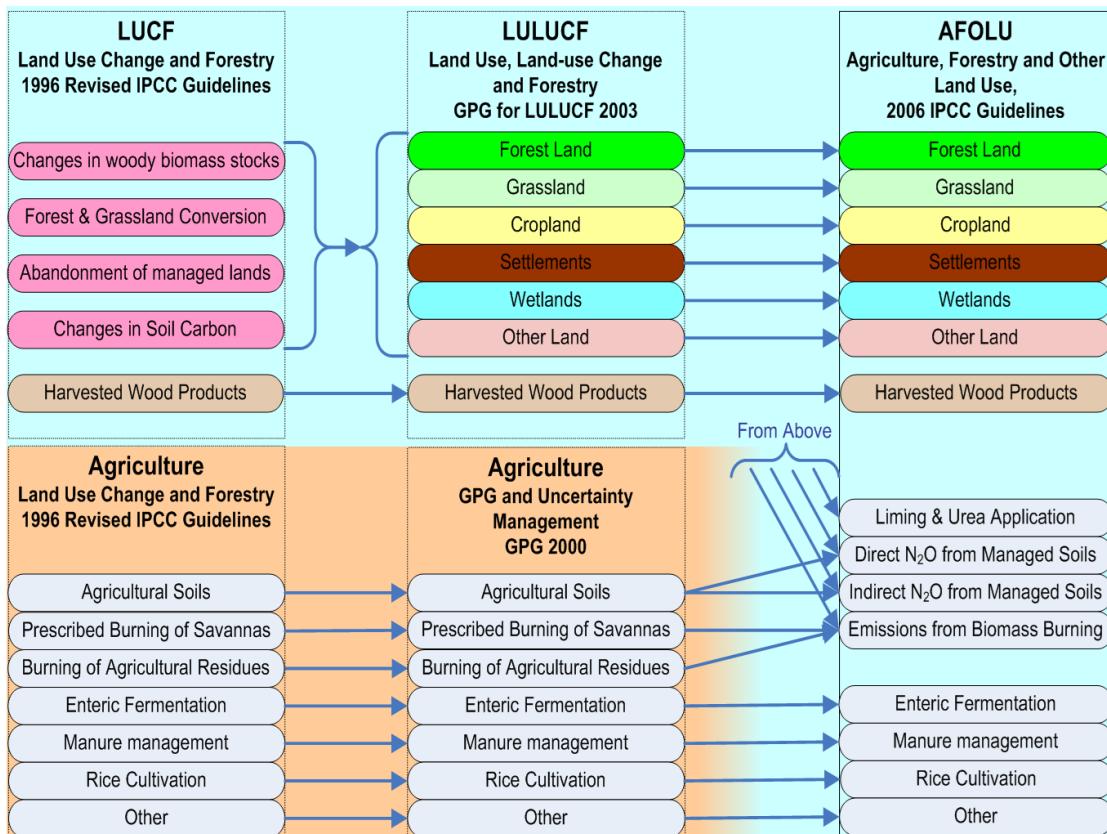
3.2.1 Lignes directrices 2006 du GIEC

Les Lignes directrices 2006 du GIEC représentent un développement évolutif dans les méthodologies pour les inventaires GES (GIEC, 2006). Le changement le plus important présenté était le regroupement du secteur UTCATF et du secteur de l'agriculture en un seul secteur intitulé Agriculture, foresterie et autres terres (AFOLU). La Figure 3-1 donne un aperçu de l'évolution du secteur UTCATF dans les Lignes directrices du GIEC.

D'autres changements concernant le secteur AFOLU incluent :

- L'adoption des six catégories d'utilisation des terres dans les GPG-UTCATF (terres forestières, terres cultivées, prairies, zones humides, établissements et autres terres). Ces catégories de terres sont subdivisées à leur tour entre les terres restant dans la même catégorie et les terres d'une catégorie converties dans une autre. Les catégories d'utilisation des terres sont conçues afin de pouvoir inclure toutes les superficies gérées dans un pays ;
- La notification de toutes les émissions par sources et les absorptions par puits provenant des terres gérées, qui sont considérées anthropiques, tandis que les émissions et absorptions des terres non gérées ne sont pas notifiées ;
- Des méthodes génériques pour comptabiliser la biomasse, les matières organiques mortes et les variations des stocks de carbone dans toutes les catégories d'utilisation des terres et les méthodes génériques pour les émissions GES des brûlis de biomasse qui peuvent être appliquées dans toutes les catégories d'utilisation des terres ;
- L'intégration des émissions non CO₂ provenant des sols gérés et du brûlis de la biomasse, et de la description du cheptel communautaire et des systèmes de gestion des fumiers liés à l'agriculture ;
- L'adoption des trois niveaux hiérarchiques des méthodes allant de facteurs d'émissions par défaut et de simples équations au recours à des données propres aux pays et à des modèles adaptés à la situation nationale ;
- La description d'autres méthodes pour estimer et notifier les variations des stocks de carbone liés aux produits ligneux récoltés ;
- L'intégration d'une KCA pour les catégories d'utilisation des terres, bassins de carbone, émissions GES CO₂ et non CO₂ ;
- Le respect des principes de l'équilibre des masses dans le calcul des variations des stocks de carbone ;
- Une plus grande cohérence dans la classification des terres pour permettre une sélection adéquate des facteurs d'émissions et de variation des stocks et des AD ;
- L'amélioration des facteurs par défaut des émissions et des variations de stocks, ainsi que le développement d'une base de données des facteurs d'émissions (EFDB) du GIEC, qui est un outil ajouté aux Lignes directrices 2006 du GIEC, fournissant d'autres facteurs avec la documentation correspondante ; et
- L'intégration de méthodes pour estimer les émissions de CO₂ provenant des terres inondées avec des méthodes pour les émissions de CH₄ contenues dans un appendice, indiquant la disponibilité limitée des informations scientifiques.

FIGURE 3.1 : ÉVOLUTION DU SECTEUR UTCATF DANS LES LIGNES DIRECTRICES DU GIEC. DU GROUPE DE TRAVAIL SUR LA PRÉSENTATION DES INVENTAIRES NATIONAUX DES GAZ A EFFET DE SERRE A L'ATELIER CONSACRE AUX QUESTIONS METHODOLOGIQUES DU GROUPE DE TRAVAIL AD HOC DE LA CCNUCC PORTANT SUR LES ENGAGEMENTS SUPPLEMENTAIRES POUR LES PARTIES VISEES A L'ANNEXE I EN VERTU DU PROTOCOLE DE KYOTO (AWG-KP) DU 7 JUIN 2008¹²



Traduction :

LUCF Changement d'utilisation des terres et foresterie Lignes directrices GIEC révisées 1996	UTCATF Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie GPG pour l'UTCATF 2003	AFOLU Agriculture, foresterie et autres utilisations des terres Lignes directrices GIEC 2006
Variation dans les stocks de biomasse ligneuse	Terres forestières	Terres forestières
Conversion des forêts et prairies	Prairies	Prairies
Abandon des terres gérées	Terres cultivées	Terres cultivées
Variations dans le carbone du sol	Établissements	Établissements
	Zones humides	Zones humides

¹² http://www.ipcc-nngip.iges.or.jp/presentation/NGGIP_AWG_KP.pdf

Produits ligneux récoltés	Autres terres	Autres terres
Agriculture	Produits ligneux récoltés	Produits ligneux récoltés
Changement d'utilisation des terres et Foresterie	Agriculture GPG et gestion de l'incertitude GPG 2000	
Lignes directrices GIEC révisées 1996		
Sols agricoles	Sols agricoles	N ₂ O direct des sols gérés
Brûlage contrôlé des savanes	Brûlage contrôlé des savanes	N ₂ O indirect des sols gérés
Brûlage des résidus agricoles	Brûlage des résidus agricoles	Émissions du brûlage de la biomasse
Fermentation entérique	Fermentation entérique	Fermentation entérique
Gestion des fumiers	Gestion des fumiers	Gestion des fumiers
Riziculture	Riziculture	Riziculture
Autre	Autre	Autre

3.3 ÉTAPES DE L'INVENTAIRE ET LA NOTIFICATION

La chronologie des étapes pour établir l'inventaire des émissions et des absorptions pour la notification de l'inventaire national est décrite ci-après :

1. Estimer les superficies terrestres dans chaque catégorie d'utilisation des terres pour la période requise, en tirant partie des trois approches décrites ci-après, pour les surfaces représentatives des GPG-UTCATF.
2. Identifier les catégories clés (voir l'Encadré 3.2). Dans le cadre des catégories désignées comme essentielles, évaluer quels sont les bassins de gaz non CO₂ et de carbone importants, et établir la priorité de ces bassins en termes de choix méthodologiques.
3. S'assurer que les exigences en termes de facteurs d'émissions et d'absorption et de AD correspondant au niveau adéquat sont respectées ; les niveaux sont décrits ci-après.
4. Quantifier les émissions et absorptions et estimer l'incertitude dans chaque estimation.
5. Utiliser les tableaux de notification pour notifier les estimations d'émission et d'absorption. Avoir recours aux feuilles de travail, le cas échéant. Documenter et archiver toutes les informations utilisées pour produire les estimations nationales des émissions et absorptions en suivant les instructions spécifiques concernant chaque catégorie d'utilisation des terres, le bassin de carbone, la source de gaz non CO₂ et le changement d'affectation des terres (des informations supplémentaires sur les notifications sont fournies dans le Chapitre 6).
6. Mettre en place des contrôles de la qualité, des vérifications et des examens par des pairs des estimations d'émission en suivant les recommandations spécifiques concernant chaque catégorie d'utilisation des terres, le bassin de carbone, la source de gaz non CO₂ et le changement d'affectation des terres (des informations supplémentaires sur la vérification sont fournies dans le Chapitre 6).

ENCADRE 3.2 : CATEGORIES CLÉS ET ANALYSE DES CATEGORIES CLÉS

Les catégories clés font référence à des éléments spécifiques dans un inventaire GES qui sont importants, pour ce qui est de leur contribution, pour les émissions/absorptions totales, ou pour la totalité de l'incertitude concernant les années couvertes par l'inventaire. Elles représentent un élément central des lignes directrices du GIEC, aidant les pays à identifier les méthodologies les plus adéquates pour des activités spécifiques. Le choix méthodologique pour les catégories individuelles

des sources et des puits individuels est important pour la gestion de l'ensemble de l'incertitude dans l'inventaire. En général, l'incertitude de l'inventaire est plus faible si les émissions et absorptions sont estimées à l'aide des méthodes les plus rigoureuses fournies pour chaque catégorie ou sous-catégorie dans les volumes sectoriels des Lignes directrices. Cependant, ces méthodes exigent habituellement des ressources plus vastes pour collecter les données, par conséquent, il peut ne pas être possible d'avoir recours à des méthodes plus rigoureuses pour chaque catégorie d'émissions et d'absorptions. Identifier les catégories contribuant le plus à l'incertitude générale dans l'inventaire dans le but d'utiliser les ressources avec le plus d'efficacité est donc une bonne pratique. En déterminant quelles sont les catégories clés dans l'inventaire national, ses compilateurs peuvent cibler leurs efforts et améliorer l'ensemble de leurs estimations.

L'identification systématique et objective par chaque pays de ses catégories nationales clés est également une bonne pratique. Par conséquent, c'est une bonne pratique d'utiliser les résultats d'une analyse des catégories clés (KCA) comme point de départ pour choisir la méthodologie. Ce type de processus améliorera la qualité de l'inventaire et instaurera une plus grande confiance dans les estimations développées.

La Section 5.4 des GPG-UTCATF fait des recommandations sur les approches quantitatives pour l'analyse KCA, dans le but de répondre à trois objectifs :

1. Pouvoir évaluer de manière continue les catégories clés de source sans le secteur UTCATF
2. Évaluer l'importance relative des catégories UTCATF en les intégrant dans l'analyse générale des catégories clés et
3. Parvenir à une harmonisation avec les recommandations et les décisions de la Conférence des Parties à la CCNUCC et du Protocole de Kyoto, au regard de l'identification des catégories clés.

Les GPG-UTCATF recommandent également de faire la KCA deux fois. En premier temps, la KCA doit identifier les catégories clés dans tous les secteurs, sauf l'UTCATF. L'analyse KCA doit ensuite être menée en incluant le secteur UTCATF.

La figure ci-dessus, tirée des GPG-UTCATF, donne un aperçu du processus décisionnel dans le cadre d'une KCA.

Y a-t-il des données d'inventaire pour plus d'une année ?	Non	Déterminer les <i>catégories clés</i> avec la Méthode de Niveau I Évaluation et considérations qualitatives
Oui		
Y a-t-il des estimations de l'incertitude propres au pays pour chaque estimation de catégorie ?	Non	Déterminer les <i>catégories clés</i> avec la Méthode de Niveau I et Évaluation des tendances et considérations qualitatives
Oui		
Déterminer les <i>catégories clés</i> avec la Méthode de Niveau 2 et Évaluation (en incorporant les estimations nationales de l'incertitude) des tendances et considérations qualitatives		

3.4 DEFINITIONS DES BASSINS DE CARBONE ET DES UTILISATIONS DES TERRES

3.4.1 Bassins de carbone

Les GPG-UTCATF donnent les définitions suivantes pour les cinq bassins de carbone : biomasse aérienne, biomasse souterraine, bois mort, litière et sols (voir l'Encadré 3.3). Ces définitions donnent une représentation générique des bassins existant dans un écosystème terrestre. D'autres informations concernant particulièrement les forêts figurent au Chapitre 4.

La situation nationale peut nécessiter de modifier légèrement les définitions des bassins utilisées dans ce document. Dans ce cas, c'est une bonne pratique que de le signaler clairement. Cette pratique permet d'avoir la certitude que les définitions modifiées sont utilisées de manière constante dans le temps et prouve que les bassins ne sont ni omis ni compter deux fois.

ENCADRE 3.3 : LES CINQ BASSINS DE CARBONE

Biomasse vivante :

- **Biomasse aérienne** : Toute la biomasse vivante au dessus du sol, y compris les tiges, les souches, les branches, l'écorce, les graines et les feuilles. Les branches mortes encore attachées à une plante vivante font partie du bassin de biomasse des arbres vivants en surface, mais elles ne représentent pas en général un pourcentage important du bassin. Si le sous-étage est une composante relativement faible du bassin de carbone de la biomasse aérienne, les méthodologies et les données correspondantes utilisées à un niveau donné peuvent l'exclure, à condition que les niveaux soient utilisés de manière constante dans l'ensemble de la série temporelle des inventaires forestiers (tel que précisé au Chapitre 4).
- **Biomasse souterraine** : Toute la biomasse vivante provenant de racines vivantes. Les racines fines avec un diamètre inférieur à 2 mm (suggestion) sont souvent exclues, ou mesurées en tant que partie du bassin de carbone des sols, parce qu'il n'est pas pratique d'essayer d'enlever les racines très fines et les racines capillaires du sol.

Matière organique morte :

- **Bois mort** : Il englobe toute la biomasse ligneuse morte qui n'est pas contenue dans la litière, qu'il soit sur pied, au sol ou dans le sol. Le bois mort inclut le bois couché sur la surface, les racines mortes et les souches d'un diamètre égal ou supérieur à 10 cm ou toute autre mesure de diamètre utilisé par le pays. Habituellement, les arbres morts sur pied doivent être suffisamment grands pour correspondre à la définition de « l'arbre » utilisée pour les arbres vivants dans le pays. Les stocks de carbone dans le bois mort au sol sont également appelés les débris ligneux grossiers.
- **Litière** : Elle inclut toute la biomasse morte avec un diamètre inférieur au diamètre minimum adopté par le pays pour le bois mort (par exemple, 10 cm, et parfois aussi une longueur minimum), au sol morte dans des états divers de décomposition au dessus du sol minéral ou organique. Cela englobe la litière, les couches fumiques et humiques. Les racines capillaires vivantes (d'un diamètre inférieur au diamètre minimum suggéré pour la biomasse souterraine) sont incluses dans la litière lorsque l'on ne peut pas les distinguer empiriquement de la litière.

Sols :

- **Matière organique du sol** : Elle inclut le carbone organique dans les sols organiques et minéraux (y compris la tourbe) à une profondeur spécifique choisie par le pays et appliquée de façon uniforme pendant la série temporelle. Les racines fines vivantes (dont le diamètre est inférieur à celui suggéré pour la biomasse souterraine) sont incluses dans la matière organique du sol lorsque l'on ne peut pas les distinguer empiriquement.

3.4.2 Catégories d'utilisation des terres

Puisque ce manuel porte sur les exigences en matière de système MNV pour les terres forestières, les six principales catégories de terres définies par les GPG-UTCATF et l'AFOLU sont présentées brièvement ci-après :

Terres forestières

Les terres forestières incluent toutes les terres à végétation ligneuse conformes aux seuils utilisés pour définir les terres forestières dans l'inventaire national GES, subdivisées au niveau national en terres gérées et en terres non gérées et également par type d'écosystème. Elles incluent aussi les systèmes dont la végétation est actuellement inférieure au seuil de la catégorie des terres forestières, mais qui devrait le dépasser.

Terres cultivées

Les terres cultivées incluent les terres arables et labourables, et les systèmes agroforestiers où la végétation est inférieure au seuil utilisé pour la définition nationale des terres forestières.

Prairies

Les prairies incluent les parcours et les grands pâturages libres qui ne sont pas considérés comme des terres cultivées. Elles incluent aussi les systèmes dont la végétation est inférieure au seuil de la catégorie des terres forestières, et ne devrait le dépasser sans une intervention humaine, les seuils utilisés pour la catégorie des terres forestières. La catégorie inclut toutes les prairies, depuis les terrains en friche, comme le páramo, jusqu'aux espaces récréatifs, ainsi que les systèmes agricoles et sylvopastoraux, subdivisés en systèmes gérés et *non* gérés, conformément aux définitions nationales.

Zones humides

Les zones humides incluent les terres couvertes ou saturées d'eau pendant la totalité ou une partie de l'année (par ex., tourbières) et qui n'entrent pas dans les catégories de terres forestières, terres cultivées, prairies ou établissements. Les zones humides peuvent être subdivisées en terres gérées et terres *non* gérées, conformément aux définitions nationales.

Établissements

Les établissements incluent toutes les terres développées, y compris l'infrastructure des transports et les établissements humains de toutes tailles, sauf s'ils sont déjà inclus dans d'autres catégories. Cela doit être conforme aux définitions nationales adoptées.

Autres terres

Les autres terres incluent les sols dénudés, les roches, les glaces et toutes les surfaces terrestres non gérées qui n'entrent pas dans les cinq autres catégories. Cette catégorie permet de faire correspondre la

totalité des superficies terrestres identifiées à la superficie nationale, lorsque des données sont disponibles.

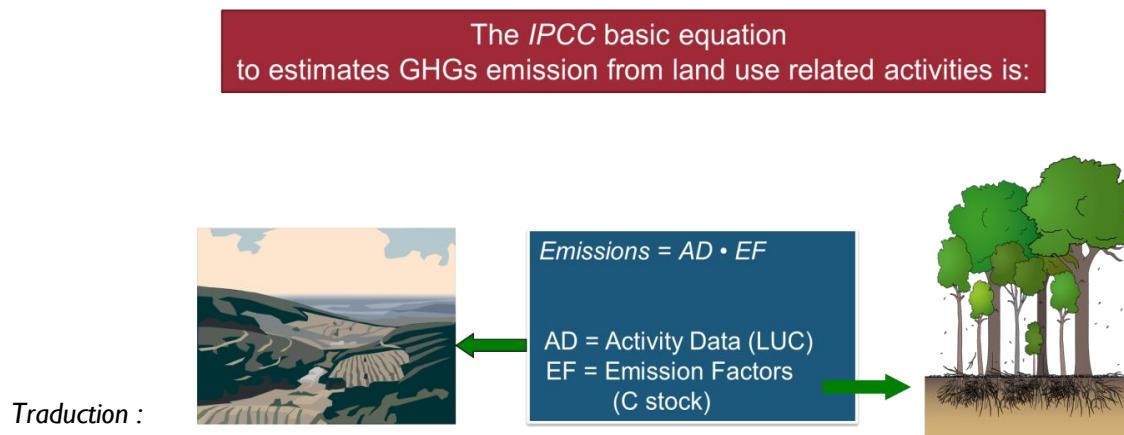
3.5 MÉTHODOLOGIES POUR L'ESTIMATION DES ÉMISSIONS ET ABSORPTIONS

Dans la mesure où il est impossible de mesurer toutes les émissions et absorptions, des estimations doivent être faites à partir de paramètres de substitution liés aux taux d'émission, comme les modifications dans les stocks de carbone avant et après un changement d'affectation des terres. La forme générique des méthodologies fournies dans toutes les Lignes directrices du GIEC, y compris les GPG-UTCATF, est indiquée à la Figure 3.2. Les estimations d'émissions sont égales au produit de toutes les AD envisagées et des EF qui leur correspondent. Les données d'activités (AD) sont des changements dans la surface de l'utilisation des terres, alors que les facteurs d'émissions (EF) représentent les quantités moyennes des émissions par unité de surface de chaque type d'activité.

Les GPG-UTCATF (et les Lignes directrices 2006 du GIEC) permettent d'avoir des inventaires avec différents niveaux de complexité. En général, les inventaires ayant recours à un niveau supérieur ont amélioré l'exactitude et réduit l'incertitude (Figure 3.3). Un compromis est à faire cependant, car la complexité et les ressources requises pour mener les inventaires augmentent également pour les niveaux supérieurs. Il est possible d'avoir recours à un mélange de niveaux (par ex., le Niveau 2 pour la biomasse et le Niveau 1 pour le carbone du sol), selon les données disponibles et l'ampleur des changements prévus dans le bassin. Une explication des niveaux est donnée dans l'Encadré 3.4.

Étant donné que les catégories clés ont l'impact le plus important sur les émissions totales, les catégories clé devraient être traitées au moins par les méthodes de Niveau 2, si possible, pour améliorer l'exactitude des estimations (Figure 3.4). D'autres raisons justifiant le recours à un niveau supérieur pourraient être la nécessité de disposer d'informations mieux détaillées dans un secteur particulier, par exemple, le besoin de comprendre l'effet de l'abattage dans un projet d'atténuation.

FIGURE 3.2 : ÉQUATION FONDAMENTALE DU GIEC POUR ESTIMER LES EMISSIONS/ABSORPTIONS



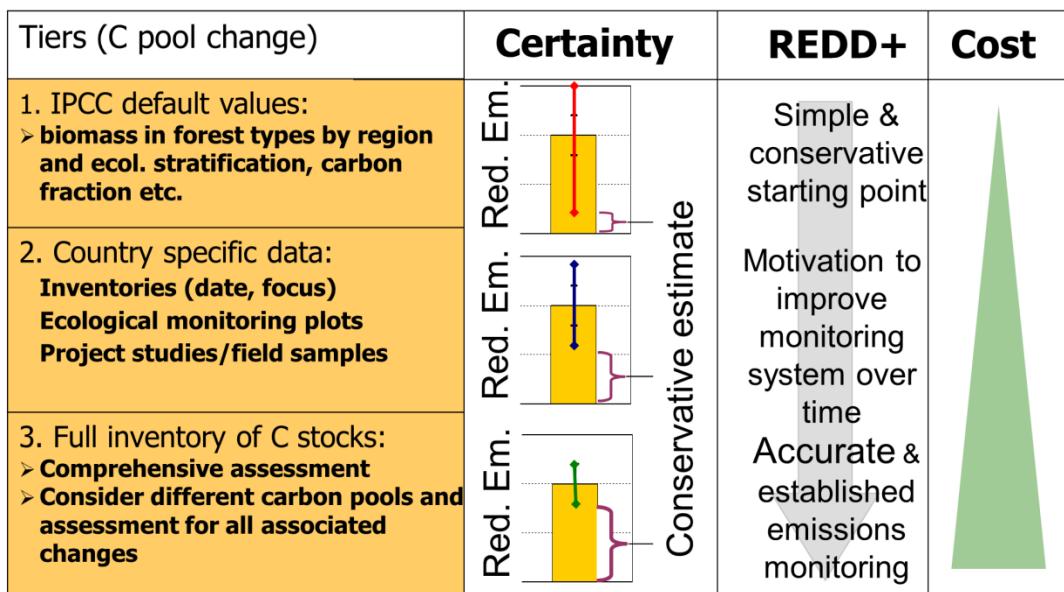
L'équation de base du GIEC pour estimer les émissions GES provenant des activités liées à l'utilisation des terres est :

$$\text{Emissions} = \text{AD} \times \text{EF}$$

AD = Données d'activités (LUC)

EF = Facteurs d'émissions (Stocks carbone)

FIGURE 3.3 : IMPLICATIONS ESSENTIELLES DE L'UTILISATION DES DIFFERENTS NIVEAUX ; IL EST A NOTER QUE « ÉM. RED. » SIGNIFIE EMISSIONS REDUITES¹³



Traduction :

Niveau (variation du bassin de carbone)	Certitude	REDD+	Coût
1. Valeurs par défaut du GIEC : biomasse dans les types de forêt par région et stratification éco., fraction de carbone, etc.	Red. Em = Ém. réd.	Point de départ simple et prudent	
2. Données propres au pays : Inventaires (données, portée) Parcelles de surveillance écologiques Études de projet/échantillons sur le terrain	Conservative estimates = Estimations prudentes	Motivation pour améliorer le système de surveillance dans le temps	
3. Inventaire complet des stocks de carbone : Évaluation complète Envisager les différents bassins de carbone et les évaluations pour toutes les variations qui y sont liées		Surveillance des émissions exactes et établies	

¹³ Adaptée de GOFC GOLD, 2011

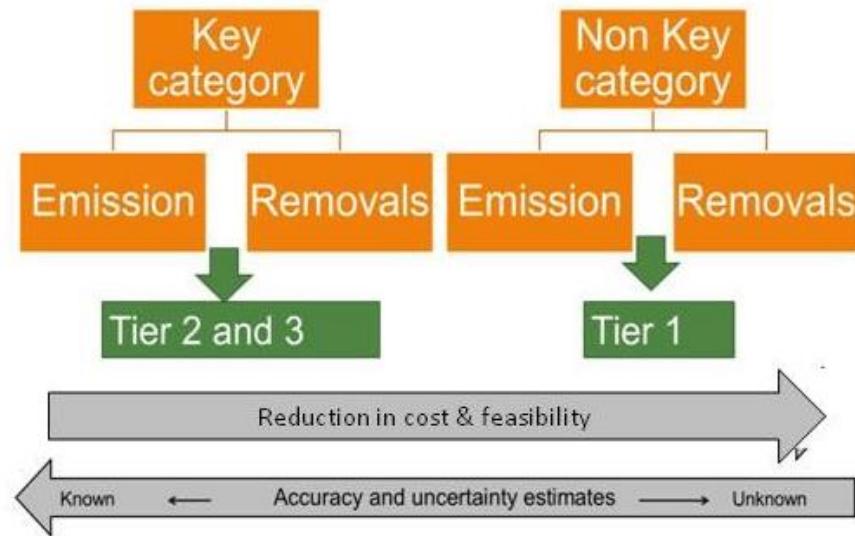
ENCADRE 3.4 : NIVEAUX

Les méthodes du Niveau 1 sont simples à utiliser. Les GPG-UTCATF et les Lignes directrices 2006 du GIEC donnent des équations et des valeurs de paramètres par défaut (par ex., les facteurs d'émissions et de variation des stocks), le compilateur de l'inventaire n'a donc pas besoin de données spécifiques pour les paramètres des équations. Des données sur l'utilisation et la gestion des terres propres au pays sont nécessaires, mais pour le Niveau 1, il existe souvent des sources mondiales disponibles pour les estimations (par ex., taux de déforestation, statistiques de production agricole, cartes de couverture terrestre mondiale, utilisation des engrains, données sur le bétail). Recourir uniquement à la méthode du Niveau 1 risque d'être insuffisant pour obtenir des crédits au titre de la REDD+.

Le Niveau 2 utilise la même méthodologie que le Niveau 1 mais les facteurs d'émissions et de variation des stocks sont fondés sur des données propres au pays ou à la région. Les facteurs d'émissions définis par le pays sont plus adaptés pour les régions climatiques et les systèmes d'utilisation des terres dans le pays ou la région. Le Niveau 2 utilise une résolution temporelle et spatiale plus élevée et des catégories d'utilisation et de gestion des terres plus ventilées qui correspondent aux coefficient définis par le pays pour les régions spécifiques et les catégories d'utilisation des terres spécialisées.

Le Niveau 3 utilise une méthodologie d'ordre supérieur, notamment des modèles et des systèmes de mesure de l'inventaire adaptés aux circonstances nationales uniques. Les évaluations sont répétées dans le temps et emploient des données d'utilisation et de gestion des terres à résolution plus élevée, qui sont généralement ventilées à l'échelle infranationale. Ces inventaires recourent à des mesures et/ou des systèmes de modèles avancés afin d'améliorer l'estimation des émissions et absorptions GES par rapport aux approches du Niveau 1 ou 2. (Angelsen, 2008)

FIGURE 3.4 : CHOIX DE NIVEAU D'ESTIMATION SELON LE PROCESSUS KCA¹⁴



Traduction :

Catégorie clé		Catégorie non clé	
Emission	Absorptions	Emission	Absorptions
Niveaux 2 et 3		Niveau 1	
Réduction des coûts et faisabilité			
Connu	Estimations de l'exactitude et de l'incertitude		Inconnu

3.5.1 Données d'activités

Les Lignes directrices du GIEC décrivent trois méthodes différentes pour représenter les données d'activités (AD), ou le changement de superficie des différentes catégories de terres (Figure 3.5). Il est à noter que les méthodes sont propres à la représentation des AD et ne doivent pas être confondues avec les trois niveaux d'inventaire traités plus haut. Les trois méthodes incluent :

- La Méthode 1 identifie la superficie totale pour chaque catégorie de terres. Cette information provient habituellement de statistiques non spatiales du pays et ne donne pas de renseignement sur la nature ou la superficie de conversion entre les utilisations des terres (elle fournit uniquement les changements de superficie « nets »), par exemple, la déforestation moins le reboisement, et ne convient donc pas pour la REDD+.
- La Méthode 2 concerne le suivi des conversions des terres entre les catégories, résultant en une matrice de changement d'affectation des terres qui n'est pas spatialement explicite.
- La Méthode 3 complète la Méthode 2 en utilisant des informations spatialement explicites de la conversion des terres, provenant d'échantillonnage ou de techniques cartographiques de télédétection par couverture complète.

¹⁴ Adapté de Maniatis et Mollicone, 2010

Il est probable que les changements d'affectation des terres dans le cadre d'un mécanisme REDD+ devront pouvoir être à la fois identifiés et suivis dans l'avenir. Par conséquent, il est fort possible que seule la Méthode 3, et la Méthode 2 accompagnée d'informations supplémentaires (par ex., cartes des changements du couvert terrestre), seront utiles pour surveiller les terres, et par conséquent, la mise en œuvre de la REDD+.

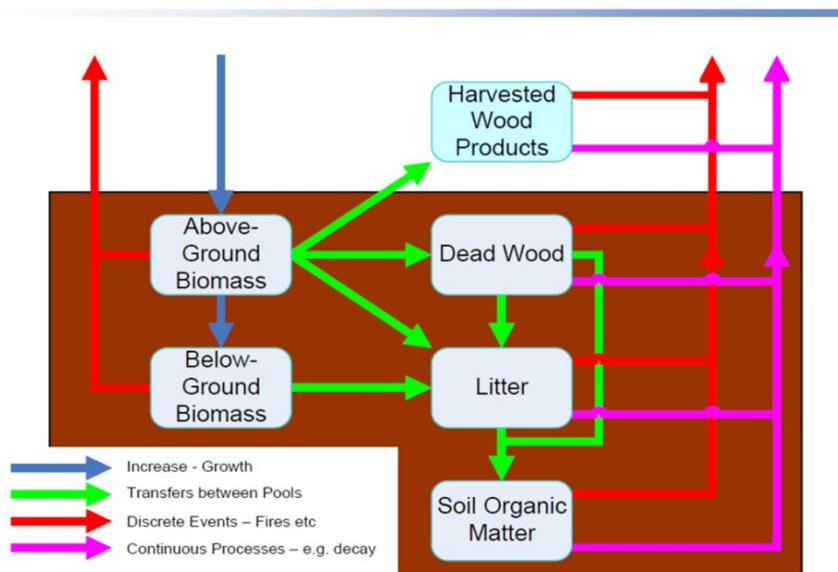
FIGURE 3.5 : DIFFERENTES METHODES POUR OBTENIR DES DONNEES D'ACTIVITES (ADAPTE DES GPC 2003 DU GIEC)

Méthode 1	Superficie nette de l'utilisation des terres pour les diverses catégories d'utilisation des terres ; aucun suivi des conversions d'utilisation des terres
Méthode 2	Suivi de l'utilisation des terres sur une base qui n'est pas spatialement explicite
Méthode 3	Suivi de l'utilisation des terres sur une base spatialement explicite

3.5.2 Facteurs d'émissions

La première exigence à satisfaire sur le plan méthodologique pour la notification de l'inventaire national est la génération des estimations des facteurs d'émissions (EF) du pays pour chaque sous-catégorie clé, soit les différents types de forêts ou la conversion d'un type de forêt dans une autre catégorie. Pour obtenir ces estimations et pour respecter le principe d'exhaustivité en matière de notification à la CCNUCC, il faut d'abord développer un inventaire forestier national pour la REDD+, ou adapter un inventaire existant afin de fournir des estimations pour les cinq bassins de carbone forestier du GIEC (biomasse aérienne, biomasse souterraine, litière, bois mort et carbone du sol organique). Les estimations des variations des stocks de carbone qu'un pays devra soumettre par le biais de son inventaire GES devront également tenir compte des transferts possibles entre les bassins (Figure 3.6).

FIGURE 3.6 : TRANSFERT DU CARBONE FORESTIER ENTRE LES BASSINS DANS UN ECOSYSTEME FORESTIER.



Traduction :

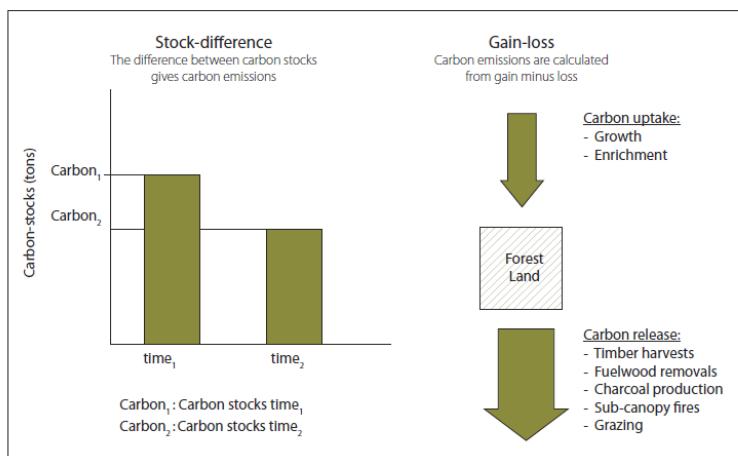
	Produits ligneux récoltés
Biomasse aérienne	Bois mort
Biomasse souterraine	Litière
	Matière organique du sol
Augmentation – croissance	
Transferts entre les bassins	
Événements discrets – feux, etc.	
Processus continuels, par ex., pourriture	

I.I.I. Méthodes d'estimation des émissions et absorptions

Concernant l'utilisation des terres, le GIEC reconnaît deux méthodes pour l'estimation des émissions de carbone : la méthode de variation des stocks¹⁵ et la méthode en fonction des gains et des pertes (GIEC, 2003). La méthode de variation des stocks estime les émissions en identifiant les variations des stocks de carbone au début et à la fin de la période sur la totalité d'une superficie de surveillance. La méthode des gains et des pertes estime les émissions en identifiant la superficie de conversion d'un type de couvert dans un autre et la différence dans les stocks entre ces deux types par unité de surface (Figure 3.7). Ces deux méthodes de calculs simples supposent que les émissions dans l'atmosphère et les absorptions de l'atmosphère sont égales aux variations totales des stocks.

¹⁵ Les GPG-UTCATF (GIEC, 2003) utilisent le terme Variation des stocks, alors que les Recommandations de 2006 emploient Différence des stocks (GIEC, 2006). En absence de décision pour les Parties non visées à l'Annexe I au sujet de l'utilisation des Lignes directrices 2006, le premier terme est utilisé dans l'ensemble de ce manuel, même si les Lignes directrices 2006 sont plus à jour et ont recours au second terme.

FIGURE 3.7 : LES DEUX METHODES RECONNUES PAR LE GIE POUR L'ESTIMATION DES EMISSIONS DE CARBONE : I) DIFFÉRENCES DES STOCKS ; ET II) GAINS ET PERTES.¹⁶



Traduction :

Définitions des stocks	Gains et pertes
La différence entre les stocks de carbone représente les émissions de carbone	Les émissions de carbone sont calculées en soustrayant les pertes des gains
Carbone ₁	
Carbone ₂	<u>Absorption de carbone :</u> Croissance Enrichissement
Temps ₁ Temps ₂	Terres forestières
Carbone ₁ : Stocks de carbone multipliés par Temps ₁	<u>Dégagement de carbone :</u> Récoltes de bois d'œuvre Coup de bois de chauffage Production de charbon de bois Feux de sous-étage Pâturage
Carbone ₂ : Stocks de carbone multipliés par Temps ₂	

Gauche : Carbone – stocks (tonnes)

La conception des stratégies de l'inventaire basé sur les relevés de terrain et la cartographie de la couverture terrestre est différente en fonction des méthodes utilisées. Pour la méthode de Variation des stocks, la cartographie de la couverture terrestre est utilisée pour la stratification de la superficie de surveillance afin de faciliter l'échantillonnage et d'extrapoler les estimations basées sur le terrain. Toute la superficie forestière est ensuite échantillonnée sur le terrain à un moment donné, puis revue à une période ultérieure. La variation des stocks entre les deux dates est ensuite estimée pour chaque strate. L'échantillonnage doit être conçu de manière à saisir les pertes liées à la déforestation et à la dégradation des forêts entre les deux dates. Pour la dégradation des forêts, cela veut dire estimer ce qui correspond à une modeste réduction des stocks sur une superficie couvrant de vastes étendues. Dans le cadre de la déforestation, il s'agit de s'assurer que l'échantillonnage saisit l'impact d'une variable

¹⁶ Angelsen, 2008.

relativement petite, par exemple, des îlots de déforestation, chacune ayant un impact relativement important en matière d'émissions.

Concernant la méthode des Gains et pertes, l'inventaire basé sur les relevés de terrain est mené afin d'obtenir une estimation des stocks moyens par unité de surface pour chaque classe de couverture. On peut supposer que les estimations par superficie sont constantes, et l'utilisation des terres est surveillée afin d'estimer les superficies de changement entre les groupes de classes. Dans ce cas, les données concernant la différence dans les stocks associées à un changement entre deux classes dans le temps sont appelées les Facteurs d'émissions (EF), et les superficies de changement sont appelées les Données d'activités. Ils sont multipliés pour estimer les émissions associées à chaque type de changement d'affectation des terres.

La base de données des facteurs d'émissions (EFDB), décrite dans l'Encadré 3.5, représente une source d'informations sur les données EF. D'autres sources d'estimations des émissions incluent : 1) les émissions mesurées et 2) des calculs complexes. Les estimations des émissions mesurées sont de plus en plus disponibles en raison des exigences des systèmes d'échange des quotas d'émissions dans certains pays. Cependant, le recours à ces estimations nécessite une attention particulière, et la compatibilité avec la partie non mesurée de l'inventaire doit être garantie, sinon des incohérences peuvent survenir.

ENCADRE 3.5 : BASE DE DONNEES DES FACTEURS D'EMISSIONS DU GIEC

La base de données des facteurs d'émissions (EFDB) du GIEC est une source de EF. La EFDB est un forum d'échange La EFDB est une plateforme permettant aux experts et aux chercheurs de communiquer les nouveaux facteurs d'émissions ou d'autres paramètres à un public mondial d'utilisateurs finaux potentiels. Elle vise à devenir une bibliothèque reconnue où les utilisateurs peuvent trouver une documentation générale ou des références techniques. Les experts et les chercheurs du monde entier sont invités à saisir leurs données dans la EFDB, mais les critères pour l'inclusion de nouveaux EF et d'autres paramètres seront évalués par le comité de rédaction de la EFDB. Ces procédures permettent à l'utilisateur de juger de l'applicabilité du facteur d'émissions ou d'autres paramètres avant de les utiliser dans son inventaire ; cependant, il incombe à l'utilisateur d'utiliser ces informations de manière adéquate.

d'informations sur Internet continuellement remises à jour pour les EF et d'autres paramètres pertinents pour l'estimation des émissions ou absorptions des GES au niveau national. La base de données peut être consultée par internet en se connectant aux pages d'accueil du GIEC, IPCC-NGGIP, ou directement à <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>.

Les estimations des émissions peuvent également provenir de modèles complexes élaborés par le pays (méthode de Niveau 3). Les calculs compliqués englobent de nombreux paramètres (par ex., densité du carbone par espèces dans un pays). Certaines émissions ont lieu plusieurs années après l'action elle-même, comme celles résultant des produits ligneux récoltés. Un pays doit toutefois veiller à la compatibilité de ces modèles complexes avec les Lignes directrices du GIEC.

Enfin, les données nécessaires doivent être abordées. Toute une gamme de données sont nécessaires pour les calculs, en particulier pour l'utilisation des terres. Des facteurs d'émissions et des paramètres variés sont requis, par exemple les facteurs de conversion pour la teneur en carbone dans le bois, dans la biomasse aérienne et les taux de croissance. Pour pallier le manque de données, les lignes directrices donnent des valeurs par défaut pour différentes régions et écosystèmes. Il est à noter toutefois, que certaines données propres à un pays ont tendance à ne pas changer sur une base annuelle. Il est donc conseillé aux pays d'investir dans la recherche de données spécifiques mieux adaptées aux circonstances locales. Ces données peuvent également mieux convenir à une situation régionale où les écosystèmes

sont semblables pour un groupe de pays. La collaboration au sein d'une région dans le but de collecter des données peut s'avérer être un choix rentable.

Les utilisations des terres peuvent changer d'une année à l'autre et les données d'activités (AD) sur les superficies terrestres sont donc aussi susceptibles de changer chaque année. Par conséquent, une surveillance régulière est nécessaire. La collecte des AD devrait être menée dans le but de générer des données représentatives, fiables et cohérentes dans le temps et devrait être réalisée à l'aide d'enquêtes sur le terrain, d'inventaires forestiers ou de données satellitaires (GOFC GOLD, 2011). Le Tableau 3.2 résume les éléments essentiels à envisager pour l'estimation des émissions et absorptions provenant du changement d'affectation des terres et du secteur forestier : i) les bassins de carbone forestier (EF liés aux écosystèmes forestiers) ; ii) les changements dans l'affectation des terres (AD) ; et iii) les méthodes d'estimation des stocks de carbone.

TABLEAU 3.2 : ÉLEMENTS ESSENTIELS POUR L'ESTIMATION DES EMISSIONS ET ABSORPTIONS POUR LE SECTEUR UTCATF

Éléments GIEC	Options	Implications
Bassins de carbone forestier (facteurs d'émission)	Niveau 1	Incertitude très élevée mais moins coûteux
	Niveau 2	Nécessite des données nationales, y compris un inventaire forestier national
	Niveau 3	Le plus précis mais plus coûteux et prenant du temps
Représentation des terres (données d'activités - AD)	Méthode 1	Pas adaptée pour la REDD+ en raison du manque d'exactitude
	Méthode 2	Pas vraiment adaptée pour la REDD+ car non spatialement explicite
	Méthode 3	Adaptée pour la REDD+, mais nécessite un processus d'analyse rigoureux et une vérification au sol
Méthode d'estimation des stocks de carbone	Variation des stocks	2 deux séries temporelles de l'inventaire forestier
	Pertes - gains	1 inventaire forestier avec une estimation des flux des stocks de carbone

3.6 RÉFÉRENCES

Angelsen, A., ed. 2008. Moving ahead with REDD: Issues, options and implications. CIFOR, Bogor, Indonesia.

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-I, (GOFC-GOLD Project Office, Natural Resources Canada, Alberta, Canada)

IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published: Institute for Global Environmental Strategies, Japan.

IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Published: Institute for Global Environmental Strategies, Japan.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published: Institute for Global Environmental Strategies, Japan.

Maniatis, D. and D. Mollicone. 2010. Options for sampling and stratification for national forest inventories to implement REDD+ under the CCNUCC. Carbon Balance and Management 5:9.

4.0 INVENTAIRES BASÉS SUR LES RELEVÉS DE TERRAIN

Auteurs : *Gordon Smith, Irene Angeletti, David Scoch*

4.1 INTRODUCTION

La Section 3.3, *Étapes de l'inventaire et la notification*, de ce manuel souligne la séquence des étapes requises pour générer un inventaire national des GES. Ce chapitre porte sur les activités mises en évidence à la page suivante.

ÉTAPE 0 : Établir des dispositifs institutionnels



ÉTAPE 1 : Estimer les superficies terrestres dans chaque catégorie d'occupation des terres, par stratification ou une autre méthode, pour la durée requise, pour les superficies représentées dans les GPG-UTCATF.



ÉTAPE 2 : Faire une analyse des grandes catégories (KCA) pour les catégories pertinentes. Dans les catégories jugées essentielles, évaluer les gaz non-CO₂ et les bassins de carbone importants, et établir la priorité en terme de choix méthodologique.



ÉTAPE 3 : Préparer un inventaire du carbone forestier afin de générer des facteurs d'émission (EF), si la méthode des gains et des pertes est utilisée ; s'assurant que les exigences en matière de facteurs d'émission et d'absorption sont satisfaites. Les EF représentent les coefficients qui quantifient les émissions/absorptions par unité de surface.



ÉTAPE 4 : Générer des données d'activités (AD) ; correspondant au Niveau déterminé. Les AD représentent l'étendue sur laquelle une activité humaine a lieu.



ÉTAPE 5 : Quantifier les émissions et absorptions ; en estimant l'incertitude dans chaque estimation. Les estimations des émissions et des absorptions représentent la multiplication des AD par les EF qui y sont liés.



ÉTAPE 6 : Notifier les estimations des émissions et des absorptions ; en utilisant les tableaux de notification et les fiches de travail, si nécessaire. Documenter/archiver les informations utilisées pour établir les estimations nationales des émissions et des absorptions, en suivant les instructions spécifiques à chaque catégorie/changement d'affectation des terres, bassin de carbone et source non-CO₂.



ÉTAPE 7 : Faire une vérification et mettre en place des contrôles de la qualité ; y compris des examens par les pairs des estimations des émissions en suivant les recommandations spécifiques pour chaque utilisation des terres, les bassins et les gaz non-CO₂.

Conformément aux lignes directrices de la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC) pour la Réduction des émissions résultant de la déforestation et de la dégradation des forêts, plus le rôle de la conservation, de la gestion durable des forêts et de l'accroissement des stocks de carbone forestier (REDD+), les pays devront établir des systèmes nationaux de surveillance des forêts (NFMS) qui quantifient les changements dans la couverture terrestre et les stocks de carbone terrestre en ayant recours à une combinaison de méthodes d'inventaire du carbone forestier basées sur le terrain pour estimer les émissions anthropiques par sources et les absorptions par puits des gaz à effet de serre (GES), les stocks de carbone forestier et les changements de superficie forestière. Les pays devront réaliser ces processus en respectant les principes de transparence, exactitude, exhaustivité, comparabilité et cohérence (TACCC) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Un inventaire du carbone forestier basé sur des relevés de terrain a plusieurs objectifs, y compris fournir des intrants pour un inventaire national GES, faciliter la communication nationale des émissions et absorptions de carbone liées à l'utilisation des terres et confirmer la validation des crédits de compensation ou de programmes nationaux visant à atténuer les émissions. Si un inventaire de carbone forestier peut répondre à plusieurs besoins, il sera sans doute plus facile d'obtenir des ressources pour préparer l'inventaire et continuer à soutenir le travail dans le temps. L'Encadré 4.1 illustre la conception d'un inventaire et le plan de travail concernant la mise en œuvre.

ENCADRE 4.1 : ILLUSTRATION D'UN PLAN DE TRAVAIL POUR LA CONCEPTION ET LA MISE EN ŒUVRE D'UN INVENTAIRE

Établissement du comportement institutionnel : évaluation des capacités et des besoins à l'aide d'un processus consultatif avec la participation d'un large éventail d'utilisateurs potentiels des données (en plus des utilisateurs finaux MNV de la REDD+)

- a) Définir les objectifs, spécifier les utilisateurs finaux et les résultats souhaités. Envisager l'échelle/la résolution souhaitée et si l'objectif porte sur l'estimation des stocks ou la variation des stocks.
- b) Sélectionner la précision souhaitée/l'incertitude autorisée
- c) Définir le budget et le personnel, ainsi que les besoins en renforcement des capacités

Conception de l'inventaire

- a) Définir les bassins de carbone forestier (résultant de l'analyse KCA) et d'autres paramètres environnementaux à mesurer
- b) Sélectionner et valider les équations allométriques et définir les mesures requises
- c) Élaborer une conception de l'échantillonnage
 - i) Collecter des données pour développer une conception de l'échantillon (par ex., données de parcelles pilotes, cartes et couvertures SIG pertinentes, photos aériennes et données de télédétection)
 - ii) Définir la population/superficie forestière
 - iii) Sélectionner une méthode d'échantillonnage (par ex., aléatoire simple, systématique, stratifiée, à deux phases)
 - iv) Définir l'unité d'échantillonnage (par ex., superficie fixe, superficie fixe groupée, rayon variable, groupe, permanent ou temporaire) et l'intensité de l'échantillonnage en fonction des

contraintes budgétaires, la précision souhaitée, l'échelle/la résolution souhaitée, l'hétérogénéité de la forêt et la taille de parcelle

- v) Affecter les échantillons et produire des cartes pour la mise en œuvre de l'inventaire
- vi) Documenter la conception et la justifier

Préparation de la mise en œuvre de l'inventaire

- a) Définir l'organisation/administration de l'inventaire
- b) Sélectionner et acquérir les technologies/l'équipement de mesure
- c) Développer des protocoles de mesures sur le terrain et de gestion des données
- d) Établir une base de données de l'inventaire
- e) Organiser et former le personnel de terrain et administratif
- f) Produire des plans tactiques pour guider le déploiement des équipes de terrain

Mise en œuvre de l'inventaire

- a) Collecter des données de mesure sur le terrain et les saisir dans la base de données
- b) Mener des audits internes périodiques (en remesurant les parcelles) pendant la mise en œuvre afin de confirmer le respect des protocoles et identifier et corriger toute erreur de mesure

Analyse et notification

- a) Vérification des données/contrôle de la qualité
- b) Analyse des données et calcul des estimations et incertitude
- c) Production des notifications et résumé des résultats

Soumission des résultats à la vérification d'experts techniques externes (dans le cadre d'un processus de vérification REDD+ plus vaste de la CCNUCC)

Les données de l'inventaire de carbone forestier chevauchent largement les données de l'inventaire du bois d'œuvre et peuvent servir aux besoins de gestion d'autres terres, de la faune et la flore, et de la gestion de l'utilisation des terres. Il peut être possible d'élargir l'utilisation des données collectées, et d'étendre la portée géographique d'un inventaire de carbone forestier et de ce fait, de répondre à la fois à l'inventaire de carbone forestier et aux besoins de gestion d'autres ressources. Ce type de partage des données peut rendre l'inventaire moins coûteux et assurer des fonds provenant de sources supplémentaires, puisqu'un grand nombre d'utilisateurs de l'information peuvent plaider en faveur de la poursuite du financement. Par exemple, l'Inventaire national des forêts et des sols du Mexique avait mené un processus consultatif efficace dans le but d'identifier les informations que les différents utilisateurs de l'inventaire pourraient demander. Les inventaires forestiers nationaux, soutenus par le Programme d'évaluation et de surveillance des forêts nationales de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), est un autre exemple. En plus de recueillir des informations sur les espèces de bois et le volume, ces inventaires ont collecté des informations sur les stocks de carbone, les produits forestiers non ligneux et les indicateurs socioéconomiques¹⁷. Les activités REDD+

¹⁷ Voir le site <http://www.fao.org/forestry/nfma/47655/en/>

peuvent englober de vastes surfaces terrestres et même un pays tout entier, et le système de mesure, notification et vérification (MNV) doit correspondre à cette échelle. Des économies d'échelles existent dans les inventaires de carbone forestier, ce qui fait que les inventaires couvrant plus de superficies deviennent moins onéreux si les coûts sont calculés à l'hectare.

Les mesures provenant de relevés sur le terrain sont des éléments essentiels à la fois pour l'échantillonnage traditionnel basé sur la probabilité et pour les méthodes d'estimations fondées sur des modèles ayant recours à l'interprétation de l'imagerie par télédétection. À titre de perspective, l'inventaire forestier est conçu de la manière la plus précise comme un ensemble de procédures et de technologies englobant un système. Les systèmes d'information géographique (GIS) et les méthodes de télédétection (voir le Chapitre 5) font partie de ce système, et facilitent la cartographie, la stratification et la mise en place de plans d'échantillonnage. Dans ce contexte, les nouvelles méthodes basées sur des modèles en voie de développement, liant la biomasse aux données de télédétection (voir le Chapitre 5, Domaines émergents en matière de recherche), pourraient bien compléter, mais non remplacer, les pratiques de mesures « traditionnelles » basées sur le terrain et les méthodes fondées sur la probabilité.

Ce chapitre porte également sur la dérivation des données propres à un pays ou à une région qui pourraient être utilisées avec une méthode de Niveau 2 ou de Niveau 3 ; les méthodes de Niveau 1 ont recours à des valeurs par défaut.

Comme mentionné au Chapitre 3, le GIEC reconnaît deux méthodes pour estimer les variations de carbone : la méthode des gains et des pertes et la méthode de variation des stocks¹⁸, et établit une hiérarchie de Niveaux de spécificités des données (GIEC, 2006). Ce chapitre a trait à la mise en place de la méthode de variation des stocks. La méthode des gains et des pertes, qui porte sur l'identification et la mesure des flux, est abordée à la Section 4.9 ci-après. Un autre exposé sur les méthodes des pertes et des gains et de la variation des stocks figure dans la section 2.1 de la Documentation sur les méthodes et recommandations de l'initiative mondiale de l'observation des forêts (*Global Forest Observation Initiative (GFOI) Methods and Guidance Document* (GFOI 2013)). Les recommandations en matière d'échantillonnage et de mesure présentées dans ce chapitre concernent à la fois la méthode des pertes et des gains, et la méthode de variation des stocks. Des mesures répétées de parcelles échantillons peuvent être utilisées pour estimer les stocks à deux points dans le temps, ou pour estimer les gains (par ex., augmentation du diamètre) ou les pertes (par ex., mortalité). Dans le deuxième cas, les gains et les pertes, les mesures sont utilisées pour produire les facteurs d'émissions associés à des transitions spécifiées dans la structure forestière (par ex., forêt intacte devenant dégradée), qui sont ensuite élargies en ayant recours à des données des activités, dérivées en délimitant la superficie de ces transitions. En revanche, la méthode de variation des stocks ne produit pas de facteurs d'émissions ni de données des activités résultant de ces transitions, mais donne plutôt des estimations générales des stocks pour l'ensemble de la superficie soumise à la MNV (demeurant constante) pour deux points dans le temps, et estime les émissions comme étant la différence entre les deux estimations. En comparaison, la méthode de variation des stocks est moins ciblée que la méthode des gains et des pertes, et est mieux adaptée aux paysages où la superficie forestière en cours de transitions en matière de structure est difficile à définir ou est répartie de manière relativement uniforme à travers de grandes superficies.

¹⁸ Les GPG-UTCATF (GIEC, 2003) utilisent le terme Variations des stocks, alors que les Recommandations de 2006 emploient Différence des stocks (GIEC, 2006). En absence de décision pour les Parties non visées à l'Annexe I au sujet de l'utilisation des Lignes directrices 2006, le premier terme est utilisé dans l'ensemble de ce manuel, même si les Lignes directrices 2006 sont plus à jour et ont recours au second terme.

4.2 BASSINS DE CARBONE ET LEURS MESURES

Les inventaires de carbone forestier pour la REDD+ devraient quantifier les stocks de carbone dans les bassins pouvant changer de manière significative dans le cadre du mécanisme REDD+ ou en vertu du niveau de référence REDD+. D'autres objectifs de gestion des ressources peuvent être abordés si les équipes collectent des types supplémentaires de données en effectuant leur travail pour l'inventaire de carbone. Les différents bassins de carbone sont décrits au Chapitre 3 et les informations ci-après mettent l'accent sur les considérations spécifiques liées aux inventaires forestiers.

Tous les inventaires doivent mesurer les arbres vivants au dessus d'une taille modeste parce que la biomasse aérienne (description à la Section 4.2.1) est habituellement le bassin de carbone biotique le plus important dans une forêt risquant d'être perdu par la déforestation. Si des terres forestières sont converties à un usage agricole ou commercial, des quantités importantes de carbone du sol (description à la Section 4.2.5) peuvent être perdues et la surveillance des stocks de carbone des sols organiques peut s'avérer nécessaire. En présence d'une perturbation substantielle des forêts par le biais de la dégradation, il peut être important de mesurer les stocks de carbone provenant du bois mort (description à la Section 4.2.3).

4.2.1 Biomasse aérienne

Dans une forêt, la biomasse aérienne émet en général le plus de carbone au moment de sa conversion en terre non forestière. Dans certains systèmes, les forêts de marécages tourbeux par exemple, les pertes de carbone du sol liées à la conversion de la forêt en cultures agricoles peuvent être supérieures aux émissions de la biomasse aérienne.

Parmi les exemples d'ensembles de catégories de taille par défaut, il existe une catégorie d'arbres avec un diamètre à hauteur de poitrine (DBH) d'au moins 10 cm, et une catégorie d'arbustes/de petits arbres incluant les plantes ligneuses d'au moins 10 cm, 50 cm ou 1 m de hauteur. En général, les plantes ligneuses plus petites et les plantes non ligneuses sont exclues ou sont mesurées à part des plantes ligneuses plus grandes. Des sous-catégories peuvent permettre d'avoir un échantillonnage plus efficace, comme les petits arbres avec un diamètre à hauteur de poitrine de 10-40 cm et les grands arbres avec un DBH supérieur à 40 cm. Pour estimer précisément le stock de carbone forestier de la biomasse vivante, l'inventaire doit inclure toutes les espèces d'arbres, comptant les arbres avec un diamètre d'au moins 10 cm. Les inventaires forestiers limités à des espèces commerciales ou à des arbres dans les classes de diamètre commercial (par ex., plus de 30 cm de DBH) excluent souvent des composantes importantes de la totalité de la biomasse aérienne et par conséquent, présentent une fiabilité limitée dans l'estimation des stocks de carbone et des variations de stocks.

4.2.2 Biomasse souterraine

La biomasse souterraine est un bassin de carbone important pouvant être égal à 25 pour cent ou plus de la biomasse aérienne dans beaucoup de forêts. Comme mentionné au Chapitre 3, les racines fines sont souvent exclues, ou mesurées dans le cadre du bassin de carbone du sol en raison des difficultés à les séparer manuellement du sol. La délimitation entre les racines fines et les grosses racines dépend de la méthode utilisée pour estimer la biomasse souterraine. Le GIEC recommande un diamètre de 2 mm, mais mesurer la biomasse des racines prend du temps et est coûteux. Par conséquent, les personnes chargées de l'élaboration de l'inventaire peuvent décider d'appliquer une méthode de Niveau I pour la biomasse souterraine, qui utilise les rapports racines/pousse par défaut fournis dans le Tableau 4.4 des Lignes directrices 2006 du GIEC. Pour obtenir la biomasse souterraine, il faut multiplier la biomasse aérienne par 1 + rapport racine/pousse.

4.2.3 Bois mort

Le bois mort, une sous-composante de la matière organique morte, inclut le bois mort sur pied et le bois mort au sol. Le bois mort sur pied est habituellement mesuré avec la biomasse des arbres vivants (voir la biomasse aérienne) et enregistré en tant que bois mort car sa densité diffère souvent de celle des arbres vivants. Par convention, les tiges ligneuses mortes dont l'axe long de la tige se situe dans une fourchette de 45 degrés par rapport à la verticale, entrent dans la classification du bois mort sur pied, et les tiges dont l'axe long est supérieur à la fourchette de 45 degrés par rapport à la verticale entrent dans la classification du bois mort au sol. La taille minimum habituelle des débris ligneux grossiers est de 10 cm et une longueur minimum d'au moins 1 m est parfois requise. Les morceaux qui ne sont pas suffisamment longs pour entrer dans la classification des débris grossiers sont classées en tant que débris fins. La taille minimum habituelle pour les débris fins est de 1 cm, les morceaux encore plus petits pouvant être qualifiés de litière. Si on mesure la litière, la définition de la limite doit correspondre au morceau le plus petit des débris ligneux, de sorte que chaque morceau de matière corresponde exactement à une catégorie, et qu'il n'y ait pas de double-comptage ni d'exclusion.

4.2.4 Litière

La litière, mieux décrite sous l'intitulé « sol forestier », inclut les débris fins, les feuilles et les brindilles au sol qui ne sont pas rattachées à la tige d'une plante, ainsi que les racines fines vivantes au dessus du sol minéral ou organique. Une couche humique d'un sol organique représente les restes décomposés de matière végétative et elle n'est pas comprise en général dans le bassin de litière. Elle est habituellement incluse dans le bassin des sols, mais comme ce bassin est peu fréquent, elle peut être incluse dans le bassin de la litière. Les débris ligneux fins sont des petits morceaux de bois mort. Par convention, la matière dont le diamètre est inférieur à 1 cm est définie comme de la litière. Cependant, la définition du bassin de litière peut inclure des débris ligneux fins allant jusqu'à 10 cm de diamètre, notamment en l'absence d'un bassin de débris ligneux fins. Quelle que soit la limite choisie, la même limite doit être utilisée pour la taille maximum des morceaux dans le bassin des débris ligneux.

Dans certains types de forêts, la litière a tendance à se décomposer facilement et par conséquent, la mesurer peut ne pas valoir la peine puisque le bassin n'est pas très grand, en général. Toutefois, si la décomposition est ralentie par des facteurs tels que de basses températures, la saturation de l'humidité, un faible pH ou la limitation de nutriments, une couche organique peut se former. La tourbe et les sols glaiseux en sont des exemples : la tourbe est une accumulation de fragments végétaux minimalement décomposés, tandis que la glaise est une matière organique décomposée de couleur noire. Lorsqu'une couche organique décomposée importante existe entre la litière et le sol minéral, elle doit être mesurée à part des bassins de la litière et du carbone dans le sol minéral.

4.2.5 Matière organique des sols

Tel que mentionné au Chapitre 3, cette catégorie inclut tout le carbone organique dans les sols minéraux et organiques à une profondeur spécifique. En général, il n'existe pas de carbone non organique dans les sols, sauf dans les sites si arides que peu d'arbres y poussent, et les sites avec des sols carbonés comme le calcaire. Il existe souvent des quantités mesurables de carbone organique des sols à plusieurs mètres de profondeur, mais le carbone est habituellement compté dans les 20 à 30 cm supérieurs du sol. Certains projets ont mesuré le carbone des sols à 1 m de profondeur, voire plus. La densité du carbone des sols diminue avec la profondeur, et les travaux nécessaires pour échantillonner ce carbone augmentent avec la profondeur.

Le total des stocks de carbone des sols est souvent aussi élevé, voire plus élevé que les stocks de carbone de la biomasse ligneuse. En présence de petites ou modestes perturbations dans les forêts, le

carbone des sols peut ne pas beaucoup changer. Par conséquent, de nombreux projets qui entretiennent des forêts existantes ne mesurent pas les stocks de carbone dans les sols parce qu'ils sont censés être constants. Cependant, dans le cas d'abattage de la forêt et de la conversion à l'agriculture, les stocks de carbone dans les sols peuvent subir des changements importants et devraient être mesurés, notamment si le labourage fait partie des activités agricoles.

La taille seuil des racines et du bois mort à inclure dans la catégorie du carbone des sols doit correspondre aux définitions utilisées pour les catégories de la biomasse souterraine vivante et du bois mort. Par convention, les racines vivantes d'un diamètre inférieur à 2 mm sont souvent classées dans le bassin du carbone des sols, et les racines vivantes de 2 mm ou plus sont rattachées à la biomasse souterraine vivante. La définition de la délimitation entre le carbone des sols et les débris ligneux est moins normalisée, mais elle est définie en général par une taille spécifique de morceau ou la profondeur des morceaux enterrés. Les recommandations du GIEC précisent de notifier séparément les variations dans les stocks de carbone des sols organiques et les stocks de carbone dans les sols non organiques (cependant les variations dans les stocks de carbone des sols non organiques sont censées correspondre à zéro, sauf si des méthodes de Niveau 3 sont utilisées) (GIEC 2006). Par conséquent, si du carbone provenant des sols non organiques risque d'être présent, les tests de laboratoire qui ne font pas de distinction entre le carbone organique et le carbone non organique devraient être évités. Si le carbone des sols est mesuré, une décision importante porte sur la profondeur à laquelle il sera mesuré. Dans les systèmes qui ne sont pas perturbés, il y a plus de carbone par cm de profondeur à la surface qu'à 40 ou 100 cm plus bas. À des profondeurs de 1 à 3 m, la teneur en carbone des sols est faible et les variations des stocks sont lentes, mais les quantités totales peuvent être importantes parce que la masse des sols est très grande. Dans les forêts denses et humides, la plupart des variations ont lieu près de la surface, dans les 20 à 30 cm supérieurs. Dans les terres forestières plus arides toutefois, des pertes de carbone substantielles peuvent intervenir dans le sol plus profond, à 1 m de profondeur ou plus. Au cours des années ou des décennies suivant la conversion en champs labourés, 40 à 50 % de ce carbone est perdu. Lorsque les champs labourés sont transformés en plantation d'arbres ou en cultures sans travail de la terre, il est possible que la moitié des gains en carbone des sols au cours des cinq à dix premières années se fassent dans les 10 cm supérieurs du sol.

Pour saisir une grande partie de la variation des stocks de carbone provenant des changements dans la gestion des terres tout en limitant le travail d'échantillonnage, beaucoup d'inventaires rapportent uniquement des échantillons des 20 à 30 cm supérieurs des sols. Dans les forêts relativement humides, les forêts arides, les terres arbustives et les prairies où la conversion se fait en faveur de l'agriculture, les pertes de carbone des sols sont en général suffisamment importantes pour justifier les coûts et les difficultés pour mesurer les pertes de carbone des sols à 1 m de profondeur. Dans les forêts très humides et les sols à texture grossière qui ont peu de carbone, il peut suffire de mesurer le carbone à une profondeur de 20 à 30 cm. Cet échantillonnage peu profond est surtout courant dans les inventaires portant sur la détection des accroissements des stocks de carbone. La majorité des gains de carbone au cours des premières années de la conversion de terres cultivées en forêts se fait à quelques centimètres de profondeur dans le sol. Par conséquent, le gain en termes de pourcentage est le plus important lorsque seuls quelques centimètres de profondeur sont mesurés. Lors de conversion en prairies de terres cultivées labourées, il peut y avoir des gains de carbone significatifs à plus de 1 m de profondeur et faire un échantillonnage plus profond peut s'avérer valable.

Lorsque la perte de carbone des sols est mesurée à la suite de la conversion de forêts ou de prairies en terres cultivées incluant le labourage, la variation du pourcentage dans le stock de carbone peut être importante, même en mesurant à une profondeur significative, à 50 ou 100 cm par exemple. Par conséquent, les projets de déforestation évitée pourraient collecter des échantillons à plus de 30 cm de profondeur, par exemple à 1 m, afin de s'attribuer le mérite d'avoir évité l'émission de carbone d'une couche plus profonde du sol.

4.3 CONCEPTS ET ASPECTS À ENVISAGER DANS LA CONCEPTION DE L'INVENTAIRE

Beaucoup de conceptions d'inventaire peuvent être utilisées pour estimer les stocks de carbone forestier. L'objectif est de choisir une conception efficace réalisant le degré de précision souhaité à un coût minimum. En général, la conception d'un inventaire comprend une série d'étapes séquentielles :

1. Évaluation des besoins
2. Sélection de la conception de l'échantillon
3. Aspects de la conception des parcelles
4. Évaluation des coûts et spécification concernant l'intensité de l'échantillonnage

4.3.1 Évaluation des besoins

Lors de la conception d'un inventaire, la première chose est d'évaluer ce qui doit être connu à la suite de l'inventaire. Il s'agit donc de choisir ce qui doit être estimé et la couverture géographique. Cette dernière peut porter sur une parcelle donnée de quelques douzaines d'hectares ou sur la totalité du pays, ou un juste milieu entre les deux. Initialement, les activités de surveillance de la REDD+ pourraient se concentrer uniquement sur les terres appartenant à la catégorie des terres gérées, ou sur des forêts susceptibles de changement anthropique.

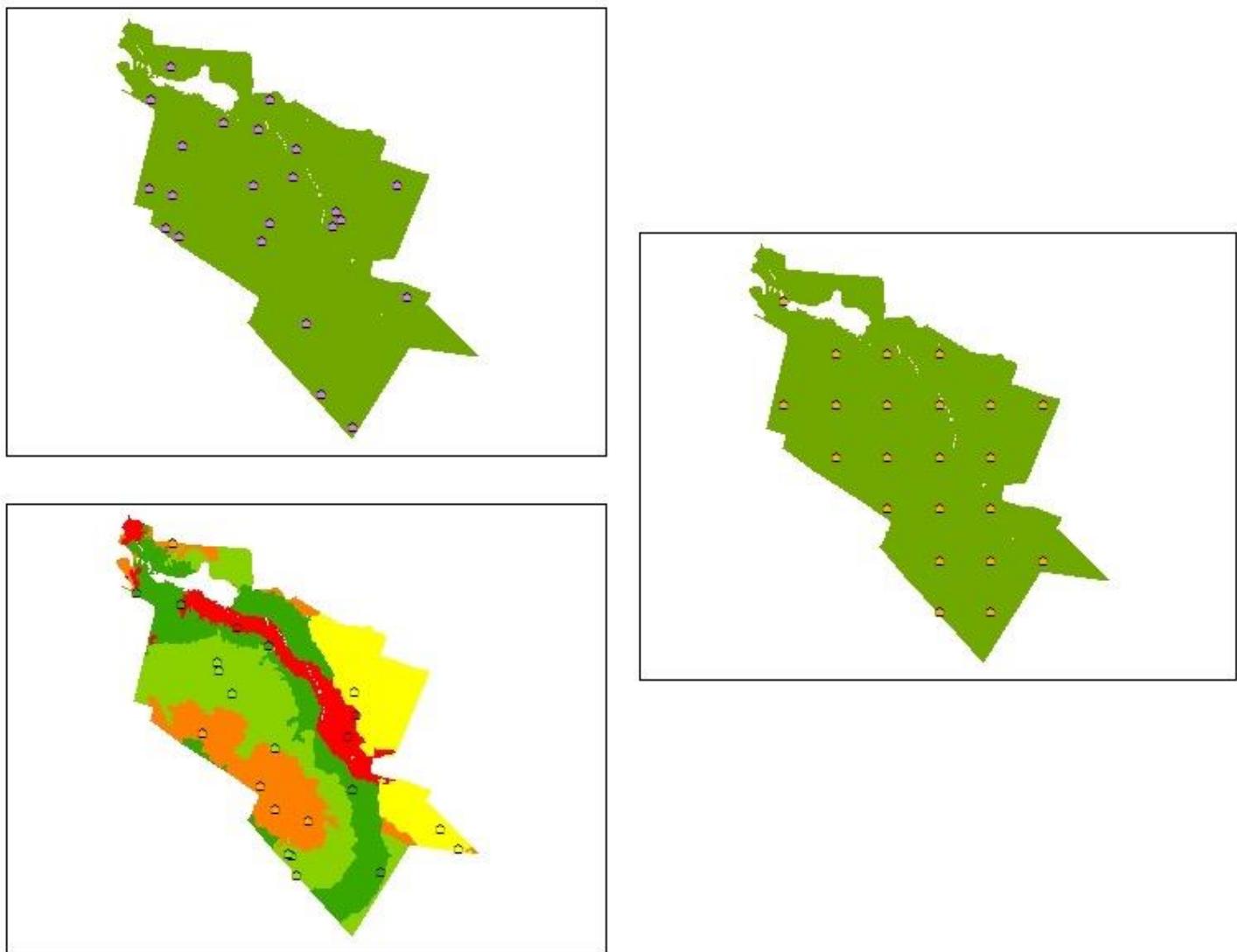
La décision suivante est de savoir si des subdivisions de la superficie totale exigent des informations supplémentaires. Un pays pourrait chercher à comprendre les tendances concernant des régions spécifiques ou certains types de forêts. Faire des estimations exactes des stocks et des changements des différentes strates pourrait beaucoup augmenter le coût et n'est pas forcément la méthode la plus efficace.

Envisager la conception de l'inventaire doit aussi tenir compte des capacités existantes et de l'expérience du personnel qui participera aux mesures sur le terrain et de l'analyse, et en tirer profit ; conformément à la COP19 (Décision 11/CP.19 paragraphe 4(a)), les NFMS devraient « s'appuyer sur les systèmes existants ». Les méthodes ou technologies radicalement nouvelles devraient être introduites progressivement et uniquement lorsque des applications expérimentales ont été faites et qu'elles renforcent la confiance du personnel responsable.

4.3.2 Sélection de la conception de l'échantillonnage

L'échantillonnage doit être sans biais pour garantir la fiabilité de l'inventaire en résultant. Beaucoup d'options existent pour élaborer la conception d'un échantillonnage. Les quatre méthodes courantes, illustrées dans la Figure 4.1 ci-après, sont : i) l'échantillonnage aléatoire ; ii) l'échantillonnage systématique ; iii) l'échantillonnage stratifié (aléatoire ou systématique) ; et iv) l'échantillonnage à deux phases.

FIGURE 4.1 : DIAGRAMME DE L'ECHANTILLONNAGE ALEATOIRE (EN HAUT), SYSTEMATIQUE (A DROITE) ET STRATIFIÉ (EN BAS).



Échantillonnage aléatoire

La méthode d'échantillonnage aléatoire repère au hasard des parcelles sur une superficie à l'étude. Le principal avantage de l'échantillonnage aléatoire est qu'il est facile de calculer les moyennes et l'incertitude. Dans la pratique, une attribution aléatoire des parcelles pose souvent problème pour naviguer sur le terrain et produit des distributions de parcelles qui invariablement ne se recoupent pas dans certains endroits ou se chevauchent ailleurs, ce qui peut donner l'impression d'un manque de crédibilité au niveau de la couverture, même en l'absence de biais ; les inventaires doivent tenir compte des perceptions des spécialistes et des non spécialistes. Par exemple, les personnes non spécialisées pourraient ne pas bien comprendre le biais et difficilement accepter l'échantillonnage aléatoire et les protocoles aboutissant à l'emplacement de parcelles dans des sites jugés non représentatifs des forêts par une personne qui n'est pas spécialisée. La formation devrait inclure la communication de l'importance de mesurer les conditions variées intervenant sur l'étendue géographique de l'inventaire, et

que le fait de quantifier cette variabilité est une partie substantielle de la quantification de la fiabilité des échantillons à représenter la forêt dans son ensemble.

Échantillonnage systématique

Beaucoup d'inventaires forestiers nationaux ont plutôt recours à la conception d'un inventaire systématique en vertu duquel des parcelles régulièrement espacées sont mesurées. Un échantillonnage systématique garantit la représentation égale de toutes les superficies géographiques et est particulièrement utile si peu de conditions ou de dynamiques de la forêt sont connues. Sa présentation intuitive facilite également la navigation sur le terrain.

Habituellement, l'échantillonnage systématique consiste à tracer une grille régulière sur la superficie géographique à inventorier, et à repérer les centres de parcelles à l'intersection des points de la grille, le premier point d'intersection étant choisi au hasard. L'espacement des lignes de la grille est calculé de manière à pouvoir placer le nombre de parcelles souhaitées sur la surface. Beaucoup considèrent que l'échantillonnage systématique est une bonne solution car il attribue une importance égale à toutes les parties de la superficie à échantillonner. Une autre possibilité d'échantillonnage systématique est de repérer une parcelle au hasard dans chaque cellule définie par les lignes de la grille (comme c'est le cas dans le programme de l'inventaire et l'analyse des forêts du U.S. Forest Service). L'échantillonnage systématique représente une nette amélioration par rapport au simple échantillonnage aléatoire au niveau de la réduction de l'incertitude, même si les calculs de l'incertitude pour les échantillons systématiques sont plus compliqués que pour les échantillons aléatoires.

L'Évaluation intégrée de l'utilisation des terres (ILUA) menée par le département de la Foresterie de Zambie (2005-2008) est un exemple récent d'échantillonnage systématique. L'ILUA avait établi 221 sites (chaque site ayant 4 parcelles d'échantillonnage) de manière systématique à travers le pays, à 50 km de distance. Le Mexique est un autre exemple, au titre duquel l'inventaire des Forêts et des sols nationaux établit une grille d'échantillon systématique de 25.000 points permanents géoréférencés. Chaque point contient quatre sites de 400 m². Depuis 2008, environ 20 pour cent des points ont été remesurés, de sorte que tous les points sont surveillés une fois tous les cinq ans (GOFC-GOLD, 2013).

Échantillonnage stratifié

L'échantillonnage stratifié est réalisé en divisant la superficie de l'échantillonnage en superficies plus petites relativement homogènes, et échantillonne séparément chaque petite superficie. La stratification augmente l'efficacité de l'échantillonnage, en donnant des estimations plus précises pour le même travail, voire moins de travail. Dans chaque strate, un échantillon systématique ou aléatoire est effectué. Le stock de carbone (ou la variation du stock) est estimé pour chaque strate, puis les stocks des strates sont ajoutés pour estimer le stock de carbone (ou la variation du stock) pour l'ensemble de la superficie.

Il est important de comprendre que les conceptions d'échantillons stratifiés ne produisent pas d'estimation au niveau des strates avec la même précision que pour l'ensemble de population – l'objectif de la stratification est de répartir le travail d'échantillonnage de manière plus efficace pour produire une estimation au niveau de la population.

Beaucoup de méthodes existent pour la stratification, mais elle se fait habituellement par écotype ou par type de forêt. Cette approche de la stratification augmente la puissance statistique, en donnant une estimation plus précise des stocks de carbone pour un nombre donné de parcelles d'une conception particulière, et elle accroît également la probabilité que les parcelles dans une strate particulière seront semblables à d'autres parcelles dans cette strate. Pour un nombre donné de parcelles, avoir une faible variance entre les parcelles accroît la probabilité que le stock de carbone total sera proche du stock de carbone estimé à partir de l'échantillonnage. Les strates homogènes nécessitent peu de parcelles pour

estimer précisément leurs stocks de carbone et le travail d'échantillonnage peut ainsi porter sur plus d'écotypes ou de types de forêts variables.

Si l'objectif d'un inventaire est de quantifier précisément les variations de stocks de carbone forestier, l'attribution des parcelles devrait se faire de préférence dans les superficies où les stocks de carbone sont susceptibles de baisser à la suite de la dégradation ou de la déforestation, ou d'augmenter en raison de la croissance ou la régénération des forêts. Ces superficies devraient être identifiées et définies en tant que strates prioritaires distinctes. Il faudrait donc stratifier en fonction des variations futures prévues dans les stocks de carbone, et accorder plus de travail d'échantillonnage aux strates qui pourraient avoir plus de variations dans le temps (augmentation ou baisse).

Stratifier en fonction de la variation prévue dans le stock de carbone peut être souhaitable et peut être essentiel si les variations nettes des stocks sont faibles par rapport à la totalité des stocks, comme c'est souvent le cas avec la dégradation. L'objectif est de « bloquer » les différences dans des strates différentes.

La stratification est faite généralement *ex ante*, mais les strates peuvent aussi être redéfinies *ex post* par le biais d'une post-stratification et de parcelles réattribuées dans un paysage changeant. La post-stratification consiste à réattribuer les parcelles échantillons entre les strates, après qu'ait eu lieu l'attribution initiale, et nécessite de connaître exactement les nouvelles superficies des strates et que les parcelles existantes puissent être réattribuées sans ambiguïté aux nouvelles strates (par ex., par la surveillance du couvert forestier et des classes de variation au moyen de la télédétection). Même si cette méthode de post-stratification est simple en termes d'estimation de la moyenne, utiliser les mêmes calculs qu'un échantillon pré-stratifié ajoute une certaine incertitude en raison de la nature aléatoire et des tailles changeantes des parcelles à l'intérieur des strates. Les calculs de variance pour un échantillon post-stratifié sont présentés par Cochran (1977). L'incertitude supplémentaire produite par la post-stratification tend à être faible, en particulier si l'attribution proportionnelle peut être à peu près maintenue (par ex., par un échantillon systématique initial) et lorsqu'une taille suffisante pour l'échantillon (de 10 parcelles ou plus ; Westfall *et al.*, 2011) est conservée dans chaque strate. Ce dernier point peut être assuré en conservant la définition des strates (par ex., en combinant les types de forêts avec de petites superficies et tailles d'échantillon), ou en déployant des échantillons complémentaires.

Le GIEC préconise de stratifier par climat, sol, zone écologique et modes de gestion (Vol. 4, Chapitre 3.3.2.1). En choisissant les strates, les personnes en charge devraient tenir compte des connaissances acquises sur la forêt et les dynamiques de la variation des stocks de carbone. Dans chaque strate, l'objectif est d'avoir une forêt relativement homogène (en termes de structure), ou une forêt avec les mêmes dynamiques de variation de stock de carbone, mais cette forêt doit être différente des autres strates. Tout aussi important ou même plus, le fait de placer un grand nombre de parcelles dans des terres forestières éloignées et inaccessibles peut entraîner des coûts extrêmement élevés et/ou s'avérer impossible sur le plan logistique. Par conséquent, les intensités d'échantillonnage sélectionnées dans ces superficies pourraient être plus faibles que dans les superficies accessibles. Dans ce cas, les superficies avec des intensités d'échantillonnage différentes dans ces superficies constituent des strates différentes.

Pour stratifier la forêt d'un pays, il faut d'abord avoir une carte actualisée de la dimension utilisée pour stratifier. Ce peut être une carte forestière nationale de référence, ou toute autre source cartographique valable. Pour stratifier à l'intérieur de chaque type de couverture terrestre, des données de SIG sur l'élévation, les sols et d'autres paramètres peuvent servir. Les approches de stratification sont étudiées plus avant dans les Recommandations et méthodes GFOI, section 1.4.5 (GFOI 2013). S'il n'existe pas d'informations antérieures sur les types de forêts dans le pays, la stratification peut être

faite initialement à l'aide de bases de données écologiques mondiales, telles que les zones de vie d'Holdridge¹⁹, les écorégions du World Wildlife Fund²⁰ et les zones écologiques de la FAO²¹. Diverses bases de données fondées sur la télédétection peuvent également être utilisées. Elles incluent les indices basés sur l'information spectrale et/ou temporelle, comme les indices de verdure et les indices de saisonnalité. Elles peuvent aussi inclure les classifications ou les produits dérivés, comme les cartes de la biomasse mondiale produites par des programmes de recherche. Des exposés sur ces derniers figurent au Chapitre 5.

La valeur de la stratification est illustrée dans l'exemple suivant (Tableau 4.1), dans lequel les tailles d'échantillon devant cibler des intervalles de confiance de 95 pour cent égaux à $\pm 10\%$ de la moyenne sont calculées à partir d'une base de données avec et sans stratification.

TABLEAU 4.1 : COMPARAISON DES INTENSITES D'ECHANTILLONNAGE POUR LES CONCEPTIONS D'ECHANTILLON STRATIFIÉ ET NON STRATIFIÉ

		Strate 1	Strate 2	Strate 3	Strate 4	Total
	Superficie (ha)	2.500	7.000	12.000	10.000	31.500
Observations pilotes	20	90	65	50		
	30	110	25	85		
	70	180	95	120		
	120	140	40	75		
	25	75	90	170		
	45	110	65	100		
Moyenne	51,7	117,5	63,3	100,0	83,1	
Déviation standard	38,0	37,6	27,3	41,6	43,6	
CV	74 %	32 %	43 %	42 %	52 %	
Conception 1	Taille d'échantillon pour 4 inventaires forestiers indépendants	217	41	74	69	402
Conception 2	Taille d'échantillon (non stratifié)					110

La Conception I permet d'avoir une notification avec la précision ciblée au niveau de la strate individuelle en mettant en place un échantillonnage indépendant dans chaque strate de forêt. C'est une

¹⁹ <http://geodata.grid.unep.ch/>

²⁰ <http://www.worldwildlife.org/science/data/terreco.cfm>

²¹ <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>

considération importante, dans la mesure où la stratification réalise la précision ciblée au niveau de la population et non au niveau de la strate, tel qu'indiqué dans la Conception 3. Par exemple, les strates extrêmement variables couvrant de petites superficies, comme la strate I dans le Tableau 4.1, auront moins d'influence sur le nombre total de parcelles nécessaires que les strates couvrant une grande superficie, comme les strates 3 et 4. L'avantage de la stratification est illustré en comparant les Conceptions 2 et 3, toutes deux ayant pour but de générer des estimations au niveau de la population, et exigeant toutefois des niveaux de travail sur le terrain nettement différents pour les réaliser : 67 parcelles échantillons pour la conception stratifiée (Conception 3), et 110 parcelles pour la conception non stratifiée (Conception 2), qui ignore les sources de la variabilité au sein de la population.

Échantillonnage à deux phases

Faire un échantillonnage de vastes paysages difficilement accessibles exige de déployer les efforts sur le terrain avec efficacité, puisque le déplacement entre les unités d'échantillon représente l'investissement en temps et main d'œuvre le plus élevé dans l'inventaire forestier. Cet échantillonnage peut se faire en ayant un échantillon à deux phases, comprenant deux étapes d'échantillonnage. Par exemple, la première étape peut porter sur la sélection de polygones pour faire un échantillonnage à partir d'une population de polygones, et la seconde étape consiste à attribuer des points d'échantillon dans les polygones sélectionnés. Cet échantillonnage à deux phases ajoute une source d'erreur d'échantillonnage, mais il concentre l'effort sur le terrain, ce qui minimise l'effort général.

4.3.3 Aspects à envisager dans la conception des parcelles

Les aspects de la conception des parcelles incluent le type de parcelle à utiliser, ainsi que la taille de la parcelle. Les personnes chargées de l'inventaire doivent également envisager si les parcelles seront permanentes ou temporaires, et les variables qui doivent être mesurées. Ces différents points sont abordés ci-dessous :

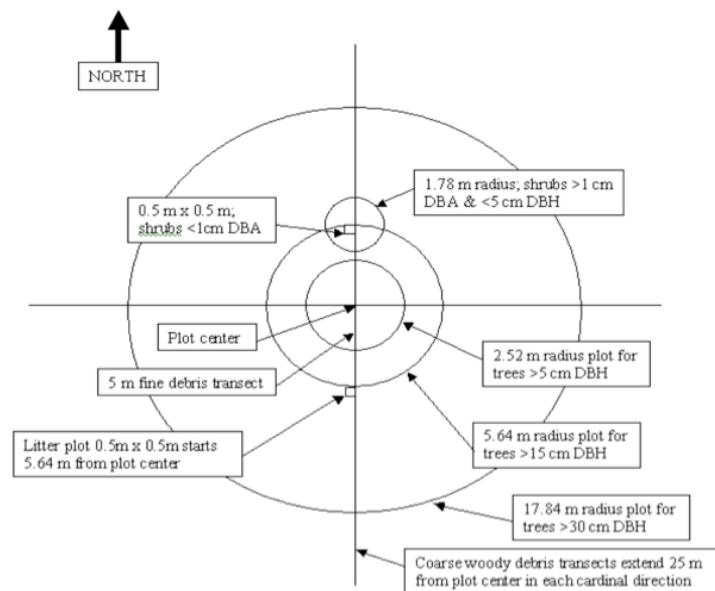
Types de parcelles

Dans un inventaire forestier, les choix habituels pour la conception d'une parcelle sont les suivants :

- **Points** (sans dimension) : des parcelles à rayon variable peuvent être mises en place en utilisant un relascope ou un prisme cunéiforme, au titre duquel un arbre est jugé être à l'intérieur ou à l'extérieur en fonction du rapport de son diamètre à la distance à partir du centre de la parcelle.
- **Lignes** (une dimension) : sur une ligne d'échantillon²², on peut observer combien de caractéristiques croisent la ligne. Cette méthode peut servir à calculer le volume des débris ligneux grossiers.
- **Superficies** (deux dimensions) : tous les arbres qui se trouvent sur une superficie déterminée sont mesurés. Ces parcelles sont souvent appelées des parcelles à « superficie fixe » parce que la taille est fixée. Les parcelles à superficie fixe sont généralement circulaires ou rectangulaires (y compris les transects).

²² Il est important de noter que la conception d'une parcelle échantillon en ligne n'est pas la même chose que la conception d'une parcelle en transect. La conception d'une parcelle en transect, même si elle est longue et étroite, est une superficie (deux dimensions).

FIGURE 4.2 : CONCEPTION DE L'ECHANTILLONNAGE INCLUANT DES PARCELLES INTEGREGES ET DES ECHANTILLONS EN LIGNE POUR MESURER LES DIFFERENTS TYPES DE CARBONE FORESTIER. TIRE DE SMITH ET AL. (2007).



Traduction :

NORD	
Arbustes 0,5 m x 0,5 m < 1 cm DBA	Rayon de 1,78 m, arbustes > 1 cm DBA et < 5 cm DBH
Centre de la parcelle	Parcelle d'un rayon de 2,52 m des arbres > 5 cm DBH
Transect de 5 m de débris fins	Parcelle d'un rayon de 5,64 m des arbres > 15 cm DBH
Parcelle de litière 0,5 m x 0,5 m commence à 5,64 m du centre de la parcelle	Parcelle d'un rayon de 17,84 m des arbres > 30 cm DBH
	Transects de débris ligneux grossiers s'étendant à 25 m du centre de la parcelle dans les quatre directions cardinales

Des parcelles de types différents peuvent également être combinées afin de mesurer avec plus d'efficacité les différentes formes de la biomasse des forêts, en combinant par exemple des parcelles en ligne avec des parcelles en superficie fixe ou en points dans lesquelles est fait l'échantillonnage du bois mort au sol et de la biomasse aérienne, respectivement (Figure 4.2).

Les parcelles à superficie fixe peuvent avoir différentes formes : circulaires, carrées ou rectangulaires. Il est préférable, normalement, d'avoir des parcelles circulaires parce qu'elles ont le périmètre le plus petit pour la même superficie, réduisant la quantité d'arbres en bordure. Par contre, dans les forêts où la visibilité et la pénétrabilité sont limités, les transects peuvent être préférables pour faciliter l'accès à l'ensemble de la parcelle et pour avoir la certitude qu'il ne reste pas d'arbres non comptés. Les transects ont aussi tendance à couvrir plus de conditions du site, augmentant ainsi la variabilité à l'intérieur des parcelles.

La distribution typique du diamètre dans une forêt à maturité a une forme J négative (soit un nombre très élevé de petits arbres et moins de plus grands arbres). Les conceptions intégrées qui incorporent des sous-parcelles en superficie fixe de différentes tailles, ciblant différentes classes de diamètre,

permettent de mesurer plus efficacement les parcelles, car elles répartissent les travaux de mesure de manière plus égale entre les distributions du diamètre. La même efficacité peut être obtenue et même surpassée en utilisant des parcelles à rayon variable, qui font l'échantillonnage des arbres avec la probabilité proportionnelle à la taille.

Les parcelles à superficie fixe et à rayon variable sont également des choix valables pour un inventaire forestier (Grosenbaugh et Stover, 1957 ; Schreuder et al., 1987). Les parcelles à rayon variable permettent de mieux diriger les travaux d'échantillonnage vers les éléments les plus influents dans une population (grands arbres), mais elles sont difficiles à utiliser dans des peuplements denses de petits arbres (par ex., forêt en début de succession). Chose plus importante, le choix entre des parcelles à rayon variable et des parcelles à superficie fixe dépend des connaissances et de l'expérience du personnel. Il est souvent conseillé de s'en tenir aux habitudes afin d'éviter de longues périodes de formation et les erreurs de mesure qui pourraient advenir.

Taille des parcelles

La « taille » d'une parcelle est évaluée différemment pour les différents types de parcelle. Pour les parcelles en ligne, la question essentielle est la longueur. Pour les parcelles en prisme, l'essentiel est le facteur prisme, soit le rapport du diamètre à la distance du centre de la parcelle, qui détermine si un arbre est mesuré ou non. Pour les parcelles à superficie fixe, la taille de la parcelle est simplement la superficie couverte par la parcelle. Ces questions déterminent la « taille » de la parcelle, et le nombre d'arbres qui sont inclus.

Les types et les tailles pilotes des parcelles doivent rester constants à l'intérieur des strates. Cependant, différents types de parcelles peuvent être utilisés pour répondre aux différentes structures des forêts et à la logistique.

La taille des parcelles affecte la variabilité des stocks de carbone observés dans des parcelles différentes, et la variabilité utilisée dans les calculs des parcelles nécessaires pour l'inventaire impliquera une conception approximative de la parcelle. Lors de la conception d'un inventaire visant à réaliser un niveau de précision ciblé, il est recommandé d'analyser les données réelles de la parcelle pour estimer la variabilité qui en résultera si des tailles différentes de parcelle sont sélectionnées pour des tailles ou des types différents d'arbres. Les parcelles plus grandes saisissent plus de variations dans la structure de la forêt et ont donc une variabilité plus faible entre les parcelles. Par conséquent, les intensités d'échantillonnage requises (voir ci-après) peuvent être réduites en augmentant la taille des parcelles.

Définir l'unité d'échantillon en tant que grappe de parcelles peut être un moyen de réduire la variabilité entre les échantillons. Par exemple, un modèle de grappe pourrait être constitué de cinq parcelles par grappe, avec une parcelle centrée sur le point central de la grappe et les quatre autres parcelles situées avec leurs centres à 200 m de distance du centre de la grappe, dans les directions cardinales. Les données sont analysées en utilisant les moyennes de la grappe, et non les valeurs observées dans les parcelles individuelles et par conséquent, l'unité d'échantillon est la grappe, et non la parcelle, et la même réduction dans la variabilité entre les parcelles est obtenue que pour les parcelles de plus grande taille. En réalité, la grappe est simplement une parcelle morcelée plus grande.

Sur le terrain, les parcelles peuvent devoir être ajustées pour tenir compte des pentes et des délimitations. Les inventaires forestiers notifient les mesures sur des superficies horizontales. Les corrections des pentes, en augmentant la taille de la parcelle, peuvent expliquer pourquoi les distances mesurées le long d'une pente sont plus petites lorsqu'elles sont projetées sur une carte horizontale plane. En général, ces corrections doivent être faites uniquement si la pente est supérieure à 10 %. Si des parcelles dépassent les délimitations de la superficie de l'inventaire, des corrections sont faites afin de produire des mesures équivalentes pour un échantillon complet (par ex., à l'aide de la méthode mirage)

ou avec des parcelles à rayon variable, une méthode d'évaluation sur place) Avery et Burkhart 1994 ; Ducey et al., 2004).

Parcelles permanentes ou parcelles temporaires

Les parcelles permanentes, mesurées périodiquement (par ex., tous les cinq ans), permettent d'estimer la croissance et les perturbations du peuplement avec plus de précision (pour un nombre donné de parcelles) et par conséquent de quantifier les petites augmentations ou diminutions dans les stocks. En général, si le carbone forestier doit être mesuré, il est nécessaire de détecter l'ampleur de la variation des stocks de carbone au cours d'une brève période, cinq ans ou moins par exemple. Il est à noter que les conditions météorologiques et des événements perturbateurs peuvent entraîner de plus importantes variations annuelles des stocks de carbone forestiers que les variations anthropiques, et tenter de quantifier les variations annuelles des stocks de carbone forestier liées aux activités humaines peut être compliqué par les conditions météorologiques et les incendies.

Si des parcelles permanentes sont établies, il est judicieux d'augmenter de 5 à 20 % le nombre minimum de parcelles, concernant le nombre de parcelles nécessaires pour la base de données, dans l'éventualité où des parcelles permanentes ne peuvent pas être réaffectées, ou en cas de changement de la couverture terrestre. Si les parcelles sont marquées de manière visible, elles pourraient être traitées différemment par les utilisateurs et les gestionnaires des forêts et par conséquent, il peut être souhaitable de marquer les centres des parcelles par des points de repère invisibles à l'œil humain. Par exemple, une barre métallique enfonce complètement dans le sol pouvant être identifié avec un détecteur de métal (Smith et al., 2007 ; Diaz, 2011).

Les parcelles temporaires sont souvent utilisées dans les inventaires du bois d'œuvre. Un des avantages des parcelles temporaires réside dans le fait que les délimitations des strates et l'intensité de l'échantillonnage peuvent facilement être modifiés dans le temps.

Paramètres à mesurer

Les paramètres mesurés dans les parcelles échantillons dépendent des bassins de carbone considérés et des équations allométriques qui seront utilisées pour convertir les mesures des arbres en biomasse. Il est fortement recommandé de travailler en sens inverse, soit d'envisager d'abord ce qui doit être connu à la suite de l'inventaire, puis les étapes de l'analyse, puis revenir ensuite aux données des parcelles et déterminer alors les données qui devraient être collectées.

4.3.4 Aspects à envisager concernant le coût et les spécifications pour l'intensité de l'échantillonnage

L'intensité de l'échantillonnage (soit le nombre d'échantillons mesurés) prédit la précision et la résolution des estimations pouvant être réalisées par un inventaire forestier. Le choix de l'intensité de l'échantillonnage dépend d'une série de facteurs, y compris les contraintes budgétaires, la précision souhaitée, l'échelle/la résolution voulue des estimations, la variabilité des forêts et la taille des échantillons utilisés.

L'objectif d'un échantillonnage est d'obtenir la précision souhaitée pour l'estimation des stocks de carbone à un coût acceptable. Les coûts de l'inventaire sont influencés par les coûts variables qui sont une fonction des travaux sur le terrain. Les déplacement entre les parcelles, et non les mesures dans les parcelles, représentent la majorité des efforts sur le terrain. Par conséquent, les méthodes minimisant les temps de déplacement, y compris les conceptions d'échantillons en deux phases ou en grappes, peuvent améliorer l'efficacité des travaux sur le terrain. Plusieurs inventaires devraient être comparés avec des données représentatives des coûts afin de trouver une conception répondant aux besoins spécifiques à des coûts acceptables.

Quelques principes généraux stipulant l'intensité de l'échantillonnage requise doivent être pris en compte. En premier lieu, un plus grand nombre de parcelles donnent lieu à moins d'erreurs d'échantillonnage. Réduire l'incertitude de plus de la moitié peut nécessiter quatre fois plus de parcelles. Par conséquent, des estimations extrêmement précises peuvent être onéreuses. En second lieu, la précision statistique d'une estimation de la biomasse dépend de la variabilité de la forêt. Plus la variabilité de la forêt est grande, plus les parcelles devront être nombreuses pour obtenir un degré donné de précision.

L'intrant essentiel pour estimer le nombre de parcelles nécessaires afin d'obtenir un degré de précision donné, est la variation entre les parcelles, calculée en tant que coefficient de variation (CV). Le CV reflète dans quelle mesure les parcelles sont différentes entre elles. Techniquement, le CV est l'écart type divisé par la moyenne. Ces statistiques sont abordées à la Section 4.6.5 sur le calcul des incertitudes. Le Tableau 4.2 montre les résultats finaux d'un exemple hypothétique de l'estimation des tailles d'échantillonnage nécessaires pour obtenir des erreurs d'échantillonnage spécifiques. Dans ce cas, le nombre de parcelles requises pour répondre à un degré croissant de précision augmente par quatre afin de réduire l'incertitude de moitié. D'un autre côté, le nombre de parcelles est relativement indépendant de la taille de la superficie. Le nombre de parcelles dans l'échantillonnage stratifié dépend de la variabilité du stock de carbone dans chaque strate et du degré de précision requis, mais ne dépend pas de l'étendue spatiale du projet. Le CV peut être estimé à partir d'études antérieures ayant recours à une conception de parcelles similaires dans des forêts similaires. S'il n'en existe pas, une étude pilote devrait être faite pour estimer le CV. Pour les petites parcelles dans des forêts dont le couvert présente des trouées, le CV peut être nettement supérieur à 100 %. Dans les plantations avec forte densité, le CV peut être inférieur à 30 %.

Tel qu'expliqué précédemment, les parcelles plus grandes peuvent annuler une partie des variations à petite échelle dans les forêts, donnant moins de variations de parcelle à parcelle que les parcelles plus petites. Pour calculer le nombre de parcelles nécessaires, il faut choisir une estimation de la variabilité entre les parcelles. La variabilité choisie sous-entend une taille de parcelle. Par exemple, un niveau de variabilité peut supposer que presque toutes les parcelles contiennent au moins quatre grands arbres et que très peu de parcelles auront des trouées avec moins ou aucun arbre moyen ou grand. Par conséquent, quand elles choisissent la taille des parcelles, les personnes chargées de l'élaboration de l'inventaire devront tenir compte de la densité des grands arbres dans la forêt et de la fourchette de l'ampleur des trouées, et choisir une taille de parcelle suffisamment grande de sorte qu'avec l'espacement regroupé des arbres dans la forêt, la majorité des parcelles contiendront le nombre d'arbres requis. À un certain point, le coût résultant de l'augmentation de la taille des parcelles existantes ne donne plus lieu à une réduction importante de la variance si l'on compare avec ce qui pourrait être obtenu en augmentant le nombre de parcelles par échantillon. Un équilibre optimal théorique entre la taille de la parcelle et le nombre de parcelles peut être obtenu par le biais de la combinaison d'expérimentations sur le terrain ou de connaissances antérieures. Cependant, lorsque de grandes superficies sont échantillonnées, les frais de déplacement peuvent avoir plus d'effets sur le coût total que le nombre de parcelles, et pour une somme donnée, une plus grande précision statistique peut être obtenue en ayant recours à des parcelles plus grandes et moins nombreuses que l'optimum théorique calculé sans tenir compte des coûts.

D'autres systèmes d'échantillonnage plus complexes pourraient ou non justifier davantage un niveau donné d'effort. Ils incluent l'échantillonnage en grappe aléatoire stratifié, l'échantillonnage en deux phases (double), l'échantillonnage par ensembles classés et l'échantillonnage par panel. Beaucoup d'inventaires visent à employer les équipes de manière continue, mais ne remesurent les parcelles que tous les cinq ans. Dans une telle situation, 20% des parcelles devraient être remesurées chaque année, avec 100 % des parcelles remesurées tous les cinq ans. Ceci est un exemple d'un échantillon panel. Si ces systèmes d'échantillonnage plus complexes devaient être pris en compte, un biométricien ou un

statisticien devrait être consulté pour avoir la certitude que les calculs de l'intensité de l'échantillonnage et les procédures d'analyse des données sont correctes.

TABLEAU 4.2 : EXEMPLE DE PARCELLES ECHANTILLONS NECESSAIRES POUR REALISER LES ERREURS D'ECHANTILLONNAGE SPECIFIEES AVEC L'ECHANTILLONNAGE ALEATOIRE SIMPLE. LE NIVEAU IMPORTANT EST 95 % POUR UNE GRANDE SUPERFICIE

Coefficient de Variation	+/-20 Erreur acceptable	+/- 10 Erreur acceptable	+/- 5 Erreur acceptable	+/- 2 Erreur acceptable
100 %	98	392	1568	9801
50 %	25	98	392	2450
20 %	4	16	63	392
15 %	2	9	35	221

4.4 L'ÉQUIPE DE L'INVENTAIRE DE CARBONE FORESTIER

Une équipe de l'inventaire forestier national devrait être constituée comme suit :

- Une entité responsable de tout l'inventaire et habilitée à prendre des décisions qui s'imposent aux régions (si des régions sont utilisées). Cette entité doit aussi être en étroite coordination avec l'organe national unique désigné et chargé de la responsabilité générale pour l'inventaire GES. L'entité responsable pour la totalité de l'inventaire peut être gouvernementale ou faire partie d'une université ou d'une autre organisation non gouvernementale dotée de l'expertise et de l'habilitation adéquates pour continuer l'opération. L'entité est chargée de l'élaboration de l'inventaire, ce qui inclut :
 - Sélectionner la conception de l'échantillonnage et des parcelles ;
 - Établir les protocoles pour collecter les données ;
 - Organiser l'approvisionnement de l'équipement de collecte des données ;
 - Traiter et analyser les données ;
 - Coordonner avec l'équipe chargée de la cartographie de la couverture terrestre ; et
 - Coordonner avec les régions et les utilisateurs des résultats de l'inventaire.
- Des bureaux régionaux chargés de ce qui suit :
 - Organiser et former les équipes de terrain ;
 - Effectuer des vérifications de la qualité de la collecte de données faites par les équipes sur le terrain ;
 - Fournir un appui technique aux équipes sur le terrain ;
 - Saisir les données (y compris traduire les noms des espèces locales en termes scientifiques) ; et
 - Transmettre les données au bureau national central.

- Des équipes sur le terrain chargées de la collecte des données.

Une question essentielle porte sur l'affectation de personnel aux équipes sur le terrain. Un inventaire national bien établi pour lequel des mesures sont répétées régulièrement devrait avoir son propre personnel. Si l'inventaire couvre une très grande superficie, il peut être efficace d'avoir du personnel dans différentes régions. La surveillance communautaire, telle que discutée à la Section 7.2, notamment la formation et l'intégration de membres de la communauté locale dans l'inventaire, devrait faire partie des objectifs pour les inventaires nationaux. Dans l'idéal, les équipes sur le terrain devraient comprendre des techniciens compétents en matière de mesure et des membres de la communauté locale. L'inclusion de membres de la communauté locale est cruciale pour les raisons suivantes :

- Permettre l'accès aux parcelles ;
- Donner des informations sur les noms locaux des espèces mesurées ; et
- Fournir des informations sur les utilisations des espèces importantes trouvées dans la parcelle.

Les équipes sur le terrain devront suivre une formation sur l'application des protocoles sélectionnés pour l'inventaire. Après la formation, un superviseur expérimenté devrait être en étroite relation avec les équipes pendant le premier mois des travaux. La supervision devrait inclure des visites aux équipes pendant qu'elles effectuent leur travail dans la parcelle, et la vérification de l'exactitude de leurs mesures (l'assurance de la qualité et le contrôle de la qualité sont traités ci-après). Il est extrêmement souhaitable d'avoir des membres de la communauté locale au sein des équipes sur le terrain, car ils connaissent généralement les routes d'accès et d'autres informations propres aux lieux. D'un autre côté, former des membres de la communauté locale pour collecter des mesures d'inventaire forestier pourrait ne pas être rentable, notamment si les données ne sont pas collectées fréquemment. Une solution est d'avoir des équipes composées de personnes qui, en groupe, représentent les compétences nécessaires pour mesurer, et sont capables d'identifier les espèces et possèdent des connaissances locales. Il peut s'agir de techniciens compétents en mesure qui parcourent de grandes superficies et de membres temporaires de l'équipe connaissant le terrain local et aidant aux mesures. La surveillance communautaire peut être plus pratique pour détecter et spécifier les endroits où se déroulent des événements peu fréquents, comme une nouvelle exploitation forestière ou un défrichement.

4.5 TRAVAIL SUR LE TERRAIN ET ANALYSE

4.5.1 Travail sur le terrain

La préparation du travail sur le terrain n'est pas simplement la rédaction d'un protocole de terrain et la sélection des emplacements des parcelles. Les éléments essentiels pour que le travail sur le terrain soit réussi sont les suivants :

- La planification et la mise en place de la logistique pour veiller à ce que la formation, l'équipement, les fournitures, les transport, l'alimentation, l'hébergement et les communications sont fournis en fonction des besoins ;
- Le Guide de terrain précisant comment exécuter les travaux sur le terrain et comment aborder les situations inhabituelles ;
- Les objectifs de la qualité pour chaque mesure ; et
- Les procédures de vérification des données de terrain, qui peuvent limiter les valeurs acceptables des saisies de données si des enregistrements électroniques de données sont utilisés, ou les procédures selon lesquelles les membres de l'équipe vérifient réciproquement leur travail pendant

qu'ils mesurent et enregistrent les données. Les procédures de l'assurance de la qualité devraient inclure à la fois des vérifications immédiates, au cours desquelles un superviseur ou une autre personne vérifie ponctuellement les données en reprenant des mesures (pendant que l'équipe est encore dans la parcelle), et des vérifications ultérieures au cours desquelles une autre équipe revient indépendamment sur le terrain et remesure un sous-ensemble de parcelles, puis une personne indépendante compare les deux ensembles de mesures pour avoir la certitude que les mesures sont dans les limites de l'exactitude et de la précision requises. Un processus permettant de donner un feedback aux équipes sur la qualité de leur travail doit être mis en place, dans l'idéal avec des récompenses pour le travail de bonne qualité et une formation supplémentaire si des lacunes sont constatées.

L'application stricte de protocoles méticuleux concernant les mesures sur le terrain permet de réduire les erreurs de mesure, une source d'erreurs souvent oubliée dans les inventaires forestiers, en partie parce qu'elles ne sont pas faciles à calculer comme les erreurs d'échantillonnage. Les erreurs de mesure sont plutôt évaluées habituellement en remesurant un échantillon de parcelles à l'aide des vérifications ponctuelles décrites ci-dessus. Les erreurs de mesure proviennent d'une série de problèmes, y compris non seulement le diamètre à hauteur de poitrine (DBH) et la hauteur (en particulier la hauteur dans les forêts à couvert feuillu dense), mais également l'identification erronée des espèces, la confusion d'interprétation entre ce qui est vivant et ce qui est mort, l'interprétation erronée des arbres situés en bordure et des délimitations des strates, et la mauvaise application des méthodes de correction des délimitations. Au niveau de la parcelle, avec des équipes de terrain bien formées, une erreur de mesure d'environ 4 % est réalisable. Si les mesures sur le terrain incluent les hauteurs d'arbre, l'erreur de mesure peut atteindre 8 %, en particulier dans les couverts forestiers denses.

Tous les inventaires devraient contenir des normes écrites précisant l'inexactitude maximum autorisée pour chaque élément de donnée. Les erreurs tolérées maximum devraient être élaborées en consultation avec des spécialistes du travail sur le terrain et de l'analyse des données. Une attention particulière devrait être portée aux erreurs pouvant avoir un effet important sur les estimations finales des stocks de carbone et des variations des stocks.

Inclure des détails spécifiques sur l'emplacement ou des types de données complémentaires peut aider à vérifier et à corriger les erreurs ou d'autres problèmes. Par exemple, enregistrer l'emplacement des arbres individuels dans une parcelle et les baliser peut aider à vérifier si des arbres n'ont pas été mesurés, pour la vérification ultérieure de l'exactitude des données par une équipe indépendante et pour déplacer les centres des parcelles.

Les techniciens sur le terrain peuvent apprendre plus facilement à utiliser des instruments manuels, tels que des rubans diamétriques, des mètres rubans et des clinomètres, qui peuvent être plus durables que les instruments de mesure électroniques. Cependant, avoir recours à des hypsomètres laser est beaucoup plus rapide que les mètres rubans et les clinomètres pour mesurer la hauteur des arbres. Des télémètres laser peuvent être nécessaires pour estimer la hauteur des grands arbres dans les forêts denses.

En général, le plus difficile pour estimer les coûts est d'évaluer le nombre de parcelles qu'une équipe sur le terrain peut mesurer par jour. Ce nombre dépend souvent davantage du temps qu'il faut pour passer d'une parcelle à l'autre que du temps accordé à chaque parcelle.

Beaucoup de projets enregistrent les données de terrain sur des fiches de données papier. Les fiches de données papier sont à faibles coûts, les techniciens les connaissent bien et les utilisent facilement sans avoir de problèmes mécaniques ou de piles mortes. Les enregistreurs électroniques de données peuvent être difficiles à maintenir chargés pendant plusieurs jours sur le terrain et les données doivent être téléchargées des enregistreurs tous les jours, ce qui peut être compliqué si les équipes passent une semaine ou deux consécutives dans la forêt. La préparation des enregistreurs électroniques de données

exigent également des compétences importantes. Au fil du temps cependant, les enregistreurs de données peuvent grandement économiser les coûts en réduisant le besoin d'imprimer les fiches de données et de copier les données sur papier dans des formulaires électroniques. Les formulaires électroniques peuvent être conçus de manière à inciter les utilisateurs à ajouter les valeurs manquantes et à remettre en question ou rejeter des valeurs peu plausibles. Les espèces d'arbres peuvent aussi être spécifiées à l'aide d'un menu, ce qui évite de perdre un temps considérable à corriger les erreurs d'orthographe dans les noms des espèces. Même si des logiciels d'inventaire du bois d'œuvre sont faciles à trouver dans le commerce, ils peuvent ne pas être adaptés à l'enregistrement de données qu'un inventaire cherche à obtenir.

Des manuels et des guides variés décrivant comment exécuter le travail sur le terrain existent. Il est recommandé aux pays d'examiner plusieurs manuels attentivement quand ils préparent leur propre guide de terrain, et de mettre les procédures à l'essai sur le terrain avant de les adopter. Les États-Unis, le Canada, l'Équateur, le Mexique, la Russie et d'autres pays ont des guides de terrain détaillés donnant des conseils utiles pour la conception de l'inventaire.

Situer l'emplacement des parcelles

Pour garantir l'intégrité de la conception de l'échantillon et pour éviter les biais, les parcelles doivent être situées avant le travail sur le terrain, à l'aide d'une analyse SIG par ordinateur. En outre, les bonnes pratiques pour collecter des données de système de positionnement mondial (GPS) devraient être suivies, en tenant compte de la précision spécifiée par le type de récepteur. Dans la mesure où il peut y voir des erreurs dans les emplacements GPS, il faut une méthode pour déplacer les parcelles, qui ne repose pas uniquement sur des relevés GPS non professionnels. Nombre d'inventaires ont recours à des points de repère pour marquer les centres des parcelles. Ce point de repère devrait ne pas pouvoir être retiré dans le temps. Beaucoup d'inventaires enfoncent par exemple une barre d'acier complètement dans le sol, au centre de la parcelle, et la retrouve en utilisant un détecteur de métal. Mettre des balises ou peindre des marques sur les arbres près du centre de la parcelle peut aider à retrouver les centres des parcelles si les balises ne sont pas retirées par des personnes ou des animaux, et si ces marques ne donnent pas lieu à un traitement différent de ces arbres par rapport à ceux situés à l'extérieur des parcelles. Enregistrer la distance et la direction entre le centre de la parcelle et chaque arbre est très utile pour retrouver les centres des parcelles plus tard, et facilite les vérifications indépendantes par la suite.

4.5.2 Laboratoire d'analyse des échantillons

En général, l'analyse par un laboratoire des échantillons de la biomasse ligneuse n'est pas nécessaire. L'identification d'espèces d'arbres inconnues et la détermination des densités de bois sont des exceptions. Smith *et al.* (2007) proposent une explication de la détermination de la densité du bois.

Le carbone des sols ne nécessite pas d'analyse de laboratoire. Les éléments essentiels de la quantification du carbone des sols sont les suivants :

- La profondeur du sol à mesurer (en cm, en général 30 cm) ;
- La densité apparente (en g/cm³) ; et
- La teneur en carbone organique (pourcentage).

La profondeur de l'échantillonnage est précisée dans la conception de l'inventaire. La densité apparente est calculée pour chaque échantillon à partir de la masse mesurée et du volume mesuré des échantillons. La densité apparente peut être mesurée dans des échantillons dont un sous-échantillon est retiré

ultérieurement pour la mesure de carbone, ou d'un échantillon distinct pris au même endroit que l'échantillonnage pour le carbone. La teneur en carbone est déterminée par une analyse en laboratoire.

Les techniques les plus courantes pour analyser le pourcentage de carbone du sol sont basées sur des émissions mesurées à partir de la combustion sèche des échantillons. Cette méthode porte sur l'oxydation d'un petit échantillon à des températures très élevées et l'utilisation de l'absorption du rayonnement infrarouge des gaz ou la chromatographie en phase gazeuse pour mesurer la quantité de CO₂ émise.

4.6 CALCULER LES STOCKS DE CARBONE À PARTIR DES DONNÉES DE TERRAIN

4.6.1 Gestion des données pour les calculs

Calculer les stocks de carbone doit être fait de manière organisée, sinon des erreurs pourraient se produire. Les procédures de calcul devraient être testées sur des données pilotes avant de s'engager dans une conception particulière de l'inventaire, afin d'avoir la certitude que toutes les données nécessaires seront collectées. Les procédures devraient inclure la séquence des calculs, le suivi des versions, le nombre limite des personnes susceptibles de modifier les données et la surveillance de toute modification des données. Les facteurs utilisés dans les calculs devraient être bien documentés, en termes de valeurs et de sources, et être accompagnés de justifications pour ce qui est des valeurs particulières utilisées dans des situations particulières.

Pour les notifications à la CCNUCC, il peut être nécessaire de calculer séparément le stock (ou la variation de stock) de chaque bassin de carbone notifié. Cependant, si une notification distincte pour chaque bassin n'est pas requise, il est possible de calculer le stock de carbone de chaque bassin de carbone par hectare, puis de faire le total des bassins pour obtenir le stock de carbone par hectare que représente chaque parcelle. Le fait de baser toutes les parcelles sur l'hectare permet de calculer la confiance statistique des mesures fondée sur la variabilité entre les parcelles et le nombre de parcelles. Combiner tous les bassins est approprié sur le plan statistique et tend à une variabilité plus faible d'une parcelle à l'autre que si le stock de carbone de chaque bassin est calculé séparément. Cependant, il est souvent intéressant de connaître la variation du stock d'un bassin donné – en particulier pour le bassin des arbres vivants – et il est souvent souhaitable de calculer séparément les stocks pour les différents bassins ou groupes de bassins. Si seuls quelques bassins sont mesurés, et des facteurs par défaut de Niveau I sont utilisés pour les autres bassins, les bassins non mesurés ne devraient pas être combinés avec les bassins mesurés avant de calculer l'incertitude.

Si les stocks de carbone (ou les variations de stocks) sont calculés séparément pour des bassins différents dans un site particulier, un statisticien devrait être consulté pour qu'il précise les méthodes adéquates pour calculer l'incertitude totale pour le type de couverture forestière. Par exemple, si 100 parcelles sont mesurées et qu'il y a des bassins d'arbres vivants, d'arbres morts, de débris ligneux grossiers, d'arbustes, d'herbacés et de litière, les différents bassins ne comptent pas en tant qu'échantillons différents pour le calcul de l'incertitude. La taille de l'échantillon est $n = 100$, et non $= 600$, ce qui serait le cas si chaque observation de chaque bassin comptait comme un échantillon différent. Les méthodes pour calculer l'incertitude dans des situations simples sont décrites ci-après.

Le stock de carbone pour une strate donnée est obtenu en calculant le stock de carbone moyen par hectare de toutes les parcelles à l'intérieur d'une strate et en multipliant par la superficie de la strate afin d'obtenir le stock de carbone de la strate. Le stock de carbone total est ensuite calculé en faisant la somme des stocks des différentes strates. Si le stock de carbone est calculé séparément pour chaque date d'inventaire, la variation du stock est souvent calculée en tant que différence des moyennes entre

les deux dates. Si des parcelles temporaires sont utilisées, et que les mêmes parcelles ne sont pas mesurées aux deux dates différentes, la différence des moyennes doit être utilisée. Inversement, si des parcelles permanentes sont mesurées, la variation peut être calculée pour chaque parcelle, et à partir de cela, les estimations de niveau de population de la quantité totale de la variation peuvent être calculés. Pour un nombre donné de parcelles, cette méthode apporte en général une plus grande confiance statistique (dans la mesure où les parcelles avec une perturbation importante – comme l'exploitation forestière ou des incendies – ne sont pas mêlées à des parcelles sans perturbation), et l'incertitude statistique est calculée à partir de l'ensemble des variations observées dans les différentes parcelles. Le calcul des stocks de carbone à partir des données de terrain nécessite une bonne organisation pour avoir la certitude que les données sont triées avec efficacité et que les calculs en résultant sont générés correctement. Il est important d'enregistrer les détails des manipulations des données exécutées, y compris les corrections des erreurs dans les données ; la suppression des données incorrectes ; les facteurs et les équations utilisées, notamment les sources de ces facteurs et équations ; la séquence des calculs ; et la raison de chaque calcul. Sans des dossiers solides, il est impossible de vérifier la qualité et l'exactitude des calculs et des estimations des stocks de carbone résultant de ces calculs, et ces informations sont essentielles à la phase de vérification subséquente de la MNV.

Avant de commencer les calculs, toutes les données devraient être compilées dans un dossier unique pour chaque bassin de carbone. Les données devraient être examinées pour voir si des valeurs manquent ou sont peu plausibles. Les problèmes devraient être comparés avec les fiches de parcelle, ou tout formulaire antérieur des données, et corrigés dans la mesure du possible. Si une correction est impossible, la donnée doit être supprimée de la base de données, et la raison de sa suppression doit être notée. Des données ne devraient pas être supprimées de l'analyse simplement parce que les valeurs sont aberrantes.

4.6.2 Équations allométriques

Sélection des équations allométriques

Les équations du carbone sont généralement sous deux formes : les équations allométriques ou les facteurs de conversion et d'expansion de la biomasse (FECB). Les équations allométriques sont des régressions dérivées de mesures détaillées du volume des arbres ou du poids des arbres récoltés et d'une ou deux autres variables structurelles connexes — en général DBH et hauteur des arbres — à une variable recherchée, telle que le volume des arbres ou la biomasse (Diaz et Delaney, 2011).

La sélection du modèle allométrique est souvent l'une des plus grandes sources d'erreurs dans les inventaires forestiers. L'ensemble des données des échantillons dont l'équation est dérivée, qui peut habituellement être identifiée à partir de documents sources, devrait être représentatif de la population des arbres à laquelle il sera appliqué et dans l'idéal, il devrait être tiré d'une échelle géographique comparable, sinon la variabilité influencée par l'échelle dans les relations allométriques sera perdue. Ce dernier point est particulièrement important lorsque, par exemple, des équations pantropicales sont appliquées afin d'en déduire des estimations pour des surfaces géographiques plus petites.

Des erreurs significatives peuvent également se produire si les équations sont appliquées à des arbres plus grands que la série à partir de laquelle l'équation avait été élaborée, et il ne sera pas possible de déterminer la taille des erreurs. Par conséquent, les équations de la biomasse ne devraient pas être utilisées pour des arbres plus grands que l'arbre le plus grand utilisé pour mettre au point l'équation en question, sauf si les estimations de la biomasse pour ces plus grands arbres sont comparées à la biomasse mesurée d'autres grands arbres et que les estimations sont jugées raisonnables avec justification à l'appui. Par contre, les équations pour des espèces semblables peuvent être utilisées, et ajustées en fonction de la différence dans la densité ligneuse.

La majorité des équations allométriques donnent des résultats irréalistes lorsqu'elles sont appliquées à des arbres plus grands que les arbres à partir desquels l'équation avait été élaborée. Par conséquent, il est préférable d'utiliser des équations allométriques élaborées pour des arbres similaires aux arbres à l'étude. En particulier, les espèces (ou une combinaison d'espèces) ou la forme de croissance et la biomasse potentielle devraient être similaires. Ce manque de fiabilité est particulièrement important avec les équations qui sont de simples modèles exponentiels. Les équations logistiques, où le taux d'augmentation de la prédiction de la biomasse baisse au fur et à mesure que le diamètre augmente, tendent à comporter moins d'erreurs lorsqu'elles sont appliquées à des arbres plus grands que les arbres à partir desquels l'équation avait été élaborée. Sauf si l'équation allométrique avait été élaborée en utilisant les mesures des arbres sur la superficie où l'équation sera utilisée, et à partir de peuplements ayant des trajectoires de développement similaires aux peuplements auxquels l'équation sera appliquée, les équations ayant uniquement recours au diamètre devraient être jugées utiles pour des estimations approximatives de la biomasse. Les équations générales sont données à l'Annexe 4A.2 des Lignes directrices du GIEC (2006). Si une équation est appliquée à une grande variété d'espèces, les espèces devraient être groupées de sorte que chaque groupe a une densité ligneuse similaire, ou il faudrait intégrer une densité ligneuse dans l'estimation de la biomasse.

Les équations qui ont recours à la hauteur et au diamètre et non à la densité ligneuse peuvent être adaptées pour estimer la biomasse d'espèces différentes des espèces pour lesquelles l'équation avait été élaborée, si les formes de croissance des espèces sont très similaires, et si les estimations sont ajustées pour les différences dans les densités ligneuses. Dans ce cas, le facteur d'ajustement de la densité ligneuse est calculé en divisant la gravité spécifique des espèces auxquelles l'équation sera appliquée par la gravité spécifique des espèces utilisées pour élaborer l'équation.

Lorsque des équations propres aux taxons, ou des équations ayant recours à la hauteur, il faut tenir compte à la fois de la disponibilité d'analystes capables d'identifier les espèces, et du coût supplémentaire et de l'incertitude des mesures de hauteur des arbres.

Les facteurs de conversion et d'expansion de la biomasse (FECB) sont des facteurs adimensionnels qui convertissent les volumes marchands des arbres en leur biomasse aérienne totale. Les FECB sont utilisés pour les estimations approximatives de la biomasse quand il existe un inventaire de bois d'œuvre mais aucune ressource pour mesurer les stocks de carbone dans les forêts. Si des FECB sont utilisés, il faut absolument appliquer la même définition du volume marchand (ou un stock en hausse) qui avait été utilisé dans la dérivation des FECB. Les FECB ne sont pas fiables lorsqu'ils sont appliqués à des forêts de structure différente des forêts où les FECB avaient été élaborés. Diverses sources peuvent être utiles si des équations allométriques sont recherchées, par exemple les institutions forestières locales, GlobAllomeTree²³ et la documentation publiée.

Élaborer de nouvelles équations et tester des équations existantes

En l'absence d'informations sur certaines espèces, ou groupe d'espèces²⁴, les projets REDD+ peuvent devoir élaborer de nouvelles équations allométriques. En vertu du Projet sur les bénéfices du carbone du Fonds pour l'environnement mondial (FEM), Dietz et Kuyah (2011) avaient préparé des lignes

²³ Base de données élaborée par la FAO, le CIRAD, centre de recherche français, et Tuscia University ; <http://www.globalmetree.org/>

²⁴ Le regroupement le plus utile peut être la classe morphologique (par ex., arbres à tronc simple, arbres à plusieurs troncs, arbustes,) (MacDicken, 1997).

directrices pour l'établissement d'équations allométriques régionales en utilisant un échantillonnage destructif²⁵. Aldred et Alemdag (1988) est un autre guide d'élaboration des équations allométriques.

De nouvelles équations allométriques peuvent être élaborées à partir d'un échantillonnage relativement peu important d'environ 30 arbres pour une espèce ou un groupe d'espèces particulières, mais il est toutefois souhaitable d'avoir un plus grand échantillon. La densité ligneuse doit être mesurée, et puisque les mesures forestières sont faites sur des arbres vivants, les volumes de bois vert doivent également être calculés. Le volume de bois mort ne peut pas être utilisé.

Vérifier si les équations allométriques déjà publiées sont adaptées est également une bonne pratique lorsque ces équations sont appliquées dans des sites où les conditions de productivité, de climat et de croissance sont différentes des lieux où ces équations avaient été élaborées. Cette vérification peut se faire en utilisant un échantillonnage destructif ou en mesurant le volume de plusieurs arbres de taille différente. Un échantillonnage destructif limité pourrait être mené en coordination avec une opération de récolte active sur la superficie concernée, réduisant de ce fait les coûts et les efforts requis pour cette activité exigeant un travail intensif. Il est essentiel de veiller à ce que l'échantillon soit représentatif des espèces d'arbres au sein d'une fourchette de classes de diamètres (> 15 cm DBH, niveau en dessous duquel les inexactitudes sont relativement rares dans les équations), en collectant des échantillons supplémentaires (par ex., espèces non commerciales) à cet effet, le cas échéant. L'échantillonnage destructif porte sur l'abattage et la pesée d'échantillons d'arbres, puis la taille d'un sous-échantillon de portions des arbres, la pesée sur le terrain, puis le séchage en vue d'obtenir un rapport poids frais/poids sec pour les poids de l'ensemble des arbres. Le volume est mesuré en divisant le tronc de l'arbre en segments, puis en mesurant les deux diamètres aux extrémités et la longueur de chaque segment, et en prenant également des mesures sur un échantillon de branches. Les résultats sont comparés aux prédictions de l'équation afin d'évaluer les biais et de valider l'équation, ou de changer ses paramètres afin qu'elle soit plus adaptée.

Biomasse souterraine

La biomasse souterraine est extrêmement difficile à mesurer pour un arbre individuel car les racines de différents arbres et arbustes interfèrent. Par conséquent, la biomasse souterraine est souvent estimée en ayant recours à des équations générales qui l'estiment en tant qu'une fonction de la biomasse aérienne. En général, le rapport biomasse souterraine/biomasse aérienne est plus élevé pour les sites en milieu sec et pauvres en nutriments, et pour les jeunes forêts successorales où plus d'énergie est affectée à la croissance des racines. Pour de grands projets dans des sites en milieu sec, l'échantillonnage destructif peut être valable pour mesurer la biomasse des racines sur la superficie du projet, car ces mesures peuvent aboutir à une biomasse nettement plus grande que les rapports par défaut pour les sites productifs. La biomasse souterraine peut être mesurée en creusant, puis en mesurant des mottes de racines et en prélevant un échantillon dans des endroits entre les tiges. Des méthodes sont décrites dans Bledsoe et al. (1999).

4.6.3 Bassins sans arbre

Élargir des échantillons pour obtenir une valeur de masse par hectare est simple. Les échantillons sont séchés et pesés, puis le rapport poids sec/poids frais est calculé. Les mesures de terrain sont transformées en poids sec et converties en valeurs basées sur l'hectare.

²⁵ D'autres recommandations pour l'élaboration de tableaux de la biomasse sont présentées dans MacDicken (1997) Annexe 4, Section C.

Le traitement des échantillons de la litière et les calculs de la biomasse de la litière sont semblables aux méthodes utilisées pour la végétation herbacée. Le pourcentage du poids de la biomasse sèche peut être estimé par une analyse en laboratoire ou en examinant les échantillons pour savoir quelles sont les parties de plantes composant la litière (par ex., feuillage par rapport au bois de branche, bois de tige ou végétation herbacée morte), en cherchant les teneurs en carbone de chaque composante dans la documentation et en calculant une fraction de la moyenne pondérée de carbone.

Le volume des débris ligneux grossiers est calculé pour chaque classe de densité pour chaque strate :

$$\text{Volume de débris ligneux grossiers (m}^3/\text{m}^2) = \pi^2 * [(d1^2 + d2^2 + \dots + dn^2)/8L]$$

où $d1, d2, dn$ = le diamètre (m) de chaque morceau n intersectant la ligne, et L = la longueur de la ligne (100 m ; Harmon et Sexton, 1996). Le volume est converti en masse en utilisant le facteur de densité adéquat.

4.6.4 Bassins de carbone combinés

Le stock de carbone par hectare de chaque bassin dans chaque parcelle est ajouté aux autres bassins dans cette parcelle afin d'obtenir le stock de carbone par hectare pour chaque parcelle. Le stock total de carbone est calculé en multipliant la valeur moyenne par le nombre d'hectares.

Dans la réalité, les mesures sont prises au cours de plusieurs semaines ou plusieurs mois. Cependant, pour des raisons ayant trait aux notifications et à la variation dans le temps, les mesures sont considérées comme représentant une date particulière. Certains inventaires précisent uniquement l'année au cours de laquelle les mesures ont été prises. Toutefois, dans la mesure où certains stocks de carbone varient en fonction des saisons, il vaut mieux affecter une date représentant les mesures. Par exemple, des mesures prises pendant la saison sèche de novembre 2011 à février 2012 pourraient être comprises comme le stock de carbone présent au 1^{er} février 2012. Si les inventaires sont pris au cours de plusieurs années, une conception en panel devrait être utilisée pour calculer la moyenne et les variations, ou des modèles pourraient servir à normaliser les données en une année unique. Ces méthodes n'entrent pas dans le cadre de ce manuel. Un manuel adéquat devrait être consulté pour le mode d'emploi de ces méthodes.

4.6.5 Quantifier l'incertitude

La fiabilité des estimations de stock de carbone est notifiée sous forme d'intervalles de confiance statistique qui quantifient la probabilité que les parcelles échantillonnées utilisées pour calculer les stocks de carbone pourraient être différentes des conditions réelles existant dans toute la forêt.

Un indice courant de l'incertitude liée à une estimation résultant d'un inventaire est l'intervalle de confiance. L'intervalle de confiance représente une fourchette de valeurs d'une estimation, en général la moyenne — c'est-à-dire, le plus probable. La largeur de l'intervalle de confiance donne à l'utilisateur des données un sentiment de confiance dans l'exactitude de l'estimation. Les intervalles de confiance peuvent être calculés pour différents « niveaux de confiance », et sont fondés sur une théorie statistique. Les niveaux habituels de confiance sont 90 % et 95 %. Pour interpréter, par exemple, un intervalle de confiance de 95 % de +/- 10 % entourant une estimation de 100 tonnes de carbone par hectare, on peut dire que si un inventaire similaire avait été mené exactement de la même manière de nombreuses fois, mais en choisissant des parcelles différentes, 95 % des intervalles de confiance générés contiendraient la vraie valeur de la population. La vraie valeur de la population est la valeur qui serait trouvée si chaque élément individuel dans la population était mesuré. Dans cet exemple, la valeur de la population serait le stock de carbone mesuré si tous les arbres étaient mesurés. Les gens interprètent souvent ceci comme voulant dire qu'une personne peut avoir une confiance de 95 % dans le fait que la

vraie valeur est située à l'intérieur de l'intervalle de confiance, dans cet exemple, entre 90 et 110 tonnes par hectare.

Techniquement, ces incertitudes signalent la probabilité que l'échantillon est différent de la population totale réelle. Le nom technique pour cette différence de probabilité est l'erreur d'échantillonnage. Beaucoup d'autres erreurs pourraient mener à des chiffres erronés. Plusieurs mécanismes peuvent être employés pour limiter les erreurs autres que l'erreur d'échantillonnage. Ils incluent les normes de qualité, et la vérification indépendante des mesures, des données et des calculs pour détecter les erreurs humaines et les corriger. Toutes ces erreurs potentielles signifient que deux mesures indépendantes d'un même arbre, faites par deux personnes différentes, pourraient différer de quelques millimètres. Néanmoins, la majorité suppose que les erreurs résultant de l'échantillonnage sont aléatoires et ne sont pas biaisées et que par conséquent, elles augmentent l'intervalle de confiance et ne biaissent pas les estimations des stocks.

Pour calculer un intervalle de confiance, il faut d'abord calculer l'écart type et l'erreur standard de l'estimation. L'écart type indique dans quelle mesure des échantillons individuels sont différents les uns des autres. Par exemple, si l'écart type d'un ensemble de parcelles est de 50 tonnes par hectare de carbone, environ 2/3 des parcelles auront alors des stocks de carbone dans la fourchette de 50 tonnes par hectare du stock moyen de carbone. L'écart type est une propriété de la population. L'erreur standard de l'estimation est une mesure de l'incertitude de l'estimation de la valeur moyenne. L'erreur standard est une propriété de l'échantillon et peut être réduite en mesurant un plus grand échantillon, soit en mesurant plus de parcelles. L'erreur standard de la moyenne estimée pour chaque bassin de carbone à l'intérieur de chaque strate est la suivante :

$$SE = \sqrt{S/n}$$

où SE est l'erreur standard du stock moyen de carbone estimé par hectare du bassin de carbone et de la strate donnés ; S est l'écart type du stock moyen de carbone estimé par hectare du bassin de carbone et de la strate donnés ; et n est le nombre de parcelles dans la strate. L'intervalle de confiance pour chaque bassin de carbone à l'intérieur de chaque strate est calculé ensuite. L'intervalle de confiance est le suivant :

$$CI = \pm t \times SE$$

où CI est l'intervalle de confiance ; t est le point $t_{critique}$ d'une table de valeurs de test t pour Student pour le niveau de confiance et les degrés de liberté adéquats. Ceci concerne un test bilatéral, c'est-à-dire qu'une confiance avec un pourcentage de 95 laisserait 0,025 de probabilité à chaque extrémité de la distribution, et les degrés de liberté sont habituellement le nombre de parcelles moins une. SE est l'erreur standard pour la strate et le bassin donnés.

L'intervalle de confiance peut être exprimé en tant que pourcentage de la moyenne :

$$U_n = (CI / X\bar{x})$$

où : U_n est l'incertitude en pourcentage pour le bassin et la strate n ; CI est l'intervalle de confiance pour ce bassin et cette strate, en tonnes par hectare : et $X\bar{x}$ est le stock moyen de carbone estimé de ce bassin et cette strate, en tonnes par hectare.

Plusieurs méthodes sont acceptables pour combiner les incertitudes dans plusieurs bassins ou strates. Les méthodes diffèrent en fonction du degré de différence de type entre les bassins ou les strates, et le degré de cohérence des méthodes d'échantillonnage utilisées dans les différents bassins et strates. Les bassins devraient être indépendants et les bassins devraient être techniquement séparés spatialement. Par exemple, la biomasse sur site et le carbone piégé dans les produits ligneux sont des bassins distincts.

Des classes distinctes de la biomasse, telles que les arbres vivants et les arbres morts, devraient être combinées pour estimer le stock de carbone de la biomasse.

Si l'inventaire est stratifié, l'incertitude est réduite par rapport au même nombre de parcelles dans un échantillon aléatoire simple. Pour calculer l'incertitude d'un inventaire stratifié, l'incertitude est calculée pour chaque strate, puis les incertitudes sont pondérées et combinées. Des informations détaillées pour calculer l'incertitude d'un inventaire stratifié n'entrent pas dans le cadre de ce manuel. Pour en savoir plus sur la façon de procéder, consulter un manuel de mesures forestières comme Avery et Burkhart (1994) ou un livre sur les statistiques. Il est à noter que les incertitudes habituelles dans les inventaires forestiers sont généralement pondérées par le nombre d'unités d'échantillons dans chaque strate ou superficie, plutôt que par le nombre de tonnes dans chaque strate. Consulter également un livre sur les statistiques pour l'échantillonnage apparié.

Si la variation du stock de carbone est calculée entre un échantillon aléatoire simple et un autre échantillon mesuré ultérieurement, cette variation est calculée en tant que la différence entre les moyennes. Les méthodes pour calculer la confiance de la différence des moyennes ne sont pas les mêmes si des parcelles permanentes ou des parcelles temporaires sont utilisées, et sont présentées dans nombre de livres sur les statistiques. L'estimation de la variation est plus précise pour les parcelles permanentes que les parcelles temporaires – pour les parcelles permanentes, la valeur de la covariance est soustraite dans l'estimation de l'erreur standard.

4.6.6 Propagation d'erreur

Si l'incertitude pour une estimation combinée de puits ou d'émissions provenant de plusieurs bassins indépendants est calculée, notamment si les différents bassins sont mesurés en suivant la méthodologie de niveaux différents de la CCNUCC (des facteurs de Niveau 1 pour les arbustes et les sols forestiers, et des mesures de Niveau 3 pour les arbres vivants, par exemple), l'incertitude combinée de la variation estimée peut être calculée avec l'équation 5.2.2 des *Recommandations en matière de bonnes pratiques pour l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie du GIEC (GPG-UTCATF)* (2003) :

$$U_E = \sqrt{\frac{(U_1 + E_1)^2 + (U_2 + E_2)^2 + \dots + (U_n + E_n)^2}{|E_1 + E_2 + \dots + E_n|}}$$

où UE est l'incertitude combinée en pourcentage pour la somme des variations dans tous les bassins 1 à n, en tonnes ; Un est l'incertitude en pourcentage pour le bassin n ; et En est l'émission ou l'absorption pour la strate, pour le bassin n, en tonnes.

4.7 VÉRIFICATION DES DONNÉES

4.7.1 Nettoyage des données, vérification et normes d'exactitude

La qualité des données est primordiale. Si les données de terrain contiennent des erreurs substantielles, tout l'inventaire pourrait être sans valeur. La conception de l'inventaire, la formation des techniciens de terrain et la gestion des équipes sur le terrain sont les fondements de la qualité des données. Quelle que soit la solidité des fondements, les données doivent être vérifiées minutieusement avant de calculer les variations de stocks. Cela inclut vérifier s'il ne manque pas de données et si certaines valeurs sont peu plausibles. Comme mentionné plus haut, si une erreur de donnée ne peut pas être corrigée de manière fiable, la parcelle erronée devrait être exclue des calculs de variation des stocks.

4.7.2 Archiver les données et les métadonnées

Pour recalculer les variations des stocks de carbone dans le temps, les données d'un inventaire doivent être sauvegardées afin de pouvoir les récupérer à une date ultérieure. Les méthodes pour mesurer, nettoyer les données et faire des modifications ou des calculs doivent être clairement spécifiées pour renforcer la confiance des utilisateurs ultérieurs et garantir que les mesures et calculs subséquents sont comparables aux données antérieures. C'est également important pour respecter les principes de TACCC du GIEC.

Les métadonnées décrivent comment les données sont collectées et ce qu'elles représentent. Les aspects essentiels des métadonnées d'un inventaire forestier sont les protocoles utilisés pour les mesures directes sur le terrain, ainsi que les méthodologies d'échantillonnage sous-jacentes appliquées (la conception de l'échantillon, la délimitation de la superficie de la population de l'échantillon).

L'archivage correct et cohérent des données et des métadonnées qui y sont liées représente une étape importante et nécessaire dans un inventaire car il améliore l'efficacité des inventaires futurs. Cependant, peu de temps est souvent consacré à ces activités. Dans l'idéal, des gestionnaires de données professionnels devraient être consultés pour la conception des formes de sauvegarde des données et l'utilisation de dispositifs de stockage des données. Pour le moins, il est important d'élaborer un plan sur la manière de stocker les données et les métadonnées, et de les protéger contre les modifications non autorisées ou les pertes. Les données devraient être stockées au moins dans deux endroits différents, et les informations sur les lieux de stockage des données, ce qu'elles contiennent et qui en contrôle l'accès devraient être facilement disponibles. Avoir plusieurs équipes participant à l'analyse des données maintient la sensibilisation à ces données et leurs utilisations adéquates. De plus, la transmission de la mémoire institutionnelle augmentera probablement de ce fait. Une utilisation relativement fréquente des données assure le transfert des données dans de nouveaux stockages et sous de nouveaux formats multimédias de récupération et de systèmes de traitement, au fur et à mesure de l'adoption de nouveaux équipements et logiciels. Ce point est particulièrement important étant donné les longues périodes concernant la MVN de la REDD+.

4.7.3 Analyse des données et notifications

Les notifications typiques des inventaires de carbone forestier incluent ce qui suit :

- Calculs de la biomasse et des stocks de carbone forestier, souvent avec des notifications par bassin et par strate ;
- Calculs des variations de stocks dans le temps ;
- Inventaires du bois d'œuvre, ou au moins du volume ligneux dans les arbres vivants ; et
- Notifications des incertitudes dans tous les bassins et toutes les strates.

Au fil du temps, les inventaires forestiers deviennent un regard irremplaçable sur le passé. L'utilisation initiale d'un inventaire peut simplement être de mesurer le volume du bois d'œuvre ou d'un stock de carbone, ou de commencer à estimer les variations de stocks de carbone. Selon les paramètres utilisés, ils peuvent aussi contribuer à l'étude de dynamiques supplémentaires. Cependant, puisque des mesures répétées deviennent des archives, la valeur de ces données augmentera. De nouveaux besoins et de nouvelles questions apparaissent et un historique bien documenté des données peut ouvrir une fenêtre sur les conditions ou les changements passés, et fournir un moyen d'évaluer ces changements dans le temps sans avoir à attendre des années ou des décennies pour de nouvelles mesures. Il est impossible

de prédire les questions qui deviendront importantes dans l'avenir, et l'expérience montre qu'un inventaire bien maintenu sera probablement utile à bien des égards.

4.8 CONSOLIDER LES ENSEMBLES DE DONNÉES D'INVENTAIRE

Compte tenu des contraintes en matière de ressources, il peut être nécessaire, lors des premières phases de la comptabilisation nationale REDD+, avant la mise en place d'un inventaire forestier national, d'élaborer des estimations à partir d'ensembles de données existants, (par ex., à partir d'inventaires forestiers commerciaux, de projets REDD+, de recherche sur l'environnement).

Même s'il n'est pas utile de collecter différents ensembles de données ayant recours aux mêmes méthodes d'échantillonnage, il y a un certain nombre d'aspects importants pour avoir la certitude que les données sont consolidées afin d'éviter ou de minimiser les biais dans la dérivation d'une estimation générale des stocks. L'aspect le plus important est de clairement définir la population représentée par un inventaire donné, c'est-à-dire que la superficie dans laquelle les échantillons ont été pris (avec une probabilité connue) est cartographiée et documentée. Ce point est aussi important que les données de la parcelle, sinon le type de population (superficie forestière) représentée par les données n'est pas claire.

Un second aspect essentiel est l'évaluation des données candidates afin d'obtenir un niveau de cohérence minimum acceptable dans les données et la qualité. Les évaluations importantes sont les suivantes :

- Des données brutes (mesures des parcelles avec des données individuelles sur les arbres) devraient être recherchées de préférence pour assurer la cohérence dans les procédures d'estimation (par ex., les équations allométriques utilisées) dans tous les inventaires, et permettre d'harmoniser les inventaires à des seuils de diamètre minimum communs.
- Toutes les données doivent avoir été collectées en ayant recours à des procédures minimum d'assurance de la qualité et de contrôle de la qualité (AQ/CQ), garantissant des erreurs de mesure et des biais d'échantillon minimum. (voir l'exposé sur les AQ/CQ dans ce même chapitre).
- Toutes les données doivent couvrir les mêmes bassins et utilisées les mêmes définitions pour les bassins, y compris les seuils de diamètre pour les mesures des arbres (dans certains cas, il peut être possible de reconstruire les distributions²⁶ de diamètre, mais les inventaires strictement commerciaux ne peuvent pas être réinterprétés en tant que biomasse totale de toutes les espèces).
- Tous les données doivent être collectées dans un délai maximum (par ex., une estimation en 2014 doit être dérivée à partir de données collectées 5 à 10 ans au maximum avant la date de la notification). Si des superficies importantes de la forêt sont à un premier stade de succession, il est recommandé d'accorder un délai plus court.
- Une taille minimum de 10 échantillons pour avoir la certitude d'avoir des estimations des moyennes et des variances stables et non biaisées (Westfall et al., 2011).

Pour dériver une estimation totale, les estimations individuelles de l'inventaire sont pondérées par leurs superficies (échantillonnées) de population respectives. Il en résulte une moyenne pondérée en fonction de la superficie, chaque superficie échantillonnée étant traitée comme une strate individuelle (Tableau 4.3). De cette façon, toute la population recherchée (par ex., la superficie forestière nationale) est

²⁶ Par exemple, estimés à partir des tables de peuplement selon Gillespie et al. (1992).

interprétée comme une sorte de puzzle, les pièces étant représentées par les superficies échantillonnées, chacune avec sa propre estimation. Il restera inévitablement des espaces qui n'auront pas été échantillonnés et qui peuvent être :

- Définis et exclus de la MNV, par exemple dans le cas de superficies reculées et inaccessibles où les changements anthropiques sont peu probables, la MNV portant alors sur les terres gérées ;
- Ignorés (par ex., s'ils représentent une superficie insignifiante), acceptant de ce fait un certain niveau de biais inconnu ;
- Délimités et échantillonnés avec un nouvel effort ciblé sur le terrain pour combler les lacunes ; ou
- Estimés à partir de prévisions dérivées des relations d'estimations connues avec des données auxiliaires (par ex., par des données géophysiques spatialement explicites, l'imagerie satellitaire) en ayant recours à des méthodes de régression ou des voisins les plus proches (voir, par exemple McRoberts et al., 2007).

TABLEAU 4.3 : EXEMPLE D'UNE MOYENNE PONDÉRÉE DE LA SUPERFICIE AVEC CHAQUE SUPERFICIE ÉCHANTILLONNÉE TRAITÉE COMME UNE STRATE INDIVIDUELLE.

Inventaire	Superficie de la population échantillon (ha)	Estimation (moyenne tCO ₂ /ha biomasse aérienne vivante)	Erreur standard (moyenne tCO ₂ /ha biomasse aérienne vivante)
A	10.000	150	10
B	5.000	125	50
C	1.000	200	20
X (non échantillonné)	10.000	130 (prévision)	60 (erreur de prévision du modèle)
TOTAL	26.000	139	81

L'incertitude dans l'ensemble de l'estimation est dérivée en propageant les erreurs au niveau de l'inventaire, comme pour un échantillon stratifié. Si une estimation fondée sur la prévision est affectée à une superficie non échantillonnée, l'erreur de la prévision devrait être incluse (par ex., la racine de l'erreur quadratique moyenne de la prévision ou de l'observation, en la comparant à un ensemble de données de validation), ainsi que toute erreur concernant l'estimation de la ou des variables indépendantes (Tableau 4.2).

Il est important de noter que cette démarche, visant à construire un inventaire national à partir d'ensembles de données à plus petite échelle (par ex., des inventaires de projets REDD), encourage également la participation de plusieurs parties prenantes. En ayant recours à des informations provenant d'ensembles de données à plusieurs échelles, la valeur des données collectées par le biais de la MNV au niveau de projets est reconnue, et les projets peuvent être menés à contribuer et à participer à la MNV nationale ou juridictionnelle.

4.9 MÉTHODE DES GAINS ET DES PERTES

Il est difficile d'estimer des changements comparativement « rares » et peu importants dans la biomasse répartis à travers un vaste paysage, comme les changements liés à des activités d'extraction du bois d'œuvre par coupe sélective, en particulier lorsque l'objectif vise à résoudre ces changements, même avec des niveaux modestes de signification statistique. Les méthodes d'échantillonnage fondées sur la probabilité, même avec des parcelles permanentes (qui permettent d'avoir une plus grande résolution des changements, et sont particulièrement utiles pour surveiller la croissance des forêts), pourraient typiquement exiger des intensités d'échantillon prohibitifs si la méthode de variation des stocks est utilisée.

Une approche plus efficace pour estimer les petites variations par rapport à la taille du stock consiste à se concentrer directement sur la mesure des flux en provenance et à destination du stock (soit la méthode des gains et des pertes). Tel que mentionné au Chapitre 3, outre la méthode de variation des stocks, le GIEC reconnaît les gains et les pertes comme une autre méthode pour estimer les variations de carbone (GIEC, 2006).

Les flux typiques (les puits et les sources) suivis par une méthode des gains et des pertes pourraient inclure :

- La séquestration liée à la croissance de la forêt ;
- Les émissions provenant de la mortalité naturelle (liées à la concurrence et la sénescence) et les perturbations (la mortalité attribuable aux vents, aux feux, à des maladies) ; et
- Les émissions résultant de prélèvements de bois attribuables à l'exploitation forestière et à la collecte de bois de chauffe.

Cette dernière source d'émissions, liées à des prélèvements de bois anthropiques, nécessite un échantillonnage ciblé sur le terrain des superficies sujettes à des activités d'extraction, ou d'avoir des informations fiables sur les prélèvement de bois à partir desquelles les émissions liées aux récoltes peuvent être estimées. Des progrès récents ont appliqué cette méthode pour estimer les impacts de l'exploitation forestière par Griscom *et al.* (2014) et Pearson *et al.* (2014). Il reste de nombreux défis, notamment en ce qui concerne l'exploitation forestière de subsistance et l'exploitation illicite, qui ne sont évidemment pas faciles à situer et d'accès difficile (pour l'échantillonnage ciblé sur le terrain), ou pour lesquelles il n'existe pas d'estimations fiables et complètes des prélèvements de bois. Les approches par télédétection n'ont pas encore obtenu une résolution suffisante de la variation des stocks pour être valables pour l'estimation directe des émissions liées à la dégradation, bien qu'elles aient réussi à identifier les superficies sujettes à la dégradation (Souza *et al.*, 2005) et qu'elles pourraient être utilisées de concert avec les méthodes basées sur le terrain, pour cibler l'échantillonnage et mettre à l'échelle les estimations des émissions. Les technologies émergentes en matière de télédétection sont abordées au Chapitre 5.

4.10 RÉFÉRENCES

Inventaire forestier, conception et statistiques de l'échantillonnage

Avery, T.E., and H. E. Burkhart. 2002. *Forest Measurements*. Fifth edition. New York, NY. McGraw-Hill, Inc.

Aldred, A.H. and I.S. Alemdag. 1988. *Guidelines for Forest Biomass Inventory*. Information Report PI-X-77. Canadian Forestry Service, Petawawa National Forestry Institute. 134 pp

Cochran, W.G. 1977. *Sampling techniques*. 3rd ed. John Wiley and Sons. New York, NY, USA.

- Diaz, D. and M. Delaney. 2011. Carbon Stock Assessment Guidance: Inventory and Monitoring Procedures. In: Building Forest Carbon Projects, Johannes, E. and J. Olander, eds. Washington, DC, USA. Forest Trends.
- Dietz, J., and S. Kuyah. 2011. Guidelines for establishing regional allometric equations for biomass estimation through destructive sampling. Global Environment Facility, Carbon Benefits Project: Modelling, Measurement and Monitoring. Nairobi, Kenya. World Agroforestry Center (ICRAF). Available at: <http://www.goes.msu.edu/cbp/allometry.pdf>.
- Ducey, M.J., J.H. Gove, and H.T. Valentine. 2004. A Walkthrough Solution to the Boundary Overlap Problem. *Forest Science* 50: 427-435
- Grosenbaugh, L. and W. Stover. 1957. Point-sampling compared with plot-sampling in southeast Texas. *Forest Science* 3: 2-14.
- Husch, B., T. Beers and J. Kershaw. 2002. Forest mensuration. 4th edition. John Wiley & Sons, Inc. 456 pp.
- Iles, K. 2003. A Sampler of Inventory Topics. Kim Iles and Associates, Ltd.
- Kohl, M. 1993. Forest Inventory. Chapter 5 in Pancel, L., ed. Tropical forestry handbook. Berlin, Germany, Springer-Verlag. pp. 243-332.
- McRoberts R.E., E.O. Tomppo, A.O. Finley and J. Heikkinen. 2007. Estimating areal means and variances of forest attributes using the k-nearest neighbors technique and satellite imagery. *Remote Sensing Environment* 111(4): 466–480
- Schreuder, H.T.; R. Ernst and H. Ramirez-Maldonado. 2004. Statistical techniques for sampling and monitoring natural resources. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-126. Fort Collins, CO, USA. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 111 p.
- Schreuder, H., T. Gregoire and G. Wood. 1993. Sampling Methods for Multiresource Forest Inventory. John Wiley & Sons, Inc. 464 pp.
- Schreuder, H., S. Banyard and G. Brink. 1987. Comparison of three sampling methods in estimating stand parameters for a tropical forest. *Forest Ecology and Management* 21:119-127.
- Shiver, B. and B. Borders. 1996. Sampling Techniques for Forest Resource Inventory. John Wiley & Sons, Inc. 356 pp.
- Smith, G., R. Bruce, A. McCarl, L. Changsheng, J. H. Reynolds, R. Hammerschlag, R. L. Sass, W. J. Parton, S. M. Ogle, K. Paustian, J. Holtkamp, and W. Barbour. 2007. Harnessing farms and forests in the low-carbon economy: how to create, measure, and verify greenhouse gas offsets. Edited by Zach Willey and Bill Chameides. Raleigh, NC, USA. Duke University Press, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. 229p.
- Souza, Carlos M. Jr., D.A. Roberts and M.A. Cochrane. 2005. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. *Remote Sensing Environment* 98: 329-343
- Westfall, J.A., P.L. Patterson and J.W. Coulston. 2011. Post-stratified estimation: within-strata and total sample size recommendations. *Canadian Journal of Forest Research* 41: 1130-1139.
- FAO. 2004. National Forest Inventory Field Manual Template. Forest Resources Assessment Programme Working Paper 94/E, Rome.

Échantillonnage et mesure du bois mort au sol

- Brown, J. K. 1974. Handbook for Inventorying Downed Woody Material. General technical report INT-16. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Harmon, M.E. and J. Sexton. 1996. Guidelines for measurements of wood detritus in forest ecosystems. US LTER Publication No. 20. US LTER Network Office, University of Washington, Seattle, WA, USA.
- Van Wagner, C.E. 1968. The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science* 14: 20-26.
- Warren, W.G. and P.F. Olsen. 1964. A line intersect technique for assessing logging waste. *Forest Science* 10: 267-276.
- Documents de synthèse sur l'inventaire forestier du carbone et la MNV de l'échantillonnage basé sur le terrain en matière de REDD+*
- Gillespie A.J.R., S. Brown and A.E. Lugo. 1992. Tropical forest biomass estimation from truncated stand tables. *Forest Ecology and Management* 48:69-88.
- GFOI. 2013. Integrating remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative: Pub: Group on Earth Observations. Geneva, Switzerland.
- GOFC-GOLD. 2013. 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. GOFC-GOLD Report version COP19-2, (GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University, The Netherlands).
- IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Hayama, Japan. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama, Japan. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- MacDicken, K. G. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock.
- Pearson, T., S. Walker and S. Brown. 2005. Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects. Winrock International and the World Bank Biocarbon Fund. 57pp. Available at: http://www.winrock.org/ecosystems/files/winrock-biocarbon_fund_sourcebook-compressed.pdf.
- Pearson, T., S. Brown and R. Birdsey. 2005. Measurement Guidelines for the Sequestration of Forest Carbon. United States Department of Agriculture. General Technical Report NRS-18. 47 pp. Available at: www.nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_nrs18.pdf.
- Smith, G., R. Bruce, A. McCarl, L. Changsheng, J. H. Reynolds, R. Hammerschlag, R. L. Sass, W. J. Parton, S. M. Ogle, K. Paustian, J. Holtkamp, and W. Barbour. 2007. Harnessing farms and forests in the low-carbon economy: how to create, measure, and verify greenhouse gas offsets. Edited by Zach Willey and Bill Chameides. Raleigh, NC. Duke University Press, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. 229 p.

Approches des gains et des pertes pour estimer les impacts de l'exploitation forestière

Griscom, B., P. Ellis and F.E. Putz. 2014. Carbon emissions performance of commercial logging in East Kalimantan, Indonesia. *Global Change Biology*. 20: 923–937.

Pearson, T.R.H., S. Brown and F.M. Casarim. 2014. Carbon emissions from tropical forest degradation caused by logging. *Environmental Research Letters* 9: 034017-034028.

4.11 RESSOURCES SÉLECTIONNÉES

Module de mesure et de surveillance du carbone (*Carbon Measurement and Monitoring (CMM) Module*) du programme Diminuer les émissions dans les forêts d'Asie (*Lowering Emissions in Asia's Forests - LEAF*) soutenu par l'USAID. Disponible sur le site : <http://www.leafasia.org>

5.0 TÉLÉDÉTECTION DU CHANGEMENT DE LA COUVERTURE TERRESTRE

Auteurs : *Marc Steininger et Jennifer Hewson*

5.1 INTRODUCTION

Ce chapitre porte sur l'application des méthodes basées sur la télédétection pour surveiller la couverture terrestre et le changement. La Section 3.3, *Étapes de l'inventaire et la notification*, de ce manuel souligne la séquence des étapes requises pour générer un inventaire national des gaz à effet de serre (GES). Ce chapitre concerne les activités mises en évidence à la page suivante.

ÉTAPE 0 : Établir des dispositifs institutionnels.



ÉTAPE 1 : Estimer les superficies terrestres dans chaque catégorie d'occupation des terres, par stratification ou une autre méthode, pour la durée requise, pour les superficies représentées dans les GPG-UTCATF.



ÉTAPE 2 : Faire une analyse des grandes catégories (KCA) pour les catégories pertinentes. Dans les catégories jugées essentielles, évaluer les gaz non-CO₂ et les bassins de carbone importants, et établir la priorité en terme de choix méthodologique.



ÉTAPE 3 : Préparer un inventaire du carbone forestier afin de générer des facteurs d'émission (EF), si la méthode des gains et des pertes est utilisée ; s'assurant que les exigences en matière de facteurs d'émission et d'absorption sont satisfaites. Les EF représentent les coefficients qui quantifient les émissions/absorptions par unité de surface.



ÉTAPE 4 : Générer des données d'activités (AD) ; correspondant au Niveau déterminé. Les AD représentent l'étendue sur laquelle une activité humaine a lieu.



ÉTAPE 5 : Quantifier les émissions et absorptions ; en estimant l'incertitude dans chaque estimation. Les estimations des émissions et des absorptions représentent la multiplication des AD par les EF qui y sont liés.



ÉTAPE 6 : Notifier les estimations des émissions et des absorptions ; en utilisant les tableaux de notification et les fiches de travail, si nécessaire. Documenter/archiver les informations utilisées pour établir les estimations nationales des émissions et des absorptions, en suivant les instructions spécifiques à chaque catégorie/changement d'affectation des terres, bassin de carbone et source non-CO₂.



ÉTAPE 7 : Faire une vérification et mettre en place des contrôles de la qualité ; y compris des examens par les pairs des estimations des émissions en suivant les recommandations spécifiques pour chaque utilisation des terres, les bassins et les gaz non-CO₂.

Dans le cadre des activités soulignées ci-dessus, ce chapitre porte sur ce qui suit:

- Le contexte des utilisations des terres au titre de la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC) ;
- Un bref examen de la télédétection pour la surveillance des forêts ;
- Les étapes générales et les besoins à envisager pour l'élaboration d'un système de surveillance forestière basé sur la télédétection ; et
- Un aperçu des domaines émergents dans la recherche basée sur la télédétection pour la surveillance forestière.

La télédétection, en particulier les approches basées sur les satellites, est le choix le plus pratique pour surveiller la couverture terrestre sur de grandes surfaces. Ce chapitre met l'accent sur la télédétection optique par satellite de la déforestation. La télédétection optique par satellite est le type de télédétection le plus largement utilisé pour cette application, et la déforestation représente la plus grande source d'émissions GES liées au secteur de l'utilisation des terres dans la plupart des pays abritant des forêts tropicales. Un autre usage important de la télédétection dans le système national de surveillance des forêts (NFMS) vise à produire une carte forestière de référence. Elle est nécessaire pour définir la superficie forestière nationale au début d'une période de notification, et dans laquelle les stocks de carbone et les changements forestiers seront surveillés. Enfin, les données d'images télédetectées représentent un intrant clé pour la stratification des types de forêts et peuvent servir à caractériser la saisonnalité du couvert des feuilles, les inondations et les variations spectrales attribuables à des structures de couvert très différentes. La stratification devrait chercher à identifier les types de forêts avec des niveaux de biomasse potentiellement très différents afin d'aider les stratégies d'échantillonnage sur le terrain (voir le Chapitre 4). D'autres strates forestières pourraient être intéressantes pour la gestion nationale et les objectifs de plantation, et ces activités de stratification peuvent être facilitées par le recours à des données d'images télédetectées.

Les Recommandations en matière de bonnes pratiques pour l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie (GPG-UTCATF) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) est une ressource essentielle pour les pays. Cependant, elles fournissent des informations limitées sur les méthodes propres à la télédétection de l'utilisation des terres. Les informations dans ce chapitre résument les questions en matière de télédétection pour un NFMS. Tel que mentionné au Chapitre 1, d'autres sources valables incluent le *Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics (GOFC-GOLD, 2013) Sourcebook* (Recueil sur l'Observation mondiale des dynamiques de couverture forestière et terrestre) et la *Global Forest Observation Initiative (GFOI) Methods and Guidance Documentation (MGD)* (GFOI, 2013) (Documentation sur les méthodes et recommandations de l'Initiative mondiale de l'Observation des forêts) et le *Forestry and Forest Products Research Institute's REDD-plus CookBook* (Guide REDD+ de l'Institut de recherche pour la foresterie et les produits forestiers (Hirata et al., 2012). Les liens vers d'autres ressources pour la formation en matière de télédétection figurent à la Section 5.8.

5.2 UTILISATIONS DES TERRES ET CATÉGORIES DANS LA CCNUCC

Le secteur de UTCATF, dans le contexte de la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC) fait référence au changement ou à la persistance de l'affectation des terres parmi les six utilisations universelles définies par le GIEC : les terres forestières, les terres cultivées, les prairies, les zones humides, les établissements et les autres terres (GIEC 2006, Vol. 4 ; Chapitre 2). Les types possibles de changement ou de persistance en matière d'utilisation des terres sont appelés des

Catégories. Des sous-catégories peuvent être définies au sein d'une catégorie de manière à délimiter plus précisément les changements et les sources d'émissions.

Pour l'utilisation des terres, le GIEC reconnaît deux méthodes permettant d'estimer les émissions de carbone : la méthode de variation des stocks²⁷ et la méthode des gains et des pertes (GIEC, 2003), comme l'indique le Chapitre 3. Le présent chapitre traite de la télédétection du changement de l'affectation des terres dans le contexte de la méthode des gains et des pertes, au titre de laquelle les estimations du changement entre les utilisations est un intrant spécifique pour les estimations des émissions. Cependant, les techniques de télédétection et les différents points discutés dans ce chapitre concernent également l'application à la méthode de variation des stocks, en particulier dans la stratification des forêts pour l'échantillonnage sur le terrain.

Les données d'activités (AD), ou l'étendue sur laquelle une activité humaine intervient, sont les données sur la superficie d'une Catégorie pouvant résulter en émissions ou absorptions de GES au cours d'une période donnée. Telles qu'illustrées au Chapitre 3 (Figure 3.2), les AD sont combinées aux facteurs d'émissions (EF). Les EF représentent les coefficients qui quantifient les émissions/absorptions par unité de surface, fournissant de ce fait les données sur les différences dans les stocks de carbone avant et après l'intervention du changement de couverture forestière. Multiplier les AD, l'étendue sur laquelle une activité humaine intervient, par les EF, les coefficients quantifiant les émissions/absorptions par unité de surface, donne les émissions GES estimées qui y sont liées pour chaque catégorie.

Le GIEC (2006) décrit les trois méthodes générales, à ne pas confondre avec les niveaux, pour la représentation de l'utilisation des terres (voir le Chapitre 3). Ces méthodes, énumérées dans l'Encadré 5.I, sont utilisées pour estimer les AD pour chaque Catégorie :

ENCADRE 5.I : METHODES

Méthode 1 : Superficie nette de chaque utilisation des terres rapportée à différentes périodes, sans toutefois suivre les conversions spécifiques entre elles

Méthode 2 : Suivi des conversions des utilisations des terres, sans que ce soit toutefois sous forme cartographiée

Méthode 3 : Suivi de la conversions des utilisations des terres, sous forme cartographiée

La méthode 3 donne le plus d'informations et peut être appliquée pour la Réduction des émissions résultant de la déforestation et de la dégradation des forêts, plus le rôle de la conservation, de la gestion durable des forêts et de l'accroissement des stocks forestiers dans les pays en développement (REDD+). Cependant, il est possible d'avoir recours à une combinaison des trois méthodes entre les régions ou les catégories dans un pays. Des études de cas de pays ayant utilisé les trois méthodes différentes figurent à l'Annexe 2A.I des GPG-UTCATF. Par exemple, les données existantes disponibles pour les Pampas d'Argentine étaient suffisantes pour les méthodes 1 ou 2. Les données du recensement de l'agriculture, documentant la superficie de chaque utilisation des terres dans le temps et avec une couverture complète, existaient pour toute la région, ce qui permettait d'avoir recours à la méthode 1. Des

²⁷ Les GPG-UTCATF (GIEC, 2003) utilisent le terme Variation des stocks, alors que les Recommandations de 2006 emploient Différence des stocks (GIEC, 2006). En absence de décision pour les Parties non visées à l'Annexe I au sujet de l'utilisation des Lignes directrices 2006, le premier terme est utilisé dans l'ensemble de ce manuel, même si les Lignes directrices 2006 sont plus à jour et ont recours au second terme.

données existaient sur le changement dans le couvert forestier, documentant les transformations des prairies naturelles en pâturages ou terres cultivées, permettant ainsi d'avoir recours à la méthode 2. En Australie, la création d'une carte multitemporelle du changement dans le couvert forestier, ainsi que dans certaines sous-catégories avaient permis le recours à la méthode 3 pour ces catégories.

Il est important de tenir compte des caractéristiques des paramètres de l'utilisation des terres qui seront surveillés et de l'implication des coûts pour une cartographie complète par rapport à une méthode fondée sur l'échantillonnage. Même si la télédétection par satellite est un outil valable pour surveiller plusieurs paramètres de l'utilisation des terres, certaines catégories d'utilisation des terres (par ex., la dégradation des forêts), ou certaines régions (par ex., les régions montagneuses) pourraient être surveillées plus efficacement par les méthodes de collecte de données par voie aérienne ou basées sur le terrain. Les coûts liés à ces approches pourraient être significatifs et pourraient donc nécessiter une approche basée sur l'échantillonnage.

5.2.1 Définition des forêts nationales et autres classes

Les Lignes directrices 2006 du GIEC pour les Inventaires nationaux des gaz à effet de serre, regroupaient le secteur UTCATF et le secteur de l'Agriculture dans l'Agriculture, la foresterie et autre utilisation des terres (AFOLU) dans le Volume 4 (GIEC 2006 ; voir le Chapitre 3). Dans l'ensemble de ce chapitre, les définitions sont adaptées des Lignes directrices 2006 du GIEC et des GPG-UTCATF 2003, sauf disposition contraire. Même si les pays sont tenus de notifier les utilisations des terres, la surveillance par satellite est mieux adaptée à la détection de la couverture forestière, puisqu'elle est basée sur les relations entre les spectres observés sur les images et les caractéristiques structurelles du sol et de la végétation couvrant les terres. L'utilisation des terres, toutefois, peut être déduite habituellement du contexte local et des connaissances générales sur la région.

Définition de la forêt

La définition nationale est une étape fondamentale dans l'élaboration d'un système MNV. Les pays disposent d'une certaine souplesse pour définir le terme forêt, mais ils sont limités par certains critères. La définition doit être élaborée à la fois à partir de la structure physique de la végétation présente et potentielle, et de la manière selon laquelle les terres sont utilisées. Les critères physiques pour la forêt et l'éventail du choix qu'ont les pays pour leur définition figurent dans l'Encadré 5.2, ci-dessous.

ENCADRE 5.2 : DEFINITION DES CRITERES DE LA FORET

La possibilité d'atteindre une hauteur de couvert minimum à maturité de 2 à 5 m ;

Un couvert arboré minimum de 10 à 30 pour cent ; et

Une taille minimum des îlots boisés de 0,05 à 1 ha .

Le couvert arboré n'est pas la même chose que le couvert des feuilles, en ce que le couvert arboré est défini par la périphérie du couvert, alors que le couvert des feuilles est le pourcentage de feuilles par rapport aux trouées dans le couvert. Un site est défini comme étant une forêt s'il répond aux critères susmentionnés et si sa principale utilisation est présumée liée à la forêt. Par exemple, bien qu'un parc urbain ou une jachère agricole puissent répondre aux critères physiques de la forêt, ces superficies sont à usage urbain et agricole (soit des utilisations non forestières), ils appartiennent donc à une catégorie de non-forêt. La jachère agricole est un exemple particulièrement important pour beaucoup de pays tropicaux, dans la mesure où une grande partie de leurs terres sont à un stade quelconque de jachère. Même si en termes de structure, ce sont de jeunes « forêts » en régénération, elles font partie d'un

cycle agricole sur une période de temps définie et devraient être défrichées à nouveau à la fin de cette période. Elles font donc partie d'une utilisation non forestière. Envisager les jachères comme des non-forêts facilitent grandement les notifications sur la déforestation et les émissions GES qui y sont liées, puisqu'un pays n'aurait pas à estimer les taux d'apparition de nouvelles jachères et leurs nouvelles autorisations lors de la notification des changements sur la superficie forestière²⁸.

Selon le rapport du GIEC intitulé Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types (Définition et options méthodologiques envisageables pour inventorier les émissions résultant de la dégradation des forêts et la destruction d'autres types de végétation directement imputables à l'homme), la dégradation de la forêt pourrait être définie comme étant « une perte à long terme directement imputable à l'homme (persistant pendant X années ou plus) d'au moins Y pour cent de stocks de carbone forestier [et de valeurs forestières] depuis le temps T et ne qualifiant pas comme étant une déforestation ou une activité prise en compte au titre de l'Article 3.4 du Protocole de Kyoto » (GIEC 2003). Par exemple, une coupe sélective pourrait avoir lieu sur un site défini comme étant une forêt. Si le couvert arboré n'est pas suffisamment réduit pour passer en dessous du seuil de la définition de la forêt, le site reste alors une forêt, mais il aura subi une dégradation. Inversement, un site qui a été exploité et est passé en dessous de ce seuil serait classé en tant que déforestation. Cependant, outre le changement dans la structure physique, l'utilisation des terres peut également être modifiée. Si le site est toujours sous utilisation forestière (par ex., une concession forestière sujette à quelques cycles de coupe sélective), il devrait être défini comme une forêt, en dépit du changement structurel. Dans ce cas, il y a des pertes de carbone forestier dans la classe des « forêts restant des forêts ». Une sous-classe sera probablement nécessaire pour la « forêt intacte devenant forêt dégradée », et cette sous-classe devrait être échantillonnée afin d'estimer les variations des stocks de carbone. Les GFOI MGD donnent des informations supplémentaires dans le Chapitre 2.2.2.

Carte forestière de référence, stratification et estimation des changements

Le développement de la cartographie forestière pour les activités de la REDD+ peut être envisagé comme un ensemble de trois composantes : la création d'une carte forestière de référence, la stratification des forêts correspondant à l'étendue de la carte et l'estimation des changement dans les limites de la carte. Il est également préférable de mener ces activités l'une après l'autre ; tenter de les faire toutes au cours du même processus pourrait ralentir les processus et les rendre trop complexes.

La carte forestière de référence devrait être la première chose à créer, puisqu'elle définit la portée géographique permettant de mener les deux autres activités. L'élaboration de la carte forestière de référence devrait refléter la définition nationale de la forêt et avoir recours à autant d'informations que possible, des photos aériennes, une imagerie à très haute résolution et des connaissances d'experts afin d'interpréter les images télédéTECTées. Par exemple, si les jachères agricoles sont exclues de la définition nationale, des photos aériennes ou une imagerie à très haute résolution pourraient être obtenues sur des superficies échantillons afin de permettre aux analystes de se former à l'interprétation des jachères par rapport à la forêt mature dans différentes parties d'un pays. Il s'agit d'une étape critique pour les analystes afin qu'ils puissent se former et évaluer correctement les classifications des forêts pendant la période de référence. Parmi d'autres caractéristiques que les analystes devraient examiner attentivement, figurent la gradation à une végétation de plus petite taille passant en dessous d'un seuil dans une définition nationale de la forêt, comme par exemple, les arbustes de montagne ou la végétation dans les couverts ouverts, tels que les espaces boisés ouverts.

²⁸ Des exemples de définitions nationales des forêts figurent sur le site : <http://cdm.unfccc.int/DNA/cdf/index.html>

La carte forestière de référence devrait être basée sur les données satellitaires dont les dates sont les plus proches de la date du début d'une période de surveillance. Ce pourrait être la date du lancement des activités REDD+, et par conséquent elle définit l'étendue au titre de laquelle des crédits REDD+ peuvent être possibles et les lieux où la surveillance est nécessaire. Ce pourrait aussi être la date du début d'une analyse historique à utiliser pour estimer le Niveau des émissions de référence pour les forêts ou le Niveau de référence pour les forêts (FREL/FRL ; voir le Chapitre 2). Dans ce dernier cas, elle devrait sans doute être actualisée afin de définir l'étendue de la forêt au début de la mise en place des activités REDD+. Des images satellitaires pour une date exacte peuvent être difficiles à obtenir en raison de la couverture nuageuse ou de lacunes dans la collecte des données. Par conséquent, les dates utilisées pour la carte de référence peuvent varier. Une approche prudente est d'éviter d'utiliser des images datant d'avant la date de lancement, car elles pourraient inclure des forêts qui avaient été défrichées juste avant la date de lancement.

Une carte forestière de référence devrait contenir le moins de lacunes possibles dans les données ; des lacunes pourraient intervenir à cause de la couverture nuageuse, de problèmes liés aux signaux satellite, etc. Il pourrait falloir acquérir plusieurs images pour la même superficie et par conséquent, les analystes devront identifier une méthodologie adéquate pour analyser plusieurs images. Voir, par exemple, la Section 5.4.2. de ce manuel, ou la Section 3.5.2 des GFOI MGD (GFOI 2013) ; l'Étape 5.2 du Recueil GOFC-GOLD (Sourcebook, GOFC-GOLD 2013). La création d'une carte forestière de référence nécessitera un processus minutieux et itératif. En général, il faudra plusieurs itérations de l'analyse de l'image, suivies par des révisions par des experts et des parties prenantes, par exemple les gouvernements infranationaux et des personnes chargées de la mise en œuvre de projets REDD+. Il est important de communiquer une carte de référence finale aux parties prenantes et de répondre aux questions qu'elles pourraient avoir, car la carte peut créer un précédent important concernant les lieux où des activités REDD+ pourraient être ou ne pas être mises en place. Lorsque la carte forestière de référence est finalisée, toute superficie définie comme une forêt non gérée (voir le Chapitre 3) peut être omise afin de fournir une définition finale des lieux où la REDD+ peut être mise en œuvre et où la surveillance doit être faite.

La stratification des forêts à l'intérieur de la superficie de référence devrait être menée en coordination avec l'équipe de l'inventaire basée sur le terrain (voir le Chapitre 4), et sous les directives d'un expert statisticien. La stratification n'est pas obligatoire, bien qu'elle soit préconisée à titre de méthode pour réduire à la fois les coûts de l'étude sur le terrain et les incertitudes liées aux stocks de carbone, tel que mentionné au Chapitre 4. Même la création de quelques classes plus larges est très utile dans ce but. La stratification fondée sur l'imagerie satellitaire peut bénéficier de l'inclusion d'informations saisonnières, par exemple les endroits où les forêts à feuilles caduques pourraient avoir des niveaux de biomasse nettement inférieurs. Les informations saisonnières pourraient être obtenues à partir de données de résolution plus grossière, comme les images composites mensuelles de MODIS, ou à partir d'une imagerie à très haute résolution, si elles sont acquises pour des mois particuliers sans feuilles ou avec feuilles. D'autres caractéristiques souvent discernables à partir de données satellitaires sont les différences majeures dans les structures du couvert, telles que les forêts inondées, les forêts avec des lianes et les forêts de palmiers. La stratification peut également utiliser des données SIG accessoires, comme les données du climat, du sol et de l'élévation. Différentes strates potentielles peuvent être évaluées en les fusionnant à des données existantes sur les stocks de carbone, et les strates ayant peu de différence dans les stocks peuvent être combinées, aboutissant à un plus petit nombre total de strates. Si des données de terrain de ce type n'existent pas, des strates peuvent être créées en fonction des opinions d'experts en matière de types de forêt qui devraient avoir des niveaux de biomasse différents, puis ces dernières peuvent être recombinées ultérieurement, si les données de terrain ne concordent pas.

La création d'une carte forestière de référence facilite l'estimation du changement dans les forêts. Il existe de nombreuses approches pour estimer le changement dans les forêts. La Section 5.4.2. de ce manuel, la Section 3.5.2 des GFOI MGD (GFOI 2013) et l'Étape 5.2 du Recueil GOFC-GOLD (Sourcebook, GOFC-GOLD 2013) donnent des informations générales utiles sur l'éventail des approches et des méthodologies disponibles. Un élément important à prendre en compte est le type de changement à estimer. Pour le moins, une coupe à blanc (enlèvement de tous les arbres) devrait être estimée, puisque c'est la principale source des émissions pour nombre de pays. Une décision devrait également être prise au sujet de la taille du défrichement minimal à estimer. Même si l'inclusion de petits défrichements, soit moins de quelques hectares, peut potentiellement donner un rapport plus correct et plus élevé, le temps accordé et les ressources nécessaires peuvent être coûteux, et pourraient mener à une plus grande erreur de classification et ne pas représenter une source importante d'émissions.

La dégradation liée à l'exploitation forestière sélective est plus difficile à détecter et souvent ne peut l'être que pour des formes plus intensives et avec des données obtenues très peu de temps après cette exploitation. D'autres formes de dégradations, comme les feux sauvages, peuvent être envisagées. Encore une fois, elles ne doivent pas toutes être estimées lors du même processus. Par exemple, un pays pourrait d'abord produire une estimation des coupes forestières à blanc en utilisant une approche, puis avoir recours à une méthode différente, telle que l'échantillonnage de données de résolution supérieure, voire même des enquêtes ciblées sur le terrain, pour la dégradation.

Autres classes

Il peut être important de stratifier davantage les six grandes classes d'utilisation en sous-classes dans lesquelles les stocks de carbone varient de manière significative. Ce point devrait être évalué dans le cadre à la fois de l'Analyse des catégories clés (KCA) abordée au Chapitre 3 et du processus de la stratification forestière discutée dans le Chapitre 4. Inclure des sous-classes peut apporter des données très utiles aux stratégies et politiques de gestion nationales en matière de la REDD+. Cependant, les pays devraient avoir une solide justification pour inclure des sous-classes puisqu'elles nécessiteront des méthodologies consommant davantage de ressources. L'augmentation de l'exactitude attendue et l'utilité générale des estimations d'émissions devraient être clairement évaluées, et les pays devraient tenir compte du compromis qui existe habituellement entre la précision thématique d'une étude du changement d'affectation des terres et l'exactitude de l'estimation du changement (par ex., Mather, 1999 ; Foody, 2000). Les Tableaux 5.1 et 5.2 illustrent ce point ci-après. Le Tableau 5.1 est un exemple d'une matrice de changement du couvert forestier avec trois grandes catégories (forêt, forêt dégradée et non-forêt). Par contre, le Tableau 5.2 présente un exemple avec une plus grande précision thématique, au titre de laquelle les grandes catégories ont été divisées en sous-classes.

Les questions liées aux sous-classes sont assez différentes pour les forêts et les non-forêts. Pour les forêts, un pays mènera une stratification pour un inventaire forestier national. Elle peut être faite une fois, à la suite de la création de la carte forestière de référence, puisqu'il peut être supposé qu'il n'y aura pas de transitions parmi les types de végétation se produisant naturellement pendant les périodes de notification demandées. En revanche, des transitions entre les différentes utilisations des terres après la déforestation ont lieu sur des périodes plus courtes. La distinction spectrale de ces utilisations est souvent complexe, en particulier lorsqu'il est difficile de choisir la saison de l'imagerie utilisée pour l'analyse en raison d'une couverture nuageuse fréquente. Par exemple, les prairies gérées, les terres cultivées, les plantations et les jachères peuvent être difficiles à distinguer, selon la saison et le niveau de développement des cultures aux moments des acquisitions des images disponibles. Une fois de plus, une solide justification, relative à l'amélioration des estimations, est nécessaire pour justifier les tentatives d'inclure les transitions entre ces classes.

Explorer un processus progressif qui a recours à différentes méthodes et différents niveaux de détails pour les différents aspects surveillés pourrait être valable. Par exemple, une première étape pourrait

consister à produire une carte forestière de référence, avec des sous-classes forestières ayant des stocks de carbone très différents. La seconde étape porterait sur la production d'une carte d'un seule grande classe de déforestation existant n'importe où à l'intérieur de cette carte. En combinant les deux cartes, la déforestation peut être affectée à des sous-classes forestières différentes. Une troisième étape serait d'utiliser des échantillons aériens ou des données à très haute résolution pour estimer le pourcentage des sous-classes de non-forêt à la suite de la déforestation, ainsi que toute transition importante entre ces dernières.

Combiner des approches comme celles-ci peut donner toutes les estimations nécessaires permettant de réaliser une matrice complète du changement de la couverture forestière, sans exiger un processus très difficile de classification spectrale de toutes les transitions entre les sous-classes. C'est un domaine où les options sont nombreuses, et les opinions diffèrent beaucoup au sein de la communauté des chercheurs.

TABLEAU 5.1 : EXEMPLE D'UNE MATRICE DE CHANGEMENT D'AFFECTATION DES TERRES AVEC PEU DE CLASSES D'UTILISATION DES TERRES ET DE CATEGORIES DE CHANGEMENT.

La « Forêt » dans ce tableau est uniquement la forêt non dégradée. La « Non-forêt » inclut toutes les non-forêts, qu'elles soient naturelles ou anthropiques. Les valeurs en (a) sont en unités absolues, l'hectare par exemple, et en (b) elles sont en pourcentage. T1 et T2 représentent la première et la seconde périodes, référencées dans le GIEC en tant que « Classe initiale de l'utilisation des terres » et « Utilisation des terres pendant l'année de notification ». Les valeurs dans la Somme T1 et la Somme T2 représentent la superficie totale et le pourcentage de changement pour chaque classe. Les valeurs à l'intérieur de la matrice sont les superficies et le changement en pourcentage pour chaque catégorie de persistance ou de changement. Dans cet exemple, la déforestation brute plus la dégradation de la forêt est de 0,6 % (en ajoutant les valeurs 0,4 et 0,2 dans la première rangée de (b)).

		T2										
		a)	Forêt	Forêt dégradé e	Non-forêt	Somme T1	b)	Forêt	Forêt dégradé e	Non-forêt	% T1	
T1		Forêt	9.940	40	20	10.000	T1	Forêt	99,4	0,4	0,2	100
		Forêt dégradée	5	1.970	25	2.000		Forêt dégradée	0,3	98,5	1,3	100
		Non-forêt			4.000	4.000		Non-forêt		100,0	100	
		Somme T2	9.945	2.010	4.045			% T2	99,7	98,9	101,5	

TABLEAU 5.2 : EXEMPLE D'UNE MATRICE DE CHANGEMENT D'AFFECTATION DES TERRES AVEC DES CLASSES D'UTILISATION DES TERRES ET DES CATEGORIES DE CHANGEMENT PLUS PRECISES.

« Forêt » signifie ici la forêt intacte non dégradée, selon la définition nationale de la forêt. Prairie naturelle, Jachère, Terres cultivées et Pâturage représentent des classes de non-forêt. Les valeurs en (a) sont en unités absolues, par ex., en hectare, et en (b) elles sont en pourcentage. T1 et T2 représentent la première et la seconde périodes, référencées dans le GIEC en tant que « Classe initiale de l'utilisation des terres » et « Utilisation des terres pendant l'année de notification ». Les valeurs dans Somme T1 et Somme T2 représentent la superficie totale et le pourcentage de changement pour chaque classe. Les valeurs à l'intérieur de la matrice sont les superficies et le changement en pourcentage pour chaque type de catégorie. Dans cet exemple, la majorité des forêts se trouvent en basse altitude, la majorité de la déforestation (en jachère, terres cultivées et pâtures) et de la dégradation de la forêt ont également lieu en basse altitude. Un niveau élevé de rotation de l'utilisation des terres est aussi indiqué, par exemple, par les grandes superficies de changement de terres cultivées en jachères (200) ou en pâturage (100). La diminution de 12,5 % pour la jachère indique l'intensification de l'utilisation des terres à la suite du raccourcissement des cycles de jachère ou de l'augmentation des pâtures permanents.

L'augmentation de 35,1 % pour le pâturage indique une importance croissante de cette utilisation.

a)

		T2								
		Forêt de basse altitude	Forêt de montagne	Forêt de basse altitude dégradée	Forêt de montagne dégradée	Prairie naturelle	Jachère	Terres cultivées	Pâturage	Somme T1
T1	Forêt de basse altitude	7945		35			3	5	7	7995
	Forêt de montagne		1995		5		2	3		2005
	Forêt de basse altitude dégradée	5		1500			2	6	12	1525
	Forêt de montagne dégradée				470		1	4		475
	Prairie naturelle					993		3	4	1000
	Jachère						350	50	150	550
	Terres cultivées						200	700	100	1000
	Pâturage						50		1400	1450
	Somme T2	7950	1995	1535	475	993	608	771	1673	

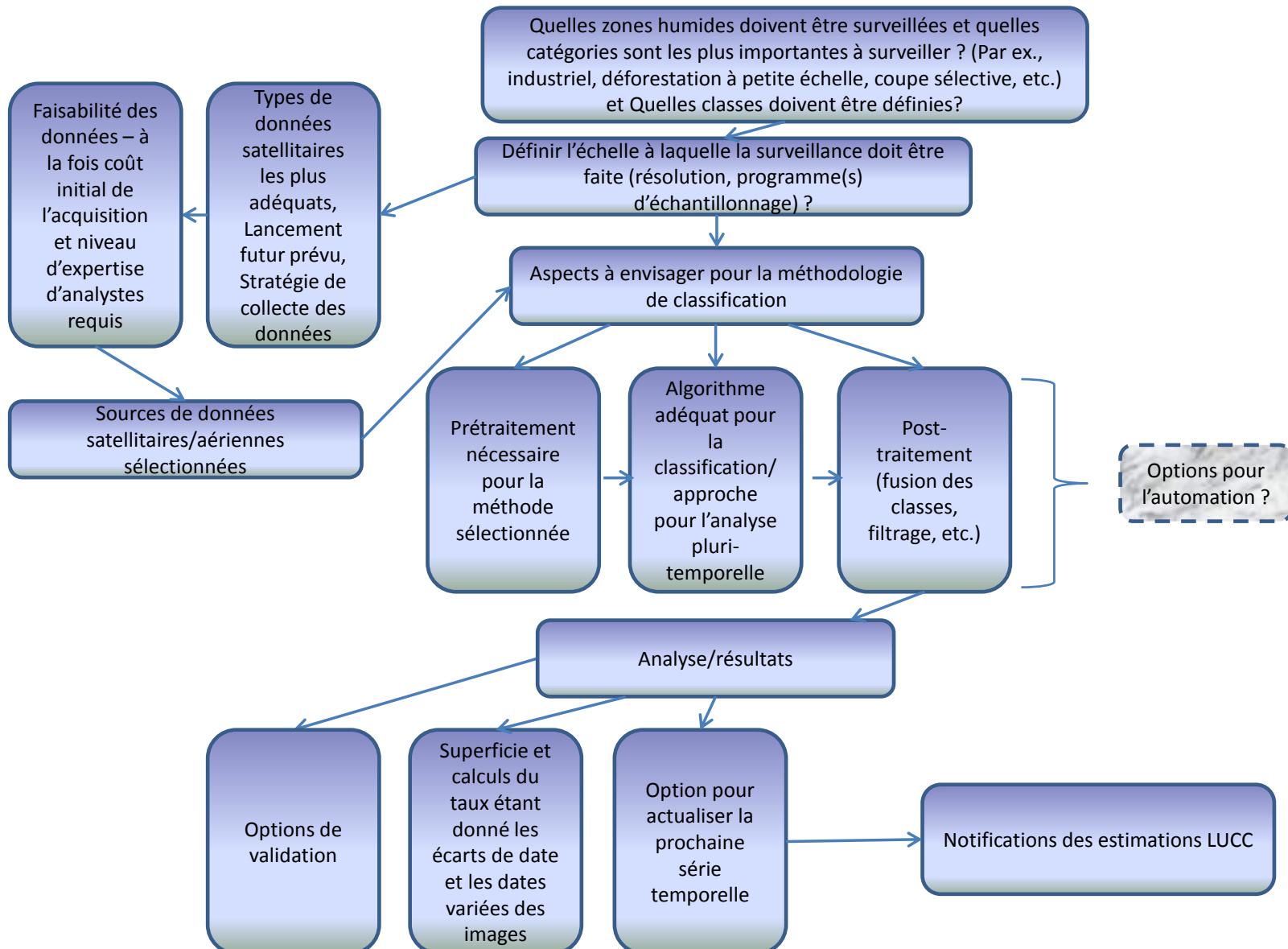
b)

	Forêt de basse altitude	Forêt de montagne	Forêt de basse altitude dégradée	Forêt de montagne dégradée	Prairie naturelle	Jachère	Terres cultivées	Pâturage	% TI
TI	Forêt de basse altitude	99,4		0,4			0,1	0,1	100
	Forêt de montagne		99,5		0,2	0,1	0,1		100
	Forêt de basse altitude dégradée	0,3		98,4		0,1	0,4	0,8	100
	Forêt de montagne dégradée			98,9		0,2	0,8		100
	Prairie naturelle				99,3	0,0	0,3	0,4	100
	Jachère					63,6	9,1	27,3	100
	Terres cultivées					20,0	70,0	10,0	100
	Pâturage					3,4		96,6	100
	% T2	99,7	99,5	98,8	99,2	99,3	87,5	80,8	135,1

5.3 ÉTAPES ET BESOINS GÉNÉRAUX

La Figure 5.1 illustre les décisions essentielles qu'un pays devrait envisager pour développer un système de surveillance forestière basé sur satellite qui soit efficace et efficient, après avoir identifié quelles sont les catégories et sous-catégories à surveiller et l'étendue de la surveillance. Les critères incluent le type et la résolution des données satellitaires et dans quelle mesure une approche de couverture complète ou à partir d'échantillonnage devrait être appliquée pour surveiller les différentes classes de couverture terrestre. La pertinence des différentes méthodologies de surveillance devra être évaluée, y compris les types et la disponibilité des différentes données satellitaires, le traitement préalable, les algorithmes de classification, le niveau d'automation et l'expertise de l'analyste. Si l'automation est impossible, il est important d'envisager comment la cohérence sera obtenue et quelles méthodes seront utilisées pour combiner efficacement les données provenant de périodes différentes. Chacune de ces décisions est discutée ci-dessous.

FIGURE 5.I : ASPECTS ESSENTIELS A ENVISAGER POUR L'ELABORATION D'UN NFMS



I. Quelles sont les catégories les plus importantes à surveiller ?

Une analyse des catégories clés (KCA) porte sur l'identification des principales sources des émissions GES liées à l'utilisation des terres. Une KCA devrait être menée dans le cadre de l'élaboration d'une stratégie REDD+ dans le contexte national de la planification et du développement. Pour la MNV, le processus devrait être étendu à la définition des types de changement de la couverture terrestre qui représentent des contributeurs majeurs aux GES, et à l'harmonisation de ces définitions avec les catégories de changement de la couverture terrestre définies par les GPG-UTCATF. Enfin, un pays doit déterminer l'étendue géographique des terres gérées, et de ce fait les lieux où la surveillance devrait être menée (voir le Chapitre 2).

2. Quelles sont les échelles et/ou les approches d'échantillonnage adéquates pour la surveillance ?

Après avoir évalué les catégories et les classes à surveiller, il est nécessaire d'envisager l'échelle et l'approche adéquates. Par exemple, les événements de changement ont-ils lieu sur de petits îlots de plusieurs hectares, ou sont-ils beaucoup plus importants ? Différents types de changement pourraient peut-être être surveillés plus adéquatement avec des sources de données différentes. Par exemple, certaines dynamiques de l'utilisation des terres pourraient être très adéquates pour la surveillance par satellite, alors que d'autres dynamiques, notamment certaines formes de dégradation et de changements dans l'affectation des terres à la suite de la déforestation, pourraient nécessiter une surveillance aérienne ou basée sur le terrain. Ces dernières dynamiques d'utilisation des terres pourraient exiger des processus de collecte plus onéreux et par conséquent nécessiter une méthode d'échantillonnage. En outre, certains types de végétation, par exemple les terres boisées de feuillus, pourraient nécessiter des données pour une saison particulière ou plusieurs saisons au cours de chaque année, ce qui encore une fois exige davantage de données et d'analyse.

3. Quels sont les aspects méthodologiques à envisager ?

Un pays devrait envisager plusieurs options méthodologiques. Ce point permettra d'éviter : (i) le recours à des méthodes avec très peu de justification basée sur les essais dans le pays, ou (ii) de passer trop de temps sur des questions qui sont très bien traitées dans la documentation existante ou ne sont pas significatives pour l'exactitude potentielle des estimations finales des émissions. Il existe de nombreux points de vue sur la méthode optimale pour la surveillance des changements dans l'utilisation des terres et par conséquent, un pays devrait s'adresser à son propre groupe d'experts dotés de connaissances fondamentales sur la télédétection pour être pleinement en mesure de consulter et d'appréhender la documentation pertinente et les options. Un pays devrait solliciter l'opinion d'experts internationaux et mener des évaluations avec des données nationales, en se concentrant sur les catégories identifiées dans la KCA.

Voici quelques questions importantes à envisager pour les options méthodologiques :

1. Quels sont les types de données satellitaires les plus adéquates pour surveiller les classes identifiées ?
2. Quel est le type d'approche de classification qui devrait être utilisé ?
3. Quels sont les types de prétraitement nécessaires pour la méthode particulière d'analyse de l'image qui est envisagée, et quel est le niveau d'expertise requis ?
4. Quelle partie du processus peut être automatisée, et pour les parties dépendant de l'interaction d'analystes, comment garantir la cohérence et la fiabilité ?
5. Comment combiner des données provenant de périodes différentes pour produire les estimations du changement ?

6. Quelles sont les étapes du processus suivant la classification qui devraient être appliquées ?
7. Quelle est l'approche de validation qui devrait être utilisée, y compris les sources de données et l'échantillonnage ?

Certaines des considérations les plus importantes portent sur l'utilisation de données optiques par rapport à des données de Détection et télémétrie par radioélectricité (RADAR), le type de résolution spatiale nécessaire et si la source de données dispose d'une stratégie d'archivage et d'acquisition adéquate.

Pour la question 4, un pays devrait chercher à produire des estimations les plus exactes possibles pour les catégories clés, tout en ayant recours à une méthode pouvant être « reproduite ». Il s'agit d'une exigence fondamentale des GPG-UTCATF, bien qu'elle ne soit définie qu'assez vaguement dans le contexte de la surveillance par satellite. La question 5 inclut à la fois l'approche pour le traitement de l'imagerie satellitaire provenant de multiples données et la méthode pour estimer les taux de changement provenant de cartes des changements dans l'affectation des terres terminées ou d'estimations d'échantillons.

En faisant une distinction entre la forêt mature et les superficies en jachère, lors de la création de la carte forestière de référence ou pendant la stratification des forêts sur cette carte, un pays peut minimiser la confusion entre le défrichement de la forêt mature et les cycles de jachère lors de surveillance ultérieure. Même si une forêt secondaire plus ancienne peut être difficile à distinguer d'une forêt mature, la plupart des jachères de moins de 10 ans peuvent être distinguées, et la vaste majorité des périodes de jachère durent moins de 10 ans. La question 6 inclut la fusion de sous-classes temporaires, peut-être en combinant les informations résultant de données multiples dans un produit unique avec plusieurs dates, et souvent un type de filtrage pour obtenir une unité cartographique minimale (MMU). La MMU devrait être plus petite que la superficie minimum d'îlots incluse dans la définition nationale de la forêt, ou il devrait être précisé que le fait d'utiliser une MMU plus grande n'affecte pas de manière significative les estimations de superficie en résultant. Cependant, même si le recours à une MMU plus grande pourrait ne pas affecter significativement les estimations pour les superficies statiques des classes, les estimations du changement peuvent être très sensibles à la MMU. La question 7 devrait tenir compte de divers programmes d'échantillonnage et de la disponibilité d'observations satellites ou aériennes avec une résolution très élevée, de même que d'une équipe d'analystes indépendants pour interpréter la validation des données et effectuer des calculs de l'erreur.

5.4 APERÇU SUR LA TÉLÉDÉTECTION

Cette section récapitule les bases de la télédétection. Il existe aussi de nombreux manuels portant sur la télédétection de la couverture terrestre. Des liens vers des ressources Internet se trouvent à l'Appendice 5B.

5.4.1 Types et caractéristiques des données de télédétection

La télédétection est le processus de détection d'énergie émise ou réfléchie à une certaine longueur d'onde du spectre de rayonnement électromagnétique (EM) par un objet, plutôt que d'entrer en contact direct avec ce dernier. Chez l'homme, l'œil détecte une portion relativement petite du spectre total de l'énergie émise par le soleil ; c'est la portion visible du spectre EM. La quantité et le type d'énergie détectés sont habituellement enregistrés sous forme numérique ; la quantité représentant l'intensité du signal, et le type indiquant l'enregistrement du signal sur l'étendue du spectre. Des hypothèses fondamentales, quoiqu'elles ne soient pas toutes valables, supposent que l'on peut distinguer divers types de couverture terrestre d'après ces informations captées et que l'on peut déduire l'utilisation des terres par le biais de la couverture terrestre détectée.

La télédétection basée sur satellite est plus courante en raison de la couverture complète, répétée offerte par une ou plusieurs sources de données satellitaires ; permettant ainsi une surveillance nationale pour des applications terrestres. Les capacités de la télédétection aéroportée présentent aussi un intérêt, étant donné que ces systèmes pourraient couvrir de vastes régions, voire des pays entiers, selon le type d'équipement, l'approche de l'échantillonnage et les ressources disponibles. Au plus haut niveau, il existe deux types principaux de télédétection pour suivre la couverture terrestre : une télédétection de type passif et l'autre de type actif.

Télédétection passive

La majorité des données captées par télédétection servant à suivre l'utilisation des terres est passive. Ces données sont acquises par un capteur qui reçoit de manière passive l'énergie provenant d'une autre source ; l'instrument n'émet pas son propre signal. Le soleil est la source d'énergie pour les régions spectrales visibles et infrarouges onde courte de la terre et la caractéristique elle-même est la source pour les régions thermiques infrarouges (Figure 5.2). La portion de l'énergie solaire à travers ces régions du spectre, réfléchie par la surface de la terre, est souvent indicative des caractéristiques structurelles et chimiques de la surface (Figure 5.3). Les diverses régions spectrales sont représentées par des « bandes spectrales » relativement étroites (Figure 5.4) et, en combinant les images de l'énergie mesurée dans différentes bandes spectrales et en attribuant une couleur d'affichage distincte, des images « multispectrales » sont produites, comme l'illustre la Figure 5.5.

FIGURE 5.2 : TELEDETECTION PAR SATELLITE OPTIQUE. L'ENERGIE EST EMISE PAR LE SOLEIL SOUS FORME DE RAYONNEMENT DE COURTE LONGUEUR D'ONDE, TRAVERSE L'ATMOSPHERE, EST REFLECHIE PAR UNE SURFACE, TRAVERSE A NOUVEAU L'ATMOSPHERE ET ATTEINT UN CAPTEUR A BORD D'UN SATELLITE. LE SIGNAL DETECTE DEPEND DES PROPRIETES DE REFLECTANCE DE LA SURFACE, MAIS AUSSI DE L'ANGLE SOLAIRE, DE LA TOPOGRAPHIE, DE L'ANGLE DE VISEE ET DES PROPRIETES ATMOSPHERIQUES.

Traduction:

Lumière absorbée, réfléchie et réfractée en raison de la présence d'eau, de gaz et de particules.

Rayonnement total au niveau du capteur

Capteur embarqué sur satellite

Atmosphère

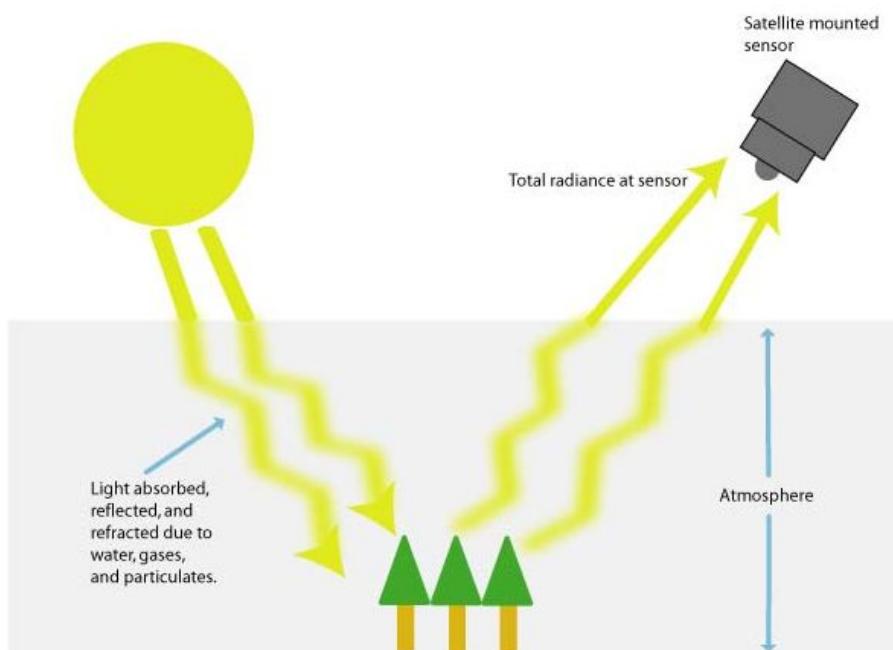
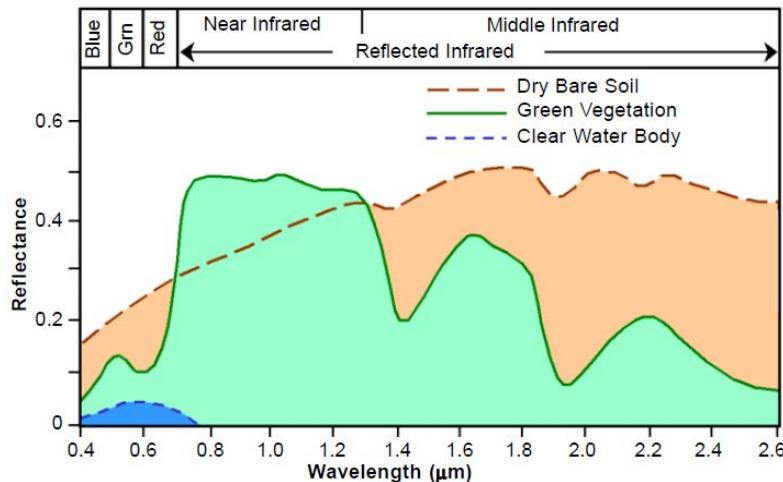


FIGURE 5.3 : TÉLÉDÉTECTION PAR SATELLITE OPTIQUE. L'ÉNERGIE EST ÉMISE PAR LE SOLEIL SOUS FORME DE RAYONNEMENT DE COURTE LONGUEUR D'ONDE, TRAVERSE L'ATMOSPHÈRE, EST RÉFLÉCHIE PAR UNE SURFACE, TRAVERSE À NOUVEAU L'ATMOSPHÈRE ET ATTEINT UN CAPTEUR À BORD D'UN SATELLITE. LE SIGNAL DÉTECTÉ DÉPEND DES PROPRIÉTÉS DE RÉFLECTANCE DE LA SURFACE, MAIS AUSSI DE L'ANGLE SOLAIRE, DE LA TOPOGRAPHIE, DE L'ANGLE DE VISÉE ET DES PROPRIÉTÉS ATMOSPHERIQUES.



Traduction:

Longueur d'onde (μm) (0,4-0,6-0,8-1,0-1,6-1,8-2,0-2,2-2,4-2,6)

Réflectance

Bleu Vert Rouge Proche infrarouge Infrarouge moyen
Infrarouge réfléchi

Sol nu, sec

Végétation verte

Plan d'eau claire

FIGURE 5.4 : EXEMPLE DE RÉSOLUTION SPECTRALE. LES SPECTRES (A) ET (B) REPRÉSENTENT L'ENSEMBLE DU DOMAINE SPECTRAL ÉLECTROMAGNÉTIQUE VISIBLE. LES BANDES SPECTRALES SONT DÉFINIES PAR UNE FOURCHETTE DE LONGUEURS D'ONDES, ET, DANS CET EXEMPLE, ELLES SONT SÉPARÉES PAR DES LIGNES BLANCHES. UN CANAL UNIQUE DE CAPTEUR MULTISPECTRAL N'EST SENSIBLE QU'À L'ÉNERGIE COMPRISE À L'INTÉRIEUR D'UNE CERTAINE BANDE.

DANS LE SPECTRE (A), LES BANDES COUVRENT UNE LARGE FOURCHETTE D'ÉNERGIE, ET UN CAPTEUR COMPORTANT CES BANDES SERAIT CONSIDÉRÉ COMME UN CAPTEUR À LARGES BANDES. DANS LE SPECTRE (B), LES BANDES SONT ÉTROITES, ET UN CAPTEUR COMPORTANT DES CANAUX LE LONG DE CES BANDES AURAIT UNE HAUTE RÉSOLUTION SPECTRALE. UN CAPTEUR TEL QUE CELUI ILLUSTRÉ SUR LE SPECTRE (B), COMPORTANT TANT DE CANAUX ET BANDES SERAIT UN CAPTEUR HYPERSPECTRAL.

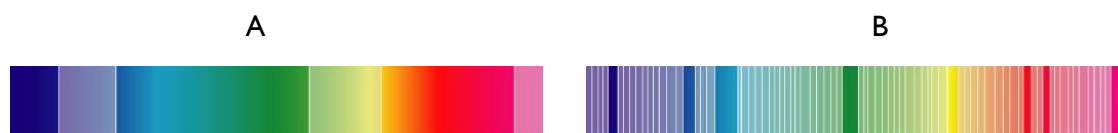
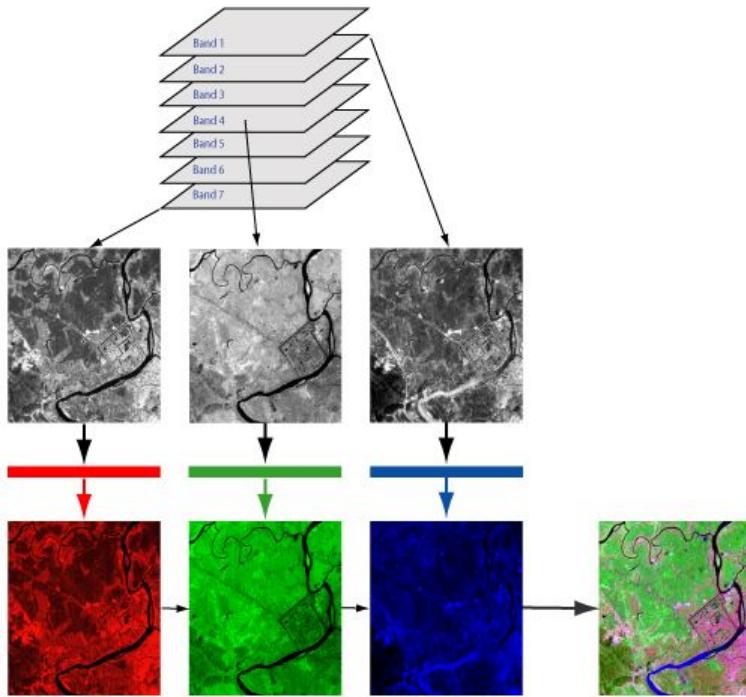


FIGURE 5.5 : DONNEES D'IMAGE COMBINEES A PARTIR DE TROIS CANAUX DU CAPTEUR POUR PRODUIRE UNE IMAGE MULTISPECTRALE. CES IMAGES COULEURS COMPOSITES AIDENT A LA VISUALISATION ET A L'INTERPRETATION DE LA COUVERTURE TERRESTRE. LES NIVEAUX DE LUMINOSITE, INDIQUES ICI EN TONS GRIS, REPRESENTENT LES VALEURS DES CANAUX INDIVIDUELS.



Outre les régions du visible, de l'infrarouge proche et à onde courte du spectre électromagnétique, les systèmes de télédétection passive obtiennent aussi des données dans la région thermique. L'énergie thermique est émise par la surface terrestre, qui, même si elle sert rarement à distinguer les types de couverture terrestre, facilite la détection des nuages, des feux en activité et des îlots de chaleur urbains, ainsi que la modélisation des divers processus d'écosystèmes et des interactions entre la végétation et le climat.

Télédétection active

Lors de la télédétection active, un instrument envoie un signal à certaines longueurs d'onde et mesure la durée mise par les ondes pour retourner à l'instrument, ainsi que la force du signal rétrodiffusé. Les détections RADAR (Radio Detection and Ranging - Détection électromagnétique et télémétrie) et LiDAR (Light Detection and Ranging - Détection et télémétrie par ondes lumineuses) sont les techniques de télédétection active les plus couramment employées pour des applications terrestres.

En présence d'environnements forestiers, l'information RADAR est surtout liée aux caractéristiques structurelles à l'échelle de longueur d'onde de l'énergie captée, par opposition aux capteurs optiques qui mesurent l'énergie réfléchie résultant en grande partie de l'architecture du couvert végétal, des pigments du feuillage et de la nature du sol. Les données RADAR se rapportent à la densité du feuillage dans le couvert, ou aux branches et troncs d'arbres, selon la longueur d'onde utilisée. Ces données RADAR sont aussi sensibles à l'humidité du couvert et du sol, et sont fortement influencées par la topographie. L'un des principaux avantages des systèmes RADAR est leur capacité à pénétrer les nuages grâce à leurs longueurs d'ondes plus grandes, la portion micro-ondes du spectre EM. En raison de leur sensibilité aux propriétés géométriques des forêts, les données RADAR sont susceptibles de rendre compte de la

biomasse forestière. Les données RADAR, comme celles provenant d'autres sources satellitaires, ont servi par exemple à produire des cartes récentes de la biomasse forestière mondiale. (Saatchi et al., 2011; Baccini et al., 2012).

Jusqu'à récemment, tous les capteurs RADAR à bord de satellites recueillaient des mesures uniquement dans une bande de longueur d'onde et une polarisation. Les images produites n'avaient pas l'aspect dimensionnel des images multi-spectrales, et produisaient donc des résultats limités pour la classification des types de couverture terrestre. Plusieurs des nouveaux satellites disposent de capteurs à bord, qui collectent des données dans plusieurs bandes de longueurs d'ondes et des polarisations différentes, leur conférant ainsi une plus grande utilité pour la classification des types de couvertures terrestres. Le RADAR est étudié plus en détail dans la Section 5.5.

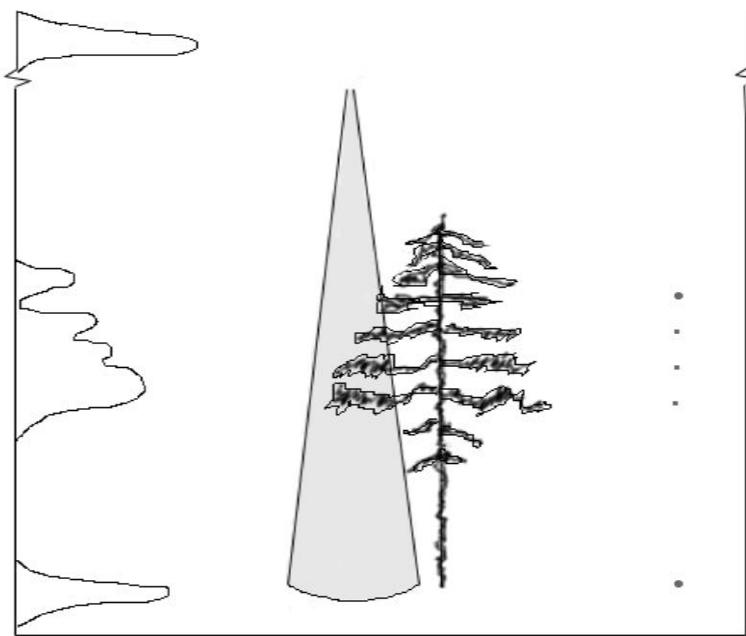
Comme les instruments RADAR, ceux de LiDAR émettent une pulsation d'énergie, dont une partie est rétrodiffusée au capteur par la cible. La distance entre le capteur et la cible est ensuite calculée à partir du temps écoulé pendant l'aller-retour du signal LIDAR. Pour autant, par contraste avec le RADAR, le LiDAR fonctionne dans les portions visibles et proche infrarouge du spectre EM et, par conséquent, ne pénètre pas les nuages. Les applications de LiDAR au domaine forestier a surtout porté sur les mesures de la hauteur du couvert, la topographie du sous-étage forestier et la répartition horizontale et verticale de la végétation ; ces paramètres peuvent servir à modéliser des estimations de la biomasse aérienne (voir, par exemple, Clark et al., 2004 ; Lefsky et al., 2002 ; Lim et al., 2003 ; Nelson et al., 2009).

Les systèmes LiDAR sont aussi classés en systèmes à onde complète et systèmes à retours discrets (voir Figure 5.6). Les systèmes à onde complète enregistrent la forme d'onde entière d'une pulsation qui revient, alors que les systèmes à retours discrets relèvent un nombre discret de points, généralement entre un et cinq, par pulsation transmise. Les deux formes de LiDAR ont été utiles pour estimer la biomasse forestière par comparaison aux données sur le terrain et à la modélisation. Tandis que certains instruments LiDAR collectent des données le long de lignes d'échantillonnages, d'autres ont des capacités de balayage afin de recueillir à la fois des données le long des lignes d'échantillonnages et à travers celles-ci, permettant la création d'images.

FIGURE 5.6 : EXEMPLE DE SYSTEME DE LIDAR A ONDE COMPLETE PAR OPPOSITION A CELUI A RETOURS DISCRETS (LIM ET AL., 2003)

LiDAR à onde complète

LiDAR à retours discrets



Pour l'heure, la plus grande partie de la télédétection par LiDAR s'est faite à partir de système aéroporté. Cependant, un instrument LiDAR, le Système laser altimétrique Géoscience (GLAS) à bord du Satellite Ice, Cloud, and land Elevation (ICESAT - satellite cherchant à évaluer le bilan massique des glaciers, les nuages et les aérosols ainsi que la topographie du sol et les caractéristiques de la végétation) était basé sur satellite. Bien que ce satellite ICESAT ne soit plus fonctionnel, le GLAS procurait des informations LiDAR d'onde complète pour les suivis linéaires le long de la trajectoire du satellite, avec une résolution au sol de 70 m. Les échantillons linéaires provenant de GLAS étaient les entrées de données utilisées dans le cadre des études mentionnées ci-dessus, portant sur la biomasse mondiale.

Résolution et autres aspects à envisager

En plus du type et des caractéristiques spectrales des différentes images, les autres aspects à envisager sont la résolution spatiale et temporelle, la stratégie de collecte des données, le coût de production de l'imagerie et la durée d'archivage des images. La résolution spatiale est un élément important puisqu'elle doit être assez fine pour détecter les changements présentant un intérêt (c.-à-d., au moins égale à la moitié de la taille de l'échelle des changements). Les données rendues publiques ont des résolutions spatiales variant de 0,7 km à 1 km. Les données utilisées pour la surveillance de la couverture terrestre ont des résolutions allant de 5 m à 30 m. Par exemple, une observation à une résolution de 30 m, ou pixel, représente une surface au sol de 900 m² (30 m sur 30 m) ; une surface au sol d'un hectare serait représentée par 11 pixels à cette résolution.

Les données dotées de résolutions plus grossières servent à des études globales et ne conviennent généralement pas au suivi du couvert terrestre, étant donné que ces informations ne détecteront pas les changements de faible ampleur. L'utilisation de ces données pour le suivi du couvert terrestre produit un biais inhérent dans les estimations qui en sont dérivées. Inversement, des données à haute résolution, moins de 10 m, n'ont généralement servi que pour des petites surfaces en raison du coût et de la disponibilité. Cependant, à mesure que les données à haute résolution deviennent plus accessibles et plus abordables en matière de coût, leur utilisation pour de vastes surfaces, surtout au moyen d'échantillonnage, est de plus en plus pratique.

La résolution temporelle se rapporte à la fréquence à laquelle les données sont collectées. Nombre de satellites, tels que le Landsat, ont des orbites définies qui dictent combien de fois le satellite reviendra pour visualiser le même endroit et acquérir une nouvelle image. Pour le Landsat, cette visite se répète tous les 16 jours. Toutefois, une couverture de nuages permanente réduit souvent l'acquisition d'images utilisables. D'autres satellites, incluant beaucoup de capteurs à haute résolution, comme RapidEye, Quickbird, IKONOS, WorldView-2, la série SPOT HRV, CBERS HRC, GeoEye-1 et -2, la constellation DMC, KOMPSTAT-2 ou RESOURCESAT-1 sont orientables, c'est-à-dire qu'ils peuvent être basculés pour visualiser un endroit sous un angle de leur orbite déterminé. Même si cela peut produire une image répétée de la même surface à une fréquence bien plus élevée, ces acquisitions se font sur des périodes de temps courtes et certaines exigent un certain travail. Bien que, traditionnellement, ce point ait restreint l'aspect pratique de l'utilisation de tels satellites en matière de capacité de surveillance, l'Encadré 5.3 souligne deux exemples où l'imagerie à très haute résolution est largement utilisée dans la mise au point des NFMS (Systèmes nationaux de surveillance des forêts).

ENCADRE 5.3 : EXEMPLES D'UTILISATION DE L'IMAGERIE A HAUTE RÉSOLUTION DANS LES NFMS

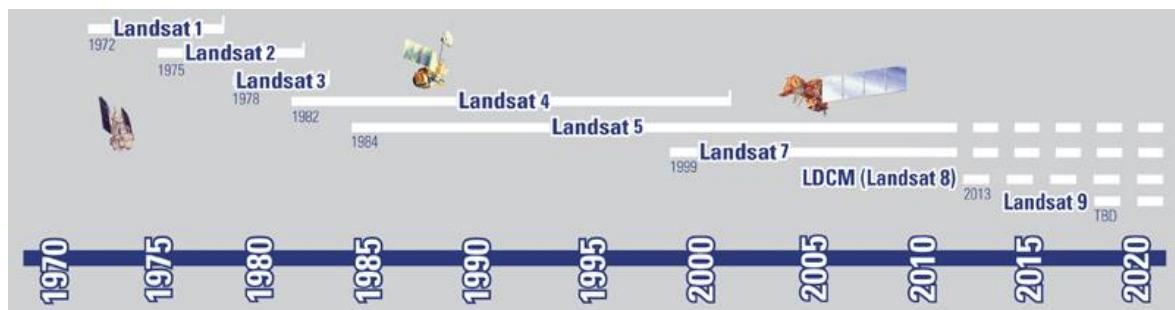
Même si beaucoup de pays créent des cartes forestières de référence et des produits de surveillance de la déforestation à partir de l'imagerie Landsat, certains pays recherchent l'utilité d'autres sources, par exemple, l'imagerie à plus haute résolutions à des fins de surveillance, surtout dans les régions où la dégradation est omniprésente. La Guyane, par exemple, a mis en œuvre une activité de surveillance annuelle au niveau national grâce à l'utilisation de l'imagerie complète RapidEye. Pour la Guyane, RapidEye, avec cinq bandes MSI de 6,5 m, s'est avéré particulièrement utile pour évaluer la dégradation des forêts et faire face à ses impacts.

Le Mexique utilise Landsat dans son système MNV et a également incorporé RapidEye. Il a recours à l'imagerie RapidEye obtenue pendant la saison sèche et la saison des pluies pour mieux différencier la couverture de biomasse entre les saisons.

La durée d'archivage des données est une autre considération importante pour élaborer des analyses historiques, même pour des périodes aussi courtes que la dernière décennie. Pour faciliter un suivi cohérent et les problèmes de logistique, il est préférable de travailler dans la mesure du possible avec une source unique de données pendant toute une période d'études. La série Landsat est la source de données la plus courante pour le suivi des changements de la couverture terrestre, puisque les données remontent à 1972 pour le scanner multispectral (MSS) et à 1982 pour l'appareil de cartographie thématique. La Figure 5.7 illustre la chronologie des archives de la série des satellites Landsat. En outre, puisque les satellites Landsat ont un orbite défini, approximativement la même surface est acquise chaque fois que le satellite retourne pour visualiser le même emplacement sur la terre, autrement dit, la plupart du temps des paires d'images provenant de dates multiples se recoupent.

FIGURE 5.7 : CHRONOLOGIE DES ARCHIVES LANDSAT. LANDSAT 1 – 3 NE TRANSPORTAIENT QUE L'INSTRUMENT MSS ; LANDSAT 4 – 5 AVAIT A BORD LES INSTRUMENTS MSS ET TM ; LANDSAT 7 TRANSPORTE L'INSTRUMENT ETM+ MAIS, DEPUIS 2003, PRESENTE DES LACUNES EN MATIERE DE DONNEES EN RAISON DE PANNE MECANIQUE ; LANDSAT 8, A LES INSTRUMENTS OLI ET TIRS A SON BORD.

29



Enfin, lorsque l'on planifie un programme de surveillance, il est important d'envisager les futurs lancements de capteurs de satellite et les stratégies d'acquisition des données, ainsi que les politiques de coût. La Mission de continuité des données de Landsat (LDCM), par exemple, garantit que les satellites de l'Agence nationale des États-Unis pour l'aéronautique et l'espace (NASA) continueront à procurer un enregistrement des données au long terme, incluant le lancement réussi de Landsat 8 en février 2013. La politique d'accès gratuit des données du Landsat permet d'avoir une flexibilité au regard de l'utilisation des données. Le coût d'autres sources de données tendent aussi à baisser. Le prochain lancement de la série Sentinel-2, avec celui de 2A programmé en 2015, fournira une source supplémentaire d'imagerie à envisager dans le cadre de la mise en place du NFMS (voir l'Encadré 5.4). RapidEye, dont la constellation actuelle compte cinq satellites, a prévu une mission suivante pour 2019-2020 ; apportant ainsi une autre source de données pour une période prolongée. Un tableau des options actuelles et futures en matière de données satellitaires, incluant les caractéristiques, se trouve dans la Section 5.6.

ENCADRÉ 5.4 : SOURCES DE DONNÉES FUTURES SUPPLÉMENTAIRES À ENVISAGE ADANS LE CADRE DE LA MISE EN PLACE DE NFMS ; L'EXEMPLE DE SENTINEL-2

L'Agence spatiale européenne (ESA) est chargé de la composante espace du programme Copernicus, dans le cadre duquel s'effectue la construction d'une série de satellites spécialisés, les Sentinels. La Série Sentinel-2 de satellites d'imagerie multispectrale, avec 13 bandes situées dans les longueurs d'onde du visible, du proche infra-rouge et de l'infra-rouge onde courte et des résolutions spatiales de 10 m, 20 m et 60 m, présenteront des options supplémentaires de données à envisager pour la mise au point de NFMS. Le premier satellite, Sentinel-2A, sera lancé entre mai et juillet 2015 et l'intervalle entre les passages sera de 10 jours. Lorsque la deuxième unité (Sentinel-2B) sera lancée en 2016, un intervalle de 5 jours entre les passages sera possible. L'interopérabilité entre ces capteurs et les missions Landsat affinera encore la fréquence des visites et améliorera la disponibilité de l'ensemble des données. D'après la politique d'accès gratuit, complet et ouvert en matière de données, adopté pour le programme Copernicus, les produits des données Sentinel seront à la disposition de tous les utilisateurs.

29 Tiré du site http://landsat.usgs.gov/about_ldcm.php

En résumé, les caractéristiques clés des données à envisager sont les suivantes :

- Quelles sont les conditions géographiques, phénologiques et atmosphériques (surtout la couverture nuageuse permanente) ?
- Quelles sont les régions spectrales, et les bandes à l'intérieur de celles-ci, où les données sont collectées, et dans quelle mesure sont-elles susceptibles de permettre de distinguer les types de couverture terrestre recherchés et les changements parmi eux ?
- Quelle est la résolution spatiale des données et est-elle appropriée par rapport à l'échelle des variations de la couverture terrestre à surveiller ?
- Quelle est la résolution temporelle en termes de fréquence potentielle pour l'acquisition d'observations sans nuage en comparaison de la fréquence de la surveillance désirée ?
- Quelle est la longévité de la période d'archivage des images – répond-t-elle aux besoins historiques de cartographie ?
- Quelles sont les implications de ces données en matière de coût en termes d'achat et d'analyse ?
- Quels sont les engagements en matière de conception et de lancement de futurs satellites ?

5.4.2 Prétraitement, analyse et post-traitement des images

Le prétraitement des images se rapporte à toute étape appliquée à une image en préparation de l'analyse de l'image. L'analyse des images, quant à elle, est le processus de création d'une catégorie de couverture terrestre pour toutes les parties d'une image. Le post-traitement a lieu après l'étape d'analyse de l'image, et permet l'estimation des taux et des schémas de changements de la couverture terrestre à produire.

Le prétraitement inclut généralement le géoréférencement et le calage, la correction atmosphérique et la transformation occasionnelle des données. La correction atmosphérique peut s'avérer nécessaire selon l'approche employée pour l'analyse de l'image. La transformation des données, quoiqu'utile, est facultative en fonction également de l'approche employée pour l'analyse de l'image. Comme indiqué précédemment, les activités de post-traitement peuvent inclure un certain nombre d'étapes. Enfin, le calcul des taux de changement et des estimations d'erreur sont nécessaires. La récapitulation des étapes de pré-traitement, de l'analyse et de post-traitement faite ci-dessous est basée sur les données optiques et les approches en matière de classification, à partir d'exemple d'analyses de données Landsat.

Prétraitement des images

Géoréférencement et calage

Le géoréférencement est le processus permettant de cartographier des données dans un système de coordonnées géographiques. Il sert à comprendre la superficie géographique représentée et se fait lors de l'importation de l'image dans un SIG (Système d'information géographique) ou dans un format permettant l'analyse de l'image pour le traitement.

Pour autant, le géoréférencement peut comporter des erreurs allant jusqu'à des centaines de mètres. Par conséquent, bien que les images aient été soumises à un géoréférencement, cela ne veut pas dire que les images de la même surface acquises à des dates différentes se superposeront assez bien pour éviter des erreurs dans l'estimation des changements résultant d'un mauvais calage. Aussi, un calage peut encore s'avérer nécessaire. Le calage est un processus simple, habituel, qui prend un peu de temps et porte sur l'identification d'une image pour s'en servir comme image de base avec laquelle les images restantes seront mise en correspondance (calées). Il est de plus en plus courant de pouvoir automatiser

le traitement de nombreuses images, mais les méthodes traditionnelles menées par des analystes conviennent aussi. Le Service géologique des États-Unis (USGS) a procédé au retraitement d'un grand nombre d'archives Landsat, et a créé un produit corrigé en matière de précision et de terrain LIT³⁰. Ces données ont été déjà corrigées géométriquement en utilisant les points d'appui de précision au sol et les informations du Modèle altimétrique numérique (DEM) de la Mission de cartographie radar de la terre (SRTM), produisant un ensemble de données avec une exactitude de 30 m, éliminant donc le besoin d'une correction géométrique supplémentaire. Le calage des images devrait être révisé et peut nécessiter quelques réglages.

Correction atmosphérique

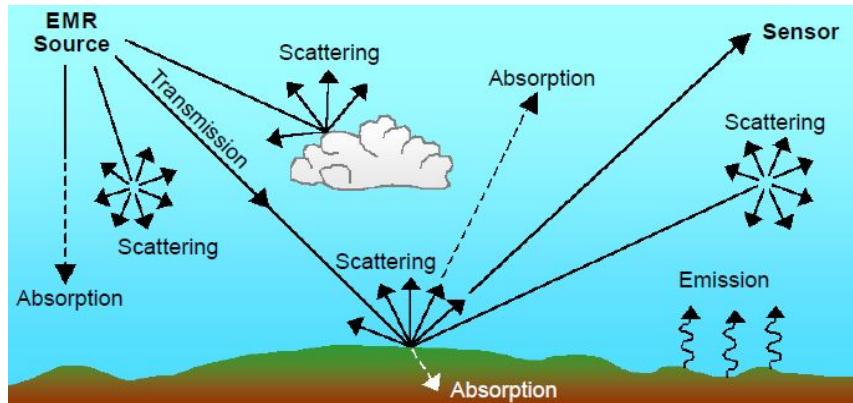
L'atmosphère a plusieurs effets sur l'énergie visible et infrarouge lorsque celle-ci traverse l'atmosphère en provenance du soleil vers la terre et retourne à un satellite ou à un capteur aéroporté (Figure 5.8). La correction atmosphérique s'effectue fréquemment en même temps qu'une correction de la fonction de distribution de réflectance bidirectionnelle (BRDF). La BRDF définit comment la lumière est réfléchie d'une surface, et elle dépend des directions de l'incidence et de la réflexion des rayons.

Les images soumises à une correction atmosphérique contiennent des données représentant la réflectance de la surface, en valeurs sans unité de zéro à un, contrairement aux nombres numériques des données d'images brutes. La plupart des algorithmes de correction atmosphérique sont appliqués aux images satellitaires avant le processus de cartographie, et un seul algorithme de correction est utilisé pour l'image entière. On suppose habituellement la présence de conditions atmosphériques constantes sur l'ensemble d'une image, bien que leur variabilité au sein d'une image fasse actuellement l'objet de recherche.

La façon dont s'effectue la correction atmosphérique dépend de l'approche employée pour l'analyse de l'image (Song *et al.*, 2001). Les méthodes de classification qui font intervenir la création de sous-classes pour chaque type d'utilisation des terres et des variations au sein de celles-ci peuvent produire des cartes correctes sans correction atmosphérique parce que les sous-classes peuvent rendre compte de différentes conditions atmosphériques. À l'inverse, les approches qui appliquent des signatures constantes des classes sur des images aux conditions atmosphériques variables, devraient inclure une correction atmosphérique. Certaines méthodes semi-automatiques appliquent des signatures constantes sur des images multiples ou des dates d'images, et ces méthodes dépendent fortement d'une correction atmosphérique rigoureuse.

³⁰ http://landsat.usgs.gov/descriptions_for_the_levels_of_processing.php

FIGURE 5.8 : EFFETS ATMOSPHERIQUES SUR LES DONNEES OPTIQUES.



Traduction:

Source	Capteur
REM	Capteur
Dispersion	
	Absorption
	Dispersion
Absorption	
	Dispersion
Dispersion	
	Émission
Absorption	

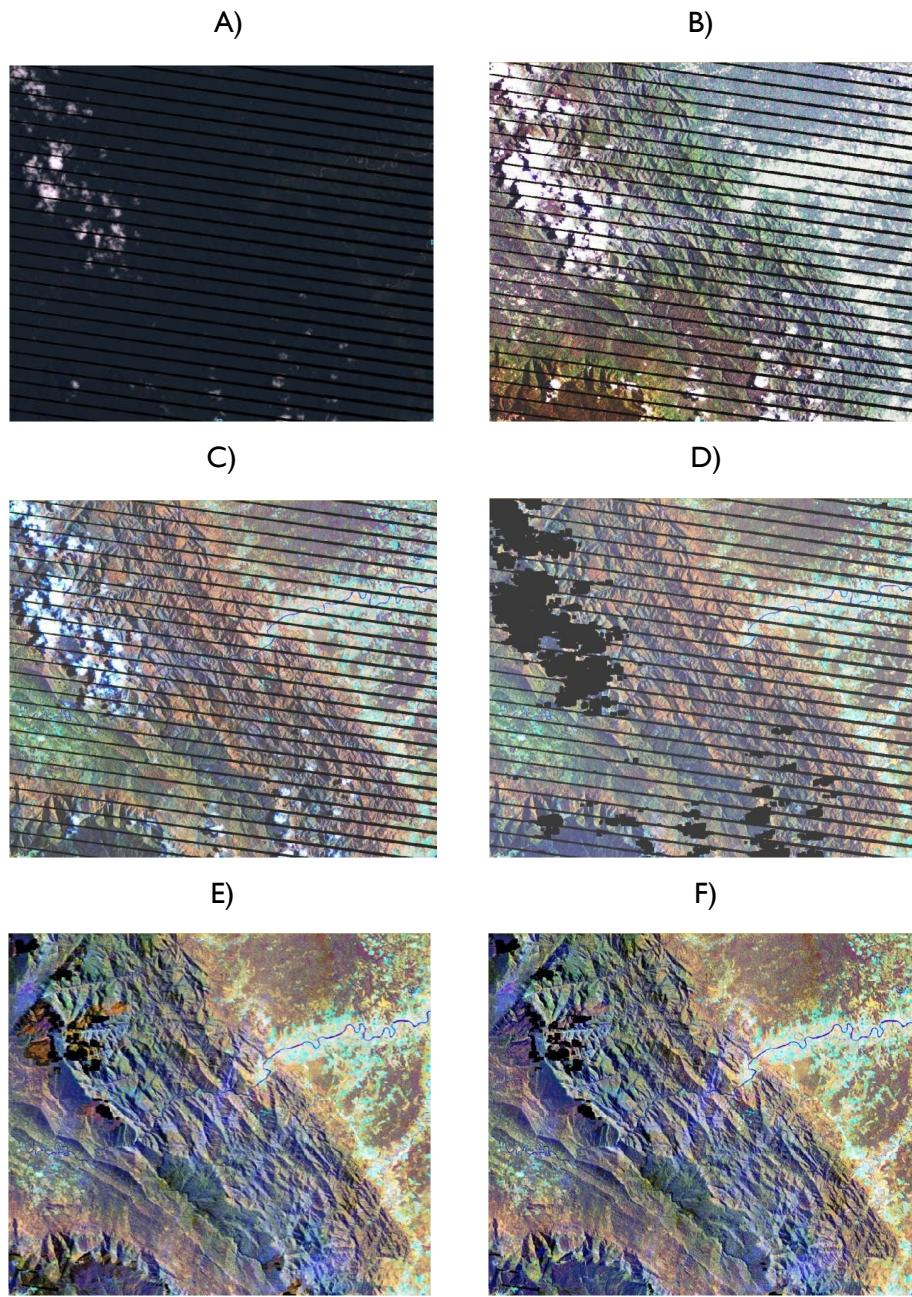
La source de rayonnement électromagnétique est le soleil, et ce rayonnement peut se trouver bloqué ou dispersé par des nuages, indépendamment de l'atmosphère « dégagée » qui l'affecte aussi. Une atmosphère « dégagée » cause aussi une dispersion et une absorption du rayonnement lorsqu'il est transmis du soleil à la terre, et retourne au satellite. L'angle solaire et l'angle de visée du capteur influencent aussi les effets de l'atmosphère. La BRDF caractérise comment un objet illuminé par une source, telle que le soleil, paraît plus lumineux ou foncé selon l'angle de la source et l'angle sous lequel il est visualisé par un capteur de satellite.

Il existe plusieurs programmes permettant d'effectuer les corrections atmosphériques sur des images complètes. Le LOTTRAN et 6S sont les plus courants, et la création de plusieurs outils facilite leur application. Un exemple, mis au point par la NASA, est l'outil de Landsat, Système de traitement adaptatif des perturbations de l'écosystème (LEDAPS) (Masek et al., 2008). Le LEDAPS a recours à des informations sur la vapeur d'eau, la pression atmosphérique, l'ozone, la correction de la dispersion de Rayleigh dépendante de la topographie et d'une composante de l'épaisseur optique des aérosols basée sur Kaufman et al. (1997) pour créer une valeur de réflectance de la surface pour chaque pixel. Le LEDAPS crée aussi des masques d'eau, de nuages, d'ombre de nuages et de neige.

Ces corrections peuvent s'appliquer à plusieurs images partiellement nuageuses de la même région. Les images peuvent être ensuite combinées pour produire une mosaïque composite unique, complète. Même si les corrections sont appliquées à toutes les images et que l'image composite devrait paraître continue, des artefacts atmosphériques peuvent subsister, sous forme de taches plus foncées ou plus lumineuses (Figure 5.9), et justifier que chaque image soumise à une correction atmosphérique soit classée séparément, puis combinée. En revanche, d'autres algorithmes basés sur l'égalisation

d'histogramme local par exemple, pourrait s'appliquer pour réduire davantage les artefacts. En outre, depuis l'été 2013, toutes les données Landsat, incluant celles du LDCM, sont disponibles après application de corrections de réflectance du sommet de l'atmosphère (TOA)³¹.

FIGURE 5.9 : EXEMPLE DE CORRECTION ATMOSPHERIQUE DE DONNEES LANDSAT DE SAN MARTIN, PEROU.



³¹ http://landsat.usgs.gov/about_LU_Vol_7_Issue_2.php#3b

A) Une image non étirée composite en « couleurs naturelles », où les bandes rouge, verte et bleue sont associées aux couleurs rouge, verte et bleu de l'affichage. Les lignes noires sont les lacunes en matière de données avec le SLC-off (correcteur de lignes de balayage). B) La même image, où un étalement de Gauss a été appliqué à l'histogramme des données. C) Les bandes proche infrarouge, infrarouge moyen et rouge associées aux couleurs rouge, verte et bleue, une attribution courante pour une image composite en « fausses couleurs », permettant l'exploration visuelle des données infrarouges. D) La même image, mais après la correction atmosphérique et avec l'application d'un masque de nuage/d'ombre de nuage en utilisant LEDAPS. Il est à noter que même si les lacunes linéaires ont été comblées, certaines des lacunes des nuages subsistent puisqu'il y avait aussi des nuages dans la deuxième image, nécessitant donc des images supplémentaires. E) Une mosaïque de deux images ayant été soumises à des corrections atmosphériques, mais sans égalisation d'histogramme entre les deux ; noter les artefacts de teinte orange qui apparaissent à gauche des lacunes de nuages restantes dans le coin supérieur gauche de l'image. F) Mosaïque des deux mêmes images, mais avec application de l'égalisation d'histogramme ; les artefacts présents dans E) ne sont plus visibles.

Transformation des données

Certaines méthodes d'analyse incluent des techniques de transformation des données, comme diverses formes d'ordination, avant la classification. L'analyse en composantes principales (PCA) est un exemple d'une transformation technique faisant intervenir l'ordination. Ces techniques modifient les informations afin de faciliter l'interprétation. La transformation « Tasseled Cap » (système d'algorithmes) a été largement utilisée pour la classification des types de végétation. L'analyse des mélanges spectraux (SMA) est une autre approche pour la transformation de données. La SMA a recours aux réflectances spectrales estimées d'un ensemble de caractéristiques « pures » qui visent à représenter les surfaces observées. Dans les terres couvertes de végétation, par exemple, ce sont les feuilles, le sol et la végétation ligneuse ou des litières éclairés par le soleil. Théoriquement, le sol pourrait être divisé en plusieurs types de sols aux propriétés de réflectance différentes, et l'eau pourrait en faire partie. L'ombre est aussi généralement incluse, puisque c'est un élément distinctif de la plupart des images spectrales en raison de la géométrie des couverts végétaux.

La SMA consiste à définir la réflectance spectrale de chaque caractéristique principale représentant le paysage étudié et, d'après celles-ci, à estimer les proportions de chaque composante pour chaque pixel. La définition des éléments purs peut se faire par le biais d'analyses de laboratoire, sur le terrain ou à partir de documents. Lorsqu'ils s'appliquent à la SMA, on les appelle « membres extrêmes spectraux », puisqu'ils sont situés aux extrémités extérieures de la distribution multidimensionnelle des données spectrales. Les membres extrêmes peuvent aussi être définis en sélectionnant simplement les pixels extrêmes dans les données multidimensionnelles ; on les appelle les « membres extrêmes de l'image ». Pour autant, si les membres extrêmes de l'image sont utilisés, les analyses SMA qui en sont tirées, ne seront valables que pour cette image. Une sortie d'analyse pourrait estimer, par exemple, qu'un pixel particulier représente l'observation d'une parcelle de terre dont 30 pour cent sont des feuilles ensoleillées, 20 pour cent le sol et 50 pour cent de l'ombre. Ces résultats peuvent être visualisés comme « fractions d'image » et servir d'entrées aux classifications. La SMA peut être une approche utile pour comprendre les données spectrales contenues dans les données d'images, puisqu'elle explique les données en termes de caractéristiques physiques. Comme l'ACP, et d'autres types d'ordination de données, la SMA n'ajoute pas d'informations au contenu. Selon l'approche de classification employée, ces techniques peuvent aider à produire une classification plus juste ou efficace de l'utilisation des terres.

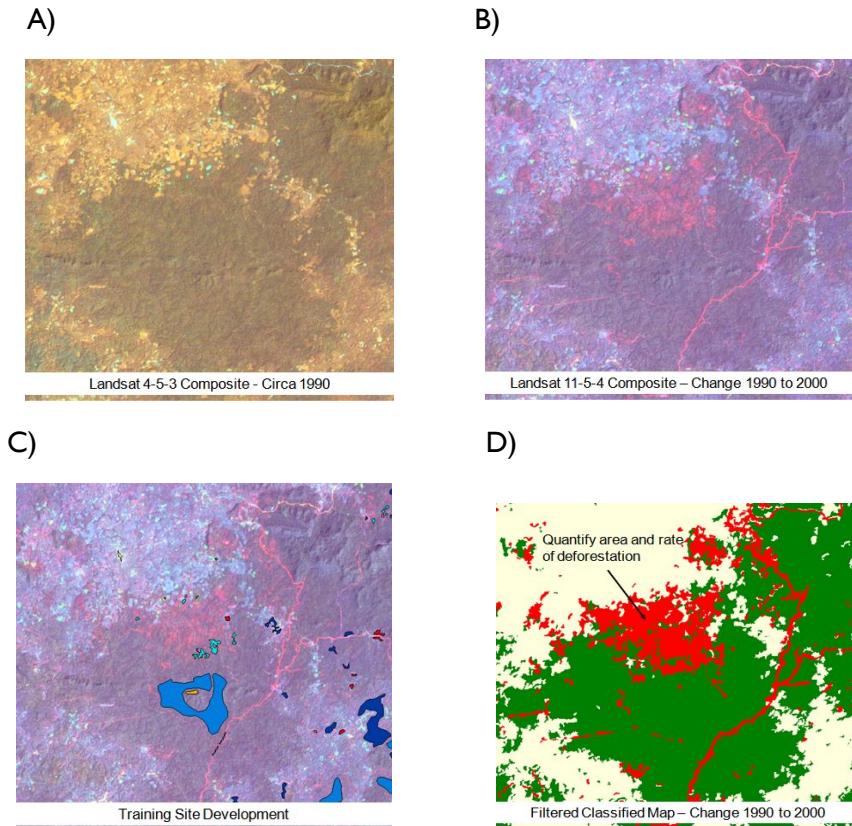
Classification

La classification de la couverture terrestre produit une représentation thématique des terres en catégorisant les pixels suivant leurs signatures spectrales. Il existe deux grands types de classification : supervisé et non supervisé.

Lors de la classification supervisée, l'analyste détermine des « sites d'entraînement » et crée des données d'entraînement en délimitant des zones connues comme appartenant à chaque classe. Les statistiques des données de pixels au sein de ces zones sont calculées et, au minimum, incluent les moyennes, les variances et la matrice de covariance des données spectrales, définissant la « signature spectrale » de chaque classe. Le niveau de séparabilité statistique parmi les classes peut être évalué, et ceci peut indiquer un besoin de fusionner des sous-classes ou d'en ajouter. D'après ces statistiques, divers algorithmes peuvent permettre d'estimer la classe la plus probable du reste des pixels non identifiés, produisant une image classée.

Souvent, les classifications de sortie sont évaluées et, en fonction des erreurs évidentes, les données d'entraînement sont modifiées et une nouvelle procédure de classification est exécutée. Certains des algorithmes courants inclus dans les progiciels sont, en niveau croissant de complexité : Paralleliped, Minimum Distance, Maximum Likelihood et Mahalanobis Distance. La Figure 5.10 illustre l'approche de classification supervisée.

FIGURE 5.10 : EXEMPLE D'UNE CLASSIFICATION SUPERVISEE DE DEUX DATES D'IMAGES DANS UN TRAITEMENT UNIQUE, DU LIBERIA.



Les images spectrales (A) provenant de deux dates peuvent être combinées et visualisées afin d'observer plus facilement les changements spectraux (B), indicatifs de changements en matière d'utilisation des terres. Des zones d'entraînement peuvent être déterminées (C) d'après les données de terrain et aériennes, ainsi que les connaissances de l'analyste sur une région et ses compétences en interprétation. Ces éléments sont les bases des statistiques des classes utilisées pour classer le reste de l'image. Le produit final (D) est souvent filtré pour éliminer les petites erreurs et points douteux.

La classification non supervisée ne fait pas intervenir de site d'entraînement. Le processus se fait plutôt par le biais d'algorithmes qui identifient des pixels semblables en matière de spectre et les associent ensuite à un nombre de groupes défini par l'utilisateur. Le résultat d'une classification non supervisée est alors passé en revue par un analyste, et chaque groupe est marqué comme appartenant à une classe d'après l'interprétation visuelle par l'analyste des données spectrales, de l'emplacement des pixels et de données de terrain ou d'autres données complémentaires disponibles. Habituellement, des processus supplémentaires sont répétés pour diviser encore les groupes recouvrant divers types de couverture terrestre. L'algorithme ISODATA est inclus dans la plupart des progiciels.

Un avantage présumé de la classification supervisée par rapport à celle qui est non supervisée est le fait que l'analyste dirige le processus d'après des connaissances préalables de la région faisant l'objet de la classification. En revanche, l'intérêt que peut présenter l'approche non supervisée est que l'algorithme évalue la distribution des données elles-mêmes. Les algorithmes supervisés qui explorent la distribution des données tout en laissant l'analyste diriger le traitement par le biais d'une phase d'entraînement sont de plus en plus utilisés. Ces algorithmes incluent entre autres, l'algorithme de calcul d'arbres décisionnels (DT) et celui de réseaux neuronaux (NN). Les DT fonctionnent en cherchant de manière

itérative une séparation binaire au sein des données dans chacune des bandes, d'après les données des sites d'entraînement localisées par l'analyste. Cette séparation augmente la précision à ce stade du développement du DT. L'arbre final composé de centaines de divisions et de nœuds terminaux représentant les classes de couverture terrestre contenues dans les données d'entraînement. Des processus d'amplification et d'élagage peuvent s'appliquer aux DT afin d'améliorer l'efficacité et de réduire le nombre de divisions finales ; le DT obtenu est un ensemble de règles qui est appliqué au reste des pixels pour produire une image classée. Nombre d'études ont eu recours aux DT pour créer des résultats de classification robustes dans beaucoup de régions (Friedl *et al.*, 1999 ; Hansen *et al.*, 2000 ; Pal et Mather, 2003 ; Rogan *et al.*, 2003 ; Hansen *et al.*, 2008b).

Les NN essaient de reproduire le processus d'apprentissage de l'homme pour associer une classe aux données de l'image. Il existe nombre de variantes de NN, mais les NN peuvent fonctionner plus lentement que les DT. Les DT, comme les NN, sont préférés aux algorithmes de probabilité maximale ou autres algorithmes de classification. Plus récemment, les méthodes de classification d'ensemble de Forêts aléatoires ont été appliquées avec succès à la classification de la couverture terrestre et des changements de couverture terrestre (Pal, 2005 ; Gislason *et al.*, 2006 ; Rodriguez-Galiano *et al.*, 2012). Cette approche, contrairement aux DT, sélectionne de façon aléatoire certaines variables, mais pas toutes, pour construire l'arbre final et déterminer les branches auxquelles il aura abouti uniquement d'après ce sous-ensemble de variables. De telles méthodes supportent d'avoir un grand nombre de paramètres, ce qui peut être un problème concernant les DT, et s'avèrent généralement performantes.

D'autres approches en cours d'exploration incluent des techniques d'apprentissage de classification, comme les Forêts aléatoires³², dans lesquelles de multiples arbres décisionnels sont construits et une classe de sortie est sélectionnée d'après la majorité des votes provenant de tous les arbres. Par exemple, les forêts aléatoires pourraient être utiles en particulier lorsque la séparation spectrale des types de végétation est restreinte.

Toutes les méthodes décrites ci-dessus sont des exemples de classification « par pixel », autrement dit le pixel est classé d'après ses caractéristiques spectrales. N'importe laquelle de ces méthodes peut être élargie pour faire partie d'une classification contextuelle. Dans les approches de classification contextuelle, un pixel est classé d'après des caractéristiques spectrales, ainsi que d'après celles des pixels environnants. Un type de classification contextuelle est la classification des textures. Dans cette approche, la variance des pixels dans une certaine fenêtre autour du pixel central, par exemple, une fenêtre de cinq pixels sur cinq, est utilisée comme base de la classification. Un autre type pourrait avoir recours à la moyenne, ou à une autre mesure des pixels dans cette fenêtre. Une méthode de pondération peut aussi être utilisée afin d'appliquer des coefficients différents aux pixels qui sont les plus proches ou les plus éloignés du pixel central que l'on essaie de classer.

La segmentation d'image, une autre approche contextuelle, est une méthode statistique qui regroupe des pixels contigus en zones (segments) relativement homogènes. La segmentation représente en général une étape intermédiaire avant la classification, et les algorithmes de segmentation permettent à un analyste de préciser la taille et la forme relatives des segments. L'image segmentée qui en résulte peut ensuite être classée au niveau du segment, plutôt que du pixel, procurant ainsi des informations supplémentaires qui pourront être utilisées par l'algorithme de classification, ou par l'analyste lors de la mise au point des sites de données d'entraînement.

³² http://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_home.htm

Chacune des approches ci-dessus peut être appliquée à une seule image à la fois, ou à des mosaïques d'images de la même région et de la même période. Elles peuvent aussi servir pour les données d'images multitemporelles, c.-à-d., à des images de début et de fin d'une période d'étude. Ceci permet une estimation directe des changements et de la continuité à partir de l'imagerie multitemporelle. Une certaine forme de processus d'« estimation directe des changements » est habituellement recommandée pour l'estimation des changements. Ce processus inclut aussi une étape unique de classification qui produit une classification à deux dates, plutôt que la classification de deux images individuelles et deux sorties de classification à une date, qui pourraient toutes deux comporter des erreurs. Ces erreurs s'accentueraient lors de la combinaison des deux cartes au cours du post-traitement.

Certaines approches semi-automatiques récentes ont davantage recours aux archives de données qu'à une image unique d'une date de début et à une autre d'une date de fin. Ces approches peuvent être basées sur le signal saisonnier de différents types de végétation et mesurent les changements basés sur les points où des anomalies au sein de ces signaux saisonniers sont détectées (voir, par exemple, Friedl et al., 2010 ou Jiang et al., 2012). D'autres approches collectent toutes les données disponibles, comme l'ensemble des archives Landsat, et créent de nombreuses mesures multitemporelles, comme la « tendance linéaire de la réflectance rouge » ou la « réflectance maximum de l'infrarouge moyen enregistrée depuis la date initiale » (par ex., Hansen et al., 2008a ; 2008b). Ces données ont beaucoup d'importance parce que des signaux à durée de vie courte de changement d'affectation des terres sont bien plus susceptibles d'être captés, et toutes les données disponibles sont utilisées, ce qui peut être critique dans les régions nuageuses.

Reproduction et interaction de l'analyste par opposition à l'automation

Dans le cas de l'estimation de la déforestation, nombre d'études faisant intervenir l'interaction d'un analyste ont produit des estimations justes du couvert forestier national. Les mesures auraient semble-t-il souvent été exactes dans plus de 90 % des cas (par ex., Harper et al., 2007 ; Lindquist et al., 2008 ; Evans et al., 2010 ; Longpé et al., 2011) ; l'exactitude pour les catégories d'utilisation des terres comme l'agriculture et les prairies tend à être plus faible, généralement entre 70 et 80 %, et ces estimations sont habituellement dérivées d'études locales plutôt que nationales.

Au cours des dernières années, les méthodes automatiques de traitement des données satellitaires font l'objet d'une recherche inestimable. Ceci concerne surtout les étapes de post-traitement, bien que dans certains cas l'étape de classification ait aussi été incluse. Par exemple, des approches automatisées largement publiées existent pour une série d'étapes de prétraitement, puis l'estimation réelle du changement est faite en ayant recours à un ensemble de règles ou à une classification numérique assistée par l'interprétation d'un analyste (Souza et al., 2005; Masek et al., 2008). Inversement, l'Atlas de la déforestation de la République démocratique du Congo fut réalisé entièrement par une approche automatisée (Hansen et al., 2008a).

Il existe une grande gamme d'options permettant d'automatiser l'étape de classification. Par exemple, les algorithmes de classification pourraient être basés sur des règles, sous forme de seuils appliqués aux données de réflectance, ou aux données dérivées dans d'autres unités. Dans ce cas, la validité des résultats dépendrait énormément de la correction précise et de la normalisation des images pendant l'étape de prétraitement. Par ailleurs, si l'on a recours à un nombre relativement faible de règles, l'hypothèse que des résultats exacts peuvent être réalisés sur de grandes régions, avec peu de règles, doit être valable. Ce cas n'est pas courant et devrait être soumis à des tests. Ces règles en question, par exemple, peuvent ne produire des résultats exacts que sur certaines parties de la région d'étude où les types de couvert sont différenciés le plus facilement avec les données spectrales, ou pour des catégories distinctes en matière de spectre, comme l'eau foncée ou claire, la neige et les zones non forestières comme les zones urbaines et le sable et le sol exposés. Même si l'estimation rapide du couvert et des

changements basés sur ces règles pouvait être réalisée pour une grande partie du pays, les régions ou classes restantes devront être estimées par le biais d'autres approches.

Un autre exemple d'automation de l'étape de classification pourrait concerter le processus de collecte de données sur les sites d'entraînement. Hansen et al. (2008b) ont pris comme échantillon une carte de végétation existante pour créer des points d'entraînement. Même si les résultats sont encourageants, des tests supplémentaires devraient avoir lieu dans d'autres régions, surtout dans les régions ou zones montagneuses avec plus de végétation décidue. Une approche connexe est d'avoir recours à des méthodes traditionnelles d'interprétation pour localiser les sites d'entraînement pour les catégories, comme l'approche habituelle de classification supervisée. Un vaste ensemble de sites d'entraînement pourrait être établi pour le pays entier, ou pour diverses strates à l'intérieur du pays. Une fois que l'on aura confirmé l'utilisation de cet ensemble pour produire une carte exacte, les mêmes sites d'entraînement pourraient être appliqués à de nouvelles données des années plus tard, afin de calculer les nouvelles signatures spectrales des catégories à utiliser avec la nouvelle imagerie. L'approche pourrait être automatisée une fois qu'un ensemble de données d'entraînement est défini, tandis que l'on tient compte des variations spectrales au sein des nouvelles données chaque fois que ces nouvelles données sont combinées avec les emplacements des sites d'entraînement.

Les pays pourraient automatiser toutes les étapes d'une méthodologie, sauf les dernières, pour estimer les changements. Un autre moyen serait d'automatiser l'estimation des changements les plus notables (par ex., la coupe à blanc des forêts) tout en ayant recours à une méthode moins automatique pour évaluer les moins visibles. À défaut, un pays pourrait choisir de suivre certaines parties du pays où la surveillance automatique conviendrait le mieux, comme les régions où la topographie est peu accidentée et la couverture de nuages modérée. Les régions difficiles sont susceptibles de requérir la coopération plus directe d'un analyste afin d'obtenir des résultats exacts. Le fait que la communauté scientifique ait recours à une vaste gamme d'approches indique qu'il n'y a pas de réponse unique qui soit la meilleure et que les pays doivent évaluer les options à leurs dispositions. Ce faisant, ils devraient chercher un équilibre optimal entre l'exactitudes des estimations finales, la reproduction de la méthodologie et le coût.

Post-traitement

Le post-traitement se rapporte à toute étape menée après celle de la classification, et les étapes du post-traitement requis varieront selon l'approche de classification et les caractéristiques souhaitées dans la carte finale du produit utilisée pour calculer les domaines des catégories.

Si la méthodologie de classification inclut la création de sous-classes fusionnées dans les catégories finales souhaitées, cette étape devrait être réalisée en premier. Chaque classe incluse dans le fichier de sortie de la classification est associée à un chiffre, et la fusion peut être faite en recodant les valeurs de toutes les sous-catégories en leur attribuant une valeur qui représente la classe finale. Dans le cas où une classification à deux dates n'a pas eu lieu, l'étape suivante devrait s'appliquer aux deux classifications pour créer une carte de changements à deux dates. Les valeurs des classifications provenant des deux dates devraient être recodées pour constituer la base d'une carte de classification finale qui enregistre les catégories de changements et de continuité. Cependant, il est à remarquer que la section précédente recommande d'estimer directement les changements à partir d'images multitemporelles. Avec la détection directe des changements, produisant une classification à deux dates, les classifications de sortie auront déjà les valeurs représentant les catégories de changements et de continuité et, par conséquent, l'étape précédente concernant le recodage ne serait pas nécessaire. De plus, les erreurs présentes dans chaque classification à une date ne seraient pas accentuées dans la sortie de la classification fusionnée.

Après avoir recodé les valeurs des classes finales, il est généralement recommandé de procéder à un filtrage. Le filtrage est justifié pour deux raisons. Premièrement, afin d'éliminer les petites erreurs associées à la microtopographie et à d'autres effets locaux qui produisent un motif moucheté de cellules d'une grille mal classées, et deuxièmement afin d'éliminer les taches inférieures à une MMU (unité cartographique minimale) souhaitée ou à la taille minimum des taches dans une définition de classe nationale. Il est à noter que nous utilisons le terme cellule et non pixel lorsque nous parlons de sorties de classifications plutôt que d'images spectrales. Certaines méthodes de classification ont davantage tendance que d'autres à produire ces erreurs, mais ce sont des artefacts courants qu'il est bon d'enlever.

Deux types généraux de filtres sont employés couramment, et peuvent être utilisés en séquence. Les « filtres locaux » sont basés sur les valeurs de classes voisines (à l'intérieur d'une fenêtre de trois-sur-trois) d'une cellule centrale. Un type commun est un filtre majoritaire local, où la cellule centrale est reclassée à la valeur de la cellule la plus courante au sein de la fenêtre. Ceci n'enlève pas uniquement le motif moucheté, mais atténue aussi les bords irréguliers, ce qui n'est pas obligatoirement souhaitable. Pour les petites fenêtres, comme une fenêtre de trois-sur-trois, cette opération est subtile. Le second type de filtre est un filtre tamis. Dans ce cas, les taches de cellules ayant la même valeur sont identifiées, et les taches inférieures à la taille définie par l'utilisateur sont éliminées. Comme nous l'avons mentionné plus haut, ce procédé est utile parce que le produit final aura une MMU définie qui correspondra à la définition nationale de la forêt d'un pays.

Calcul des taux de changements

Plusieurs facteurs doivent être étudiés avec soin lorsque l'on calcule les taux de changement. Premièrement, les images sources peuvent ne pas dater du début et de la fin exactes de la période signalée, surtout lorsque la couverture nuageuse restreint le traitement des images optiques. Par exemple, nombre d'études faisant état de changements sur cinq ou dix ans ont recours à des images prises dans un intervalle d'un ou deux ans avant ou après chaque date cible. Dans ce cas, les superficies d'étude devraient être divisées en surfaces où les paires d'images représentant le début et la fin ont différents intervalles de temps entre elles. Par exemple, pour une étude menée entre 2000 et 2010, une partie de l'analyse peut être basée sur des images datant de la période entre 2001 et 2009, tandis qu'une autre concernera des images de 1999 à 2011. Ces surfaces doivent être définies et enregistrées comme ayant une différence de huit à douze ans entre leurs dates, et des taux de changement calculés pour chaque superficie avec une différence donnée, et pour chaque strate. Dans ce cas, chaque strate de forêt subissant un changement au cours des huit ans aurait une saisie, et chaque strate de forêt connaissant un changement au cours des douze ans aurait une saisie. Ceci permet de faire une extrapolation temporelle pour chaque surface dans chaque strate, dans ce cas pour une période de dix ans.

Les lacunes au sein des données, provenant de la couverture nuageuse ou d'autres raisons, doivent aussi être prises en compte. Si la notification se fait en unité de pourcentage, il faut prendre en considération si la surface échantillonnée, qui peut représenter la majorité de la superficie d'étude, est représentative de l'ensemble de la zone d'étude. Si le rapport se fait en unités absolues, il faudra faire une extrapolation, ce qui pourrait justifier une autre stratification afin que les taux de pourcentage ne soient pas extrapolés dans des surfaces très différentes et donc mal représentés par ces taux lorsque les données existent. Après avoir extrapolé les taux de pourcentage, les taux peuvent être convertis en valeurs absolues en les combinant avec la superficie forestière au début de la période de notification. Dans cette étape, les données sur le changement peuvent être combinées avec celles des strates de forêt, afin de rendre compte des changements pour chaque strate de forêt.

Troisièmement, si l'analyse n'était pas pour une seule année, le taux total devrait se rapporter à la période de temps entière, au lieu d'être exprimé par unités par an. Dans l'exemple de la période entre 2001 et 2009 ci-dessus, si l'objectif est d'établir un rapport en unités de pourcentage par an, alors la

correction doit avoir lieu. Ce calcul se fait d'après les superficies forestières aux dates de début et de fin :

$$\text{Taux de changement annuel} = [(\text{zone } t_2 / \text{zone } t_1) \wedge (1 / (\text{date } t_2 - \text{date } t_1))] - 1$$

où t_1 et t_2 sont le début et la fin de la période de temps de l'étude, en années (Puyravaud, 2003).

Évaluation de l'exactitude

L'incertitude est l'erreur au sein d'une estimation particulière, dans ce cas l'estimation d'une superficie de changement au cours du temps. L'exactitude égale un moins la valeur de l'erreur, et donc l'évaluation de l'exactitude désigne aussi l'évaluation de l'erreur ou de l'incertitude. Effectuer l'évaluation d'une exactitude d'une carte thématique représente une composante très importante du processus. Une évaluation de l'exactitude permet d'estimer les erreurs de la carte et de quantifier l'incertitude, apportant ainsi une explication supplémentaire des résultats et leur validité. Les principaux éléments d'une évaluation de l'exactitude sont la matrice d'erreur, ou la matrice de confusion et les statistiques associées (Congalton, 1991). La matrice d'erreurs est créée en comparant les résultats de classification aux données de référence. Les statistiques incluent l'exactitude globale, et l'exactitude de production et de l'utilisateur pour chaque catégorie contenue dans le produit. Le coefficient Kappa peut aussi être calculé, mais beaucoup d'articles soulignent les limites de cette statistique (Olofsson et al., 2012 ; Pontius et Millones, 2011 ; Foody, 2002).

Dans l'exemple de matrice d'erreur du Tableau 5.3, les colonnes contiennent des utilisations des terres vérifiées et les rangées contiennent des utilisations estimées tirées de la classification. Les valeurs suivant la diagonale sont les nombres des pixels classés correctement, et ceux hors des diagonales sont les erreurs d'omission et de commission. L'exactitude globale est la portion du nombre total de pixels cartographiés correctement.

L'exactitude de production indique combien de fois un pixel est associé correctement à une classe spécifique. Cette statistique est basée sur des erreurs d'omission, c.-à-d., combien de fois un pixel fut omis de manière incorrecte de la classe. L'exactitude de l'utilisateur indique combien de fois un pixel fut associé à une classe donnée de manière incorrecte. Ceci est basé sur des erreurs de commission, c.-à-d., combien de fois un pixel fut inclus de manière incorrecte dans une classe. Dans le tableau exemple, l'exactitude de production pour la forêt dégradée est : $100 \times 1.890 / 2.040 = 92,6\%$. L'exactitude de l'utilisateur pour la même catégorie est : $100 \times 1.890 / 2.000 = 94,5\%$.

TABLEAU 5.3 : EXEMPLE D'UNE MATRICE D'ERREUR ET DE L'EXACTITUDE GLOBALE RESULTANTE. DANS CE CAS HYPOTHETIQUE, LES TOTAUX D'UTILISATION DES TERRES SONT LES MEMES QUE CEUX DU DEBUT DE LA PERIODE AU TABLEAU 5.1

		Référence			
		Forêt	Forêt dégradée	Non-forêt	Total carte
Carte d'utilisation des terres	Forêt	9.880	90	30	10.000
	Forêt dégradée	70	1.890	40	2.000
	Non-forêt	10	60	3.930	4.000
	Total référence	9.960	2.040	4.000	16.000

Exactitude de production (%)		Exactitude de l'utilisateur (%)	
Forêt	99,2	Forêt	98,8
Forêt dégradée	92,6	Forêt dégradée	94,5
Non-forêt	98,3	Non-forêt	98,3

Le changement d'affectation des terres comme les matrices d'erreur sont des formats courants pour la notification des changements d'affectation des terres et des erreurs. Même s'ils diffèrent du format de tableau de notification du GIEC, présenté à la fin du chapitre 3, les données peuvent être facilement transférées. Il est utile de calculer ces statistiques pour les différentes strates de la superficie à l'étude, puisque cela permet de combiner les erreurs avec les erreurs faites au regard des stocks de carbone pour chaque strate. Ce calcul permet aussi d'évaluer où privilégier les améliorations, c.-à-d., quelles parties de l'inventaire des GES apportent le plus d'erreurs aux estimations des GES et devraient être révisées dans le cadre de la KCA.

Les exemples du Tableau 5.3 démontrent l'estimation de l'erreur dans le couvert d'utilisation des terres pour une date unique. Pourtant, les pays doivent estimer les erreurs dans les estimations du changement d'affectation des terres dans le temps. Les évaluations de l'exactitude pour plusieurs dates ont recours à l'information disponible provenant de deux dates. Une approche appropriée est l'utilisation d'une interprétation visuelle, soigneuse, recoupée d'une combinaison de l'imagerie à très haute résolution, en même temps que l'imagerie utilisée dans la classification même. Plusieurs interprètes peuvent prendre part à l'activité et la cohérence de leur interprétation peut indiquer la confiance au regard de l'ensemble des données de validation. Des enquêtes de terrain peuvent s'avérer utiles pour les classes les plus difficiles à interpréter, même en présence d'une imagerie à très haute résolution, telles que la forêt dégradée. Une fois l'estimation de l'erreur au regard d'une superficie particulière de changement, ou

AD, faite, elle peut être combinée avec l'erreur de variation en matière des stocks par unité de surface par le biais d'inventaires sur le terrain. Ce calcul peut se faire au moyen de l'Équation 5.2.2 des « Recommandations en matière de bonnes pratiques pour l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie » (GPG –UTCATF) de la CCNUCC (2003) pour la propagation d'erreurs, de manière semblable à l'application décrite au Chapitre 4.

Les estimations des superficies ajustées compte tenu de l'erreur, telles que celles décrites dans Olofsson et al. (2013), utilisent l'information disponible dans la matrice, et la superficie totale de chaque classe identifiée dans la carte, pour produire des erreurs ajustées compte tenu des superficies basées sur la surface proportionnelle de chaque classe et les erreurs identifiées dans la matrice. Les matrices d'erreur et les évaluations de l'exactitude peuvent aussi être étendues et fournir des informations sur l'intervalle de confiance (IC). Ce point est particulièrement important parce qu'il quantifie la confiance d'une classe particulière, procurant ainsi des données supplémentaires. Olofsson et al. (2013) décrivent un processus permettant de créer les limites de l'IC d'après les matrices d'erreur ajustées en fonction de la surface.

En outre, il convient de tenir compte d'une classe rare lorsque l'on met au point une stratégie de validation (Stehman et al., 2010). Ce type de conception d'échantillonnage proportionnel garantit le prélèvement d'un échantillonnage satisfaisant dans les classes moins fréquentes, mais essentielles, comme celle de la déforestation. La conception de l'échantillonnage pourrait porter principalement sur les surfaces de déforestation identifiées sur la carte, et avoir recours à une stratification pour catégoriser les surfaces ayant une probabilité élevée de changement et celles ayant une faible probabilité de changement. L'échantillonnage proportionnel pourrait alors être axé sur ces strates pour garantir que chaque classe est correctement représentée dans l'analyse de validation.

La Section 3.7 de la Documentation sur les méthodes et recommandations de l'Initiative mondiale de l'observation des forêts (GFOI MGD) (GFOI, 2013), recommande les aspects à envisager pour produire des données de référence et effectuer une évaluation de l'exactitude. Ces considérations incluent : i) garantir que les données de référence sont d'une qualité supérieure aux données de la carte (par exemple, l'interprétation manuelle d'une image par un analyste est généralement considérée de meilleure qualité qu'un algorithme de classification automatique) et ii) combiner les sources de données de référence (c.-à-d., des enquêtes sur le terrain et aériennes qui peuvent s'avérer relativement rentables dans le cas de ressources limitées). La GFOI MGD fournit aussi deux exemples d'approches pour mener l'évaluation de l'exactitude et l'estimation de la surface ; une approche stratifiée et une basée sur les modèles.

Olofsson et al. (2014) examinent aussi à fond les recommandations de bonne pratique pour produire des estimations transparentes et « rigoureuses d'un point de vue scientifique » et des estimations de surface basées sur le changement pendant l'intervalle entre le temps un et et le temps deux. Ils procurent des détails sur trois étapes distinctes qui pourraient être suivies pour compléter l'évaluation de l'exactitude, y compris : i) la conception de l'échantillonnage, qui répond à la question, « quel est un sous-ensemble de surface convenable à échantillonner ? », étant donné que l'évaluation de la carte entière est impossible ; ii) la conception de la réponse, qui répond à la question, « les cartes et les données de référence concordent-elles » ; et iii) l'analyse, qui répond à la question, « comment calculer l'exactitude et quantifier l'incertitude ? ».

L'évaluation de l'exactitude est très importante, et les programmes MNV devraient travailler avec des statisticiens chevronnés pour mettre au point des stratégies permettant de valider l'échantillonnage et de combiner l'information sur les incertitudes contenues dans les AD avec celles des EF. Ces mesures conduiront à une estimation plus solide des incertitudes globales dans les GES estimés.

5.5 DOMAINES ÉMERGENTS EN MATIERE DE RECHERCHE

Plusieurs domaines faisant l'objet de recherche particulièrement intense dans le cadre des activités de la REDD+ comptent : la cartographie et la surveillance de la dégradation des forêts, l'utilisation d'autres ressources de données télédéetectées, comme RADAR, dans la surveillance et le recours croissant à l'échantillonnage sur le terrain pour faciliter la validation du produit de télédétection.

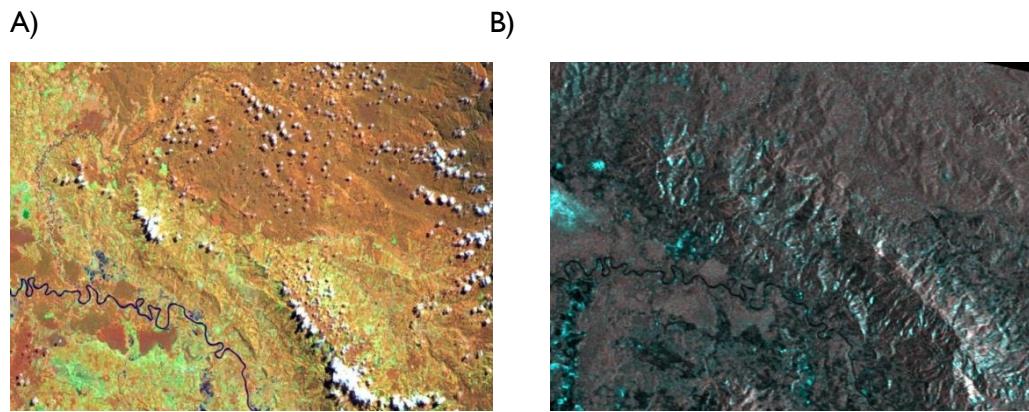
5.5.1 Cartographie et surveillance de la dégradation des forêts

La dégradation des forêts contribue largement aux émissions de GES provenant du changement d'affectation des terres (Nepstad et al., 1999 ; Souza et Roberts, 2005 ; Stickler et al., 2009 ; GOFC-GOLD, 2012 ; Hirata et al., 2012), avec des émissions représentant entre 20 et 50 % des émissions totales de GES provenant de l'affectation des terres sur de vastes régions (voir, par exemple, Houghton et Hacker, 1999 ; Lambin et al., 2003 ; Asner et al., 2005). La cartographie et la surveillance de la dégradation des forêts restent des défis à relever. Il existe de multiples définitions de la dégradation de la forêt, ce qui complique encore la cartographie et la surveillance de cette manifestation. La définition du GIEC concernant la dégradation de la forêt est fournie dans la section 5.2.1. À l'inverse, la GOFC-GOLD (Observation mondiale des dynamiques de couverture forestière) (2012) présente un éventail d'activités menées par l'homme qui aboutissent à la dégradation de la forêt, incluant l'exploitation forestière par coupe sélective, les feux de forêts (couvert et sous-couvert) et la collecte de bois de chauffe. Ces activités variées peuvent demander différentes méthodes de surveillance, et un pays doit faire son possible pour comprendre les implications et les aspects des applications des diverses approches. Les lecteurs doivent aussi se référer aux sections ayant trait au Recueil GOFC-GOLD (SourceBook, GOFC-GOLD) et à la GFOI MGD.

5.5.2 L'utilisation d'autres sources de données télédéetectées pour la cartographie et la surveillance de la dégradation des forêts

Un second domaine de recherche appuyant les activités de la REDD+ est l'utilisation d'autres sources de données télédéetectées, comme RADAR, pour cartographier et suivre l'étendue et les caractéristiques des forêts, la déforestation et la dégradation. Plusieurs caractéristiques de RADAR en font une source d'informations attrayante pour une telle application. Premièrement, parce que les capteurs RADAR fonctionnent à des longueurs d'onde plus grandes (généralement entre 1 cm et 1 m) du spectre EM que les capteurs optiques, par exemple, ils peuvent pénétrer les nuages et sont donc utiles pour surveiller les régions avec une couverture nuageuse persistante. En outre, les signaux reçus par le capteur étant moins affectés par les conditions atmosphériques, et les propriétés du rayonnement émis en provenance des capteurs actifs étant contrôlées et bien connues, les images RADAR sont directement comparables au cours du temps. Les signaux RADAR sont sensibles aux propriétés géométriques d'une forêt, procurant des informations sur la répartition de la biomasse aérienne. La Figure 5.11 illustre un détail d'une image Landsat en comparaison d'une image satellitaire PALSAR pour une région à San Martín, Pérou.

FIGURE 5.11 : EXEMPLES D'IMAGES LANDSAT ET RADAR, DU PEROU. LES OBSERVATIONS DU SOL DANS LES DONNEES LANDSAT DE L'IMAGE A) SONT PARTIELLEMENT OBSCURCIES PAR LES NUAGES, ALORS QUE L'IMAGE PALSAR B) EST DENUEE DE NUAGES. MEME SI LES VARIATIONS LUMINEUSES DANS LES DEUX IMAGES SONT INFLUENCEES PAR LE TERRAIN, CE FAIT SE REMARQUE PLUS SUR LA DERNIERE IMAGE.



Les paragraphes ci-dessous présentent brièvement une sélection de concepts de télédétection active. Ces concepts sont essentiels pour comprendre les caractéristiques élémentaires des données de télédétection active. RADAR mesure la distance entre un objet au sol et le capteur en fonction de la force des ondes radio qui sont transmises sous forme de pulsations de faisceaux micro-ondes, dirigées par une antenne, qui illuminent une bande de surface de la terre (fauchée). L'intensité du signal qui est rétrodiffusé au récepteur à partir de cette énergie transmise est enregistrée en tant que signal de retour, et la distance est calculée d'après le temps écoulé pour que le signal RADAR fasse un aller retour complet. La pulsation suivante transmise illumine la bande de terre adjacente suivant la fauchée, et une image bidimensionnelle est créée (chaque pulsation définit une ligne).

Comme avec les capteurs optiques, les capteurs RADAR exploitent différentes bandes de longueurs d'onde. Une bande de longueur d'onde plus courte, telle qu'une bande X ($\lambda = 3 \text{ cm}$) est susceptible de ne pénétrer que la couche supérieure d'un couvert forestier, alors qu'une bande P ($\lambda = 23 \text{ cm}$) peut être capable de pénétrer les feuilles et les petites branches, donnant ainsi des informations sur les grosses branches et les troncs des arbres. Ainsi, les images de la bande P produites sont importantes pour mesurer la biomasse de la végétation et les stocks de carbone aériens.

La rugosité de la surface, la forme géométrique et les propriétés diélectriques d'un objet influencent aussi l'information reçue par le capteur RADAR. La rugosité de la surface est un terme relatif qui dépend de la longueur d'onde du système RADAR. Par exemple, les objets de petite taille comme les feuilles et les rameaux sont considérés comme rugueux pour les petites longueurs d'onde RADAR, mais lisses pour les longueurs d'onde RADAR plus grandes, comme celle de RADAR à bande P. Les plans d'eau tendent à être relativement lisses, et la plupart de l'énergie est réfléchie loin du RADAR, tandis que les arbres et autres sortes de végétation sont rugueux, causant une rétrodiffusion, et produisant ainsi une apparence lumineuse sur une image RADAR.

La différence en intensité des retours RADAR provenant de deux surfaces d'égale rugosité est une indication de la différence au regard de leurs propriétés diélectriques, et celles-ci sont largement influencées par l'humidité qu'elles contiennent. Par exemple, la luminosité de surfaces couvertes de sol nu peut varier selon la rugosité et le taux d'humidité du sol. Pour des types de sol de rugosité semblable, la surface ayant le taux d'humidité le plus élevé paraîtra plus lumineuse.

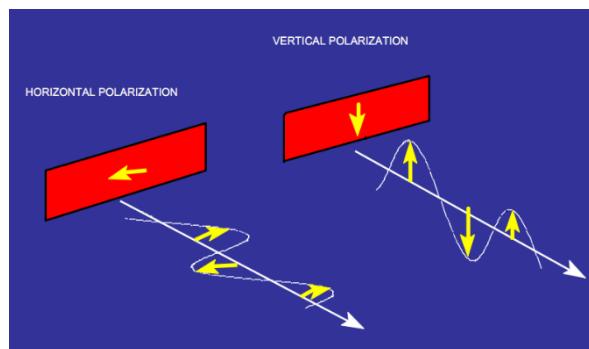
Une caractéristique essentielle des données RADAR que l'on ne trouve pas dans la plupart des données optiques est la polarisation ; elle est décrite ci-dessous. En dehors de la polarisation, plusieurs caractéristiques supplémentaires démarquent les instruments et les données RADAR de leurs équivalents et il est utile de les comprendre. Ces instruments incluent le RADAR d'ouverture synthétique à visée latérale (SAR) en phase, l'interférométrie et la polarimétrie ; ils sont évoqués dans l'Encadré 5.5

La polarisation se rapporte à l'orientation du champ électrique en ce qui concerne la direction de propagation. Dans la télédétection active, le champ électrique du rayonnement résultant a une orientation optimale. La polarisation linéaire est la plus courante pour la télédétection RADAR, où le champ électrique rayonné est orienté horizontalement (polarisation horizontale) ou verticalement (polarisation verticale) pour ce qui est de la direction de propagation, comme l'indique la Figure 5.12. Un capteur qui peut transmettre des ondes polarisées horizontalement (H) ou verticalement (V) et qui reçoit les deux produira les quatre images polarisées suivantes :

- HH : transmission horizontale et réception horizontale ;
- VV : transmission verticale et réception verticale ;
- HV : transmission horizontale et réception verticale et
- VH : transmission verticale et réception horizontale.

Certains satellites aéroportés, incluant RADARSAT-1 et ERS-1/2 n'ont qu'une seule polarisation (RADARSAT-1 avec HH et ERS-1/2 avec VV), alors que d'autres satellites, y compris RADARSAT-2, ENVISAT et ALOS/PALSAR acquièrent des données avec quatre polarisations (quadruple polarisation) ou deux polarisations (double polarisation). L'exposé ci-dessous inclut une sélection d'applications SAR qui présentent un intérêt pour les activités de la REDD+.

FIGURE 5.12 : POLARISATIONS HORIZONTALES ET VERTICALES



Traduction: POLARISATION HORIZONTAL POLARISATION VERTICALE

ENCADRE 5.5 : CARACTERISTIQUES SUPPLEMENTAIRES DE RADAR

La **Phase** décrit la relation de l'avance, ou du retard, d'une onde électromagnétique par rapport à une onde de référence de la même longueur d'onde, et elle est exprimée en degrés. Une phase de 360 degrés représente un cycle complet et, par conséquent, une onde ayant un retard d'un quart de longueur d'onde sur l'onde de référence a une phase de 90 degrés.

La plupart des capteurs RADAR sont aussi des instruments à **visée latérale**, contrairement à nombre de capteurs optiques qui acquièrent l'imagerie au point le plus bas (c.-à-d., qu'ils observent un emplacement situé directement sous le capteur). Cette capacité transversale, appelée RADAR à visée latérale (SLR), introduit des distorsions géométriques diverses, incluant les effets de rapprochement, de repliement et d'ombre qui requièrent une correction complète ou partielle.

Certains systèmes de télédétection RADAR, comme les systèmes d'**ouverture synthétique à visée latérale** (SAR), ont la possibilité de réaliser une résolution relativement haute sans avoir recours à une grande antenne. Les données sont généralement traitées par des distributeurs de données en produit Singulier complexe, contenant les informations concernant l'amplitude et la phase, ainsi qu'une gamme de produits dérivés qui sont habituellement géocodés, orthorectifiés et corrigés radiométriquement. Et, même si des distorsions géométriques et radiométriques causées par le terrains sont susceptibles de subsister, ces produits traités et dérivés conviennent généralement mieux à la cartographie. Le moucheté est l'une des distorsions qui peut subsister. Le moucheté SAR cause des variations en intensité d'un pixel à l'autre, même sur une surface homogène ; cette texture granuleuse « poivre et sel » dégrade la qualité de l'image et complique l'interprétation. Cet effet peut être amélioré en calculant la valeur moyenne de la réponse de rétrodiffusion dans un pixel, bien que cela puisse en fait réduire la résolution ; on peut aussi appliquer des filtres de lissage.

Un autre concept RADAR valable est l'**interférométrie** SAR. Comme mentionné dans l'introduction, une image RADAR contient des informations sur l'intensité du signal et sur la phase. Si deux images SAR ont été obtenues sur la même surface à partir de positions d'antennes très proches, les longueurs différentes des trajets optiques à partir de ces positions à l'objet sur la surface de la terre causent des phases différentes. La différence de trajet est géométriquement liée à la distance entre les deux antennes et à l'altitude du terrain. Puisque les positions des antennes sont connues avec précision, les différences observées entre les phases peuvent servir à déduire des informations tridimensionnelles sur l'altitude du terrain. La technique s'appelle l'Interférométrie SAR.

Enfin, la **polarimétrie** SAR est un concept RADAR utile. Comme soulevé plus haut, il est possible de mesurer plus de paramètres à partir d'un système RADAR de polarisation, comparé au RADAR monocanal. Les bandes de polarisation différentes peuvent contenir des informations uniques et supplémentaires sur l'objet de surface. Par exemple, un signal réfléchi d'un tronc d'arbre vers la surface du sol est susceptible d'avoir des variations distinctes de polarisation par rapport aux signaux réfléchis directement du sol. Les objets des surfaces qui dispersent sont orientés verticalement et montrent une forte rétrodiffusion en imagerie polarisée verticalement et une faible rétrodiffusion en imagerie horizontalement polarisée. Ces données uniques sont importantes pour arriver à faire la distinction entre les différents types de couverture terrestre.

5.5.3 Applications de l'utilisation du système SAR

L'utilisation des données SAR pour établir la cartographie des forêts, mesurer et surveiller la biomasse aérienne (AGB), et mettre à l'échelle les mesures d'AGB évaluées au sol sont de plus en plus fréquentes. Plusieurs études ont testé la possibilité d'avoir recours au canaux RADAR combinés de différentes fréquences pour la surveillance de la déforestation. Par exemple, Saatchi *et al.* (1997) ont eu recours aux données C-SIR pour cartographier les types de couverture terrestre et surveiller la déforestation dans les tropiques, en privilégiant la caractérisation de plusieurs pratiques de coupes à blanc et les caractéristiques de la régénération forestière. Ils ont aussi cartographié des trouées dans le couvert forestier et la fragmentation des forêts, et ont trouvé ces données utiles pour délimiter les surfaces subissant divers degrés de perturbation de la forêt. Rignot *et al.* (1997) ont comparé les données SIR-C avec celles du Landsat TM dans un site d'essai à Rondonia, Brésil ; même si les données Landsat TM ont produit une classification plus précise de l'étendue de la déforestation, l'utilisation combinée de l'imagerie Landsat et RADAR a amélioré encore la précision de la cartographie.

La mise à disposition systématique récente de données SAR entièrement polarimétriques en provenance de ALOS-PALSAR, ENVISAT et RADARSAT-2 ont conduit à la recherche d'une classification plus poussée à l'égard de la couverture terrestre en ayant recours à l'imagerie SAR. Walker *et al.* (2010) ont évalué la disponibilité des données PALSAR et LANDSAT pour classer et cartographier la couverture forestière à la source du Xingu dans la partie sud-est d'Amazonie, produisant des exactitudes globales de 92 et 94 % avec PALSAR et Landsat, respectivement, pour la forêt, par opposition aux classifications non-forêt. Ils ont aussi trouvé un degré important de similarité spatiale parmi les cartes établies à partir des données PALSAR, Landsat et des données existantes du *Projeto De Estimativa De Desflorestamento da Amazonia* (PRODES), Projet de surveillance de la déforestation de l'Amazonie brésilienne.

Outre les informations polarimétriques, les données polarimétriques interférométriques SAR (PolInSAR) procurent des renseignements interférométriques (voir l'Encadré 5.5) liés à la structure et à la complexité des objets observés. La classification des changements de l'affectation des terres peut être grandement améliorée en combinant les informations polarimétriques et polarimétriques interférométriques (Shimoni *et al.*, 2009). De plus, la fusion des données spatiales et texturales résultant des diverses polarisations SAR s'est avérée améliorer les résultats de classification (Borghys *et al.*, 2006).

Les données SAR sont aussi en cours d'évaluation pour la mise à l'échelle de l'AGB basée sur le terrain et pour la surveillance des changements sur de grandes échelles (Lu, 2006 ; Mitchard *et al.*, 2009). Ces données sont sensibles aux propriétés géométriques de la forêt et directement liées aux mesures de l'AGB. Pourtant, cette sensibilité semble arriver à saturation lorsque les niveaux de biomasse atteignent environ 100 tonnes ha⁻¹ (Imhoff *et al.*, 2000) et approximativement 81 % des forêts mondiales dépassent cette limite de saturation (Nelson *et al.*, 2007).

Dernièrement, des données provenant de PALSAR, le premier satellite SAR à grandes longueurs d'onde (bande L, 25 cm) avec la capacité de collecter les réponses orthopolarisées, a produit des estimations améliorées de l'AGB avec peu ou pas de saturation, jusqu'à 250-300 tonnes par hectare selon la capacité orthopolarisée du capteur à exploiter la forte réponse des objets tridimensionnels, comme les arbres, en comparaison du sol nu. Mitchard *et al.* (2011) ont eu recours aux données de rétrodiffusion provenant de RADAR à bande L à ouverture synthétique datant de 2007 pour produire des cartes de la biomasse d'une région d'écotone forêt-savane dans le centre Cameroun, caractérisée par une déforestation et une dégradation à petite échelle. Ils ont trouvé que les données RADAR détectaient les changements dans une vaste classe d'AGB dans les zones de transition entre la forêt et la savane avec une exactitude de 95 %. De même, Ryan *et al.* (2012) ont créé des cartes de la biomasse et des variations des stocks de carbone avec des incertitude connues en ayant recours à l'imagerie PALSAR dans une région du centre du Mozambique, produisant des cartes d'une précision suffisante pour que

l'on puisse y détecter des variations au niveau des stocks de carbone forestier aussi faibles que 12 tonnes par hectare sur 3 ans, avec un niveau de confiance de 95 %. Mitchard et al. (2012) ont utilisé une combinaison de données PALSAR, LiDAR (ICESAT GLAS) aéroportées et terrestres pour cartographier l'AGB dans le Parc national de Lopé au Gabon.

Même si ces résultats mettent en valeur les possibilités associées au RADAR d'imagerie aéroporté pour estimer la surface et la biomasse des forêts, cette méthode comporte aussi des inconvénients et l'histoire de l'utilisation des données SAR à des fins de classification de la couverture terrestre est relativement récente. Une faiblesse importante avérée lorsque l'on a recours aux données SAR et qu'on les analyse concerne la difficulté rencontrée lors de l'interprétation de la rétrodiffusion RADAR en comparaison des données spectrales optiques (Saatchi et al., 2000). La présence de l'effet topographique et moucheté complique à la fois l'analyse visuelle et numérique des images RADAR, aussi, les surfaces complexes comportant une plus grande abondance de forêts secondaires peuvent produire des exactitudes nettement inférieures. Par ailleurs des évaluations supplémentaires sont nécessaires pour juger l'utilité des sources plus récentes de données RADAR dans les régions montagneuses.

L'incertitude liée à la continuité au long terme des données des systèmes RADAR aéroportés pourrait être aussi un facteur contraignant pour la surveillance des forêts. Les systèmes PALSAR et ENVISAT, par exemple, qui fournissaient tous les deux des données entièrement polarimétriques dans la bande L, ne font plus de collectes de données. Cependant, l'Agence spatiale japonaise (JAXA) a lancé ALOS-PALSAR-2 en mai 2014, et cet instrument contient à nouveau une bande L.

Enfin, même si l'étendue des techniques modernes de traitement SAR capitalisant sur la disponibilité d'informations polarimétriques dans plusieurs fréquences évolue, et que les méthodes de classification basées sur la décomposition polarimétrique sont en cours de développement, les données SAR produisent généralement des résultats moins fiables que les données Landsat pour la classification des terres forêts/non-forêts dans la plupart des études.

5.5.4 Recours à l'échantillonnage sur le terrain pour faciliter la validation du produit de télédétection

Les données de télédétection, surtout l'imagerie satellitaire à haute résolution, RADAR, et des sortes variées de LiDAR sont prometteuses pour la cartographie efficace des stocks de biomasse. Cet aspect présente un intérêt particulier dans les paysages souvent vastes et difficile d'accès contemplés dans le cadre de la plupart des MNV pour la REDD+ au niveau national ou des juridictions. Ces données ne procureront sans doute pas de données plus exactes sur la biomasse pour les sites de parcelles que celles déduites des données de terrain, et toutes les estimations de biomasse basées sur RADAR ou LiDAR devront être calibrées en utilisant les données de terrain des parcelles. Pour autant, lorsque des relations importantes peuvent être calibrées, ces données peuvent s'avérer précieuses en extrapolant les estimations basées sur le terrain sur des surfaces plus vastes, surtout dans les régions reculées dont l'accès peut être coûteux. Même si ces approches peuvent être intéressantes, elles sont encore en cours d'amélioration.

Les mêmes procédés de mesures sur le terrain et d'Assurance de la qualité et de Contrôle de la qualité (AQ/CQ) décrites au Chapitre 4 sont aussi valables dans la collecte de données de vérité de terrain. Les stratégies d'échantillonnage diffèrent cependant, puisque l'objectif n'est pas de produire une estimation basée sur le terrain mais plutôt de modéliser des prédictions sur une étendue spatiale plus vaste, à partir de données de télédétection. Par conséquent, les données de référence au sol utilisée pour construire les modèles de prédiction pour les données télédetectées n'ont pas besoin d'être échantillonées de manière stricte et uniforme. Toutefois, dans l'idéal, l'échantillon doit être bien réparti sur toute la surface à laquelle le modèle sera appliqué. L'échantillon doit réaliser une répartition à peu près égale à travers

l'éventail de conditions des données de télédétection, comme la fourchette des valeurs de réflectance. Ce processus peut se faire par le biais d'un échantillonnage aléatoire pondéré, d'autres approches d'échantillonnage avec probabilités inégales, ou au moyen d'une méthode d'échantillonnage systématique. Il est bon de noter que ces conceptions d'échantillonnage optimal requièrent que les données de télédétection soient déjà acquises, fournissant ainsi un éventail équivalent de valeurs spectrales au sein de la zone échantillonnée par télédétection, pour optimiser la conception.

De grandes parcelles à superficie fixe conviennent le mieux pour créer des données de référence au sol afin de comparer avec les données télédéetectées. Les parcelles plus grandes facilitent l'alignement des échantillons de terrain et l'imagerie de télédétection, réduisant l'impact de l'inexactitude GPS (Mascaro et al., 2011). Des conceptions de parcelles circulaires et une parcelle de 0,2 ha minimum sont recommandées pour utilisation avec LiDAR aéroporté afin de réduire les erreurs de modèle (Zolkos et al., 2013). Les mesures sur le terrain doivent aussi être collectées dès que possible après la date d'acquisition de l'image de télédétection.

Des parcelles de mesure sur le terrain peuvent calibrer et valider les modèles de prédiction. Dans le dernier cas, un échantillon de parcelles est mesuré et mis de côté, et après la construction et l'application du modèle, il est utilisé pour évaluer l'exactitude des valeurs prédites à des échelles différentes. Cette méthode d'évaluation de l'incertitude des modèles est recommandée parce qu'elle est directe et saisit le résultat global de nombres de sources possibles d'erreur qui, autrement, devraient être quantifiées indépendamment, puis propagées.

5.6 REFERENCES

- Asner, G.P., D.E. Knapp, E.N. Broadbent, P.J.C. Oliveira, M. Keller and J.N. Silva. 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science* 310: 480–482.
- Baccini, A., S. J. Goetz, W. S. Walker, N. T. Laporte, M. Sun, D. Sulla-Menashe, J. Hackler, P. S. A. Beck, R. Dubayah, M. A. Friedl, S. Samanta and R. A. Houghton. 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change* 2: 182-185.
- Borghys, D., Y. Yvinec, C. Perneela, A. Pizurica and W. Philips. 2006. Supervised feature-based classification of multi-channel SAR images, *Pattern Recognition Letters* 27: 252–258.
- Clark, M.L., D.B. Clark, and D.A. Roberts. 2004. Small-footprint lidar estimation of sub-canopy elevation and tree height in a tropical rain forest landscape. *Remote Sensing of Environment* 91(1): 68-89.
- Congalton, R.G. 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment* 37: 35-46.
- Evans, T.L., M. Costa, K. Telmer and T.S.F. Silva. 2010. Using ALOS/PALSAR and RADARSAT-2 to Map Land-cover and Seasonal Inundation in the Brazilian Pantanal. *IEEE Journal of Selected Topics in applied Earth Observation and Remote Sensing* 3: 560-570.
- FAO. 2006. Choosing a Forest Definition for the Clean Development Mechanism. *Forests and Climate Change Working Paper* 4. <http://www.fao.org/forestry/media/11280/1/0/>
- Foody, G.M. 2002. Status of land-cover classification accuracy assessment, *Remote Sensing Environment* 80: 185-201.
- Friedl, M.A., C.E. Brodley, and A.H. Strahler. 1999. Maximizing Land Cover Classification Accuracies Produced by Decision Trees at Continental to Global Scales, *Transaction on Geosciences and Earth Observation* 37(2): 969-977.

- Friedl, M.A., D. Sulla-Menashe, B. Tan, A. Schneider, N. Ramankutty, A. Sibley, and X. Huang. 2010. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets, *Remote Sensing of Environment* 114: 168-182.
- Gislason, P.O., J.A. Benediktsson and J.R. Sveinsson. 2006. Random Forests for land cover classification, *Pattern Recognition Letters* 27: 294-300.
- GFOI. 2013. Integrating remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative. Group on Earth Observations. Geneva, Switzerland.
- GOFC-GOLD. 2013. 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. *GOFC-GOLD Report version COP19-2* (GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University, The Netherlands). Available at <http://www.gofcgold.wur.nl/redd/index.php>.
- Hansen M.C., R.S DeFries, J.R.G. Townshend and R. Sohlberg. 2000. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach, *International Journal of Remote Sensing* 21(6): 1331-1364.
- Hansen M.C., D.P. Roy, E.J. Lindquist, B. Adusei, C.O. Justice and A. Altstatt. 2008a. A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin. *Remote Sensing Environment* 112: 2495–251.
- Hansen, M.C., S.V. Stehman, P.V. Potapov, T.R. Loveland, J.R.G. Townshend, R.S. DeFries, K.W. Pittman, F. Stolle, M.K. Steininger, M. Carroll, and C. Dimiceli. 2008b. Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified using multi-temporal and multi-resolution remotely sensed data, *PNAS* 105: 9439-9444.
- Harper, G.J., M.K. Steininger, C.J. Tucker, D.J. and F. Hawkins. 2007. Fifty years of deforestation and forest fragmentation in Madagascar. *Environmental Conservation* 34: 325-333.
- Hirata Y., G. Takao, T. Sato, I. Toriyama, eds. 2012. REDD-plus Cookbook. REDD Research and Development Center, Forestry and Forest Products Research Institute Japan, 156pp. ISBN 978-4-905304-15-9.
- Imhoff, M.L., P. Johnson, W. Holford, J. Hyer, L. May, W. Lawrence, P. Harcombe. 2000. BioSAR™: an inexpensive airborne VHF multiband SAR system for vegetation biomass measurement. *Transaction on Geosciences and Earth Observation* 38: 1458–1463.
- IPCC. 2003. Definitions and methodological options to inventory emissions from direct human-induced degradation of forests and devegetation of other vegetation types. In: Penman, J., M. Gytarsky, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe and F. Wagner. IPCC-IGES, Kanagawa (eds.).
- IPCC GPG-LULUCF. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Published: IGES. Japan.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston, H.S., L. Buendia K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe, eds. Published: IGES Japan.

- Jiang, D., Y. Huang, D. Zhuang, Y. Zhu, X. Xu and H. Ren. 2012. A Simple Semi-Automatic Approach for Land Cover Classification from Multispectral Remote Sensing Imagery. *PLoS ONE* 7(9): e45889. doi:10.1371/journal.pone.0045889
- Lambin, E.F., H.J. Geist, and E. Lepers. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual Review Environment Resource* 28: 205–41.
- Lefsky, M.A., WB. Cohen, G.G. Parker and D.J. Harding. 2002. Lidar Remote Sensing for Ecosystem Studies. *BioScience* 52(1) 19-30.
- Lindquist E.J., M.C. Hansen, D.P. Roy and C.O. Justice. 2008. The suitability of decadal image data sets for mapping tropical forest cover change in the Democratic Republic of Congo: implications for the global land survey. *International Journal of Remote Sensing* 29: 7269-7275.
- Lim, K., P. Treitz, M. Wulder, B. St-Onge and M. Flood. 2003. LiDAR remote sensing of forest structure. *Progress In Physical Geography* 27(1): 88-106.
- Longépé, N., P. Rakwatin, O. Isoguchi, M. Shimada, Y. Uryu, and K. Yulianto. 2011. Assessment of ALOS PALSAR 50 m orthorectified FBD Data for Regional Land-cover Classification by Support Vector Machines. *IEEE Transaction on Geosciences and Earth Observation* 49: 2135-2050.
- Lu, D. S. 2006. The potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing* 27: 1297-1328.
- Mascaro, J., M. Detto, G.P. Asner. And H.C. Muller-Landau. 2011. Evaluating uncertainty in mapping forest carbon with airborne LiDAR. *Remote Sensing Environment* 115: 3770–3774.
- Masek, J. G., Huang, C., Wolfe, R., Cohen, W., Hall, F., Kutler, J., and Nelson, P. (2008). North American Forest Disturbance Mapped from a Decadal Landsat Record. *Remote Sensing Environment* 112: 2914–2926.
- Mather, P. 1999. *Computer Processing of Remotely-Sensed Images*. Wiley & Sons. Chichester, England.
- Mitchard, E. T. A., S. S. Saatchi, I.H. Woodhouse, G. Nangendo, N.S. Ribeiro, M. Williams, C.M. Ryan, S.L. Lewis, T.R. Feldpausch and P. Meir. 2009. Using satellite RADAR backscatter to predict aboveground woody biomass: A consistent relationship across four different African landscapes. *Geophysical Research Letters* 36.
- Mitchard, E. T. A., S.S. Saatchi, I. Woodhouse, T. Feldpausch, S. Lewis, B. Sonk' e, C. Rowland, and P. Meir. 2011. Measuring biomass changes due to woody encroachment and deforestation/degradation in a forest-savanna boundary region of central Africa using multi-temporal L-band RADAR backscatter. *Remote Sensing Environment* 115: 2861–2873.
- Mitchard, E. T. A., S.S. Saatchi, L.J.T. White, K.A. Abernethy, K.J. Jeffery, S.T. Lewis, M. Collins, M.A Lefsky, M.E. Leal, I.H. Woodhouse P. and Meir. 2012. Mapping tropical forest biomass with radar and spaceborne LiDAR in Lopé National Park, Gabon: overcoming problems of high biomass and persistent cloud. *Biogeoscience* 9: 179-191.
- Nelson R.F., P. Hyde, P. Johnson, B. Emessiene, M.L. Imhoff, R. Campbell, and W. Edwards 2007. Investigating RADAR-LiDAR synergy in a North Carolina pine forest. *Remote Sensing Environment* 110: 98–108
- Nelson, R., J. Boudreau, T.G. Gregoire, H. Margolis, E. Naesset, T. Gobakken and G. Stahl. 2009. Estimating Quebec provincial forest resources using ICESat/GLAS, *Canadian Journal of Forestry Research* 39: 862-881.

- Nepstad, D. C., A. Verissimo, A. Alencar, C. Nobre, E. Lima, P. Lefebvre, P. Schlesinger, C. Potter, P. Moutinho, E. Mendoza, M. Cochrane and V. Brooks. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature* 398: 505-508.
- Olofsson, P., G.M. Foody, S.V. Stehman and C.E. Woodcock 2013. Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimate. *Remote Sensing Environment* 129: 122-131.
- Olofsson, P., G.M. Foody, M. Herold, S.V. Stehman, C.E. Woodcock, M. Wulder 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing Environment* 148: 45-57.
- Pal, M. and P.M. Mather. 2003. An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. *Remote Sensing Environment* 86: 554-565.
- Pal, M. 2005. Random forest classifier for remote sensing classification. *International Journal of Remote Sensing* 26(1): 217-222.
- Puyravaud, J.P. 2003. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management* 177: 593-596.
- Rignot, E., W.A. Salas and D.L. Skole. 1997. Mapping deforestation and secondary growth in Rondonia, Brazil, using imaging RADAR and thematic mapper data. *Remote Sensing Environment* 59: 167-179.
- Rodriguez-Galiano, V.F., B. Ghimire, E. Pardo-Iguzquiza, M. Chica-Olmo, and R.G. Congalton. 2012. Incorporating the Dowscaled Landsat TM Thermal Band in Land-cover Classification using Random Forest. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 78(2): 129-137.
- Rogan, J., J. Miller, D. Stow, J. Franklin, L. Levian and C. Fischer 2003. Land-Cover Change Monitoring with Classification Trees Using Landsat TM and Ancillary Data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 69(7): 793-804.
- Ryan, S.M, T. Hill, E. Woollen, C. Ghee, E. Mitchard, G. Cassells, J. Grace, I.H. Woodhouse and M. Williams. 2012. Quantifying small-scale deforestation and forest degradation in African woodlands using RADAR imagery. *Global Change Biology* 18(1): 243-257.
- Saatchi, S., J.V. Soares and D.S. Alves. 1997. Mapping deforestation and land use in Amazon rainforest by using SIR-C imagery. *Remote Sensing Environment* 59: 191–202.
- Saatchi, S. and M. Moghaddam. 2000. Estimation of crown and stem water content and biomass of boreal forest using polarimetric SAR imagery. *IEEE Transaction on Geosciences and Earth Observation* 38(2): 697-709.
- Saatchi, S., D. Agosti, K. Alger, J. Delabie, and J. Musinsky. 2001. Examining Fragmentation and Loss of Primary Forest in the Southern Bahian Atlantic Forest with RADAR Imagery. *Conservation Biology* 15(4): 867-875.
- Saatchi, S., N.L. Harris, S. Brown, M. Lefsky, E.T.A. Mitchard, W. Salas, B.R. Zutta, W. Buermann, S.L. Lewis, S. Hagen, S. Petrova, L. White, M. Silman and A. Morel. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *PNAS* 108(24): 9899-9904.
- Shimon, M., D. Borghys, R. Heremans, C. Perneel and M. Achteroy. 2009. Fusion of Pol SAR and PollnSAR data for land-cover classification. *International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation* 11: 169-180.

- Song, C., C.E. Woodcock, K.C. Seto, M.P. Lenney and S.A. Macomber. 2001. Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? *Remote Sensing Environment* 75: 230-244.
- Souza, C. M., Jr. and D. Roberts. 2005. Mapping forest degradation in the Amazon region with Ikonos images. *International Journal of Remote Sensing* 26(3): 425-429.
- Souza, C., D.A. Roberts and M.A. Cochrane. 2005. Combining spectral and spatial information to map canopy damages from selective logging and forest fires. *Remote Sensing Environment* 98: 329-343.
- Stehman, S., P. Olofsson, C. Woodcock, M. Friedl, A. Sibley, J. Newell, D. Sulla-Menashe and M. Herold 2010. Designing a reference validation database for accuracy assessment of land cover. *Accuracy 2010 Symposium*, July 20-23, Leicester, UK.
- Stickler, C.M., D.C. Nepstad, M.T. Coe, D.G. McGrath, H.O . Rodrigues, W.S. Walker, B.S. Soares-Filho and E. Davidson. 2009. The potential ecological costs and cobenefits of REDD: a critical review and case study from the Amazon region. *Global Change Biology* 15: 2803–2824.
- Walker, W.S., M.S. Claudia, J.M. Kellndorfer, K.M. Kirsch and D.C. Nepstad. 2010. Large-Area Classification and Mapping of Forest and Land-cover in the Brazilian Amazon: A Comparative Analysis of ALOS/PALSAR and Landsat Data Sources. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 3: 594-604.
- UN-REDD Programme, National Forest Monitoring Systems: Monitoring and Measurement, Reporting and Verification (M & MRV) in the context of REDD+ Activities, 26-27 October 2012, Brazzaville, Republic of Congo.
- Zolkos, S. G., S.J. Goetz and R. Dubayah. 2013. A meta-analysis of terrestrial aboveground biomass estimation using lidar remote sensing. *Remote Sensing Environment* 128: 289-298.

5.7 SOURCES DE DONNEES SATELLITAIRES COURANTES POUR LE SUIVI DE L'AFFECTION DES TERRES

TABLEAU 5.4 : SOURCES DE DONNEES SATELLITAIRES

Capteur	Satellite – Agence	Largeur de la fauchée	Résolution	Cycle	Acquisitions systématiques	Statut opérationnel	Applications de suivi
Landsat 7 ETM+	Landsat 7 - NASA	165 km	15 m panchromatique 30 m multispectral 60 m thermique	16-21 jours	Oui	Oui, avec lacunes SLC-off	Déforestation, défrichement, routes, bassins
Landsat 8 OLI	LDCM - NASA	185 km	15 m panchromatique 30 m multispectral 100 m thermique	16-21 jours	Oui	Oui	Déforestation, défrichement, routes, bassins
ASTER	Terra - NASA	60 km	15 m multispectral	Varie	Non	Partiel (pas de canaux SWIR)	Déforestation, défrichement, routes, bassins
SPOT-5	CNES	60 km	20 m multispectral 5 m panchromatique (2,5m interpolé)	Varie	Non	Oui	Déforestation, défrichement, routes, bassins
SPOT-6	Airbus Défense et espace	60 km	6 m multispectral 1,5 m panchromatique	Varie	Non	Oui	Déforestation, défrichement, routes, bassins

Capteur	Satellite – Agence	Largeur de la fauchée	Résolution	Cycle	Acquisitions systématiques	Statut opérationnel	Applications de suivi
CCD	CBERS-2B – INPE	113 km	20 m multispectral	26 jours	Oui	Oui	Déforestation, défrichement,
HRC	CBERS-2B – INPE	27 km	2,7 m panchromatique	26 jours	Oui	Oui	Sentiers de débardage, bateaux de pêche illégaux
MODIS	Terra / Aqua – NASA	2.330 km	250 m visible 500 m multispectral 1km thermique	4 fois par jour (diurne/nocturne)	Oui	Oui	Incendies, déforestation à grande échelle
AWIFS	Resource Sat-I	730 km	56 m	5 jours	Oui	Oui	Déforestation à grande échelle
IKONOS	IKONOS – GeoEye	11,3 km @ directe	4 m multispectral (4) 1 m panchromatique (1)	Varie	Non	Oui	Sentiers de débardage, trouées dans le couvert, bateaux de pêche illégaux / véhicules d'exploitation forestière
Pleiades 1a and 1b	Airbus Défense et Espace	20 km	50 cm panchromatique 2m multispectral	Varie	Non	Oui	Sentiers de débardage, trouées dans le couvert, routes d'exploitation forestière
GeoEye-1	GeoEye-1 - GeoEye	Varie	0,4 m panchromatique (1) (nouveaux échantillons à 0,5 m)	Varie	Non	Oui	Sentiers de débardage, trouées dans le couvert, bateaux de pêche

Capteur	Satellite – Agence	Largeur de la fauchée	Résolution	Cycle	Acquisitions systématiques	Statut opérationnel	Applications de suivi
			1,65 m multispectral (4)				illégaux / véhicules d'exploitation forestière
QuickBird	QuickBird – DigitalGlobe	Varie	0,6 m (1) panchromatique 2,4 m multispectral (4)	Varie	Non	Oui	Sentiers de débardage, trouées dans le couvert, bateaux de pêche illégaux / véhicules d'exploitation forestière
RapidEye Constellation	BlackBridge	77k m	6,5 m multispectral	1-5 jours	Non	Oui	Déforestation, défrichement, routes, sentiers de débardage
WorldView-2	WorldView-2 DigitalGlobe	Varie	0,5 m panchromatique 1,8 m multispectral	Varie	Non	Oui	Sentiers de débardage, trouées dans le couvert, bateaux de pêche illégaux / véhicules d'exploitation forestière
Radarsat-2	CSA	Varie	8 m quad. polar. fine 25 m quad. pol. standard Largeur de 100 m	24 jours	Varie	Oui	Déforestation, routes, bassins
ASAR	ENVISAT-ESA	Varie	30 m en mode de polarisation	36 jours	Varie	Oui	Déforestation

Capteur	Satellite – Agence	Largeur de la fauchée	Résolution	Cycle	Acquisitions systématiques	Statut opérationnel	Applications de suivi
			150 m mode de fauchée large 1 km mode Surveillance globale				
PALSAR	PALSAR-JAXA	Varie	9 m pol. unique 19 m double pol. 30 m quad. pol. 100 m Scan SAR	45 jours	Oui- tout mode Non- quad. pol.	Oui	Déforestation, routes, bassins
WorldView-3	WorldView – DigitalGlobe	13,1 km	0,31 m panchromatique (1) 1,24 m multispectral (8) 3,7 m SWIR (8)	< 1 jour	Non	Oui	Sentiers de débardage, trouées dans le couvert, bateaux de pêche illégaux / véhicules d'exploitation forestière
PALSAR-2	PALSAR-JAXA	Varie	1-3 m Spotlight 3-10 m Stripmap 100 m Scan SAR	15 jours	Varie	Oui	Déforestation, défrichement, routes, bassins

TABLEAU 5.5 : MISSIONS FUTURES

Capteur	Satellite – Agence	Largeur de la fauchée	Résolution	Cycle	Acquisitions systématiques	Statut opérationnel	Applications de suivi
SPOT-7	Airbus Défense et espace	60 km	1,5m panchromatique (1)		Non	Lancé en juin 2014, en calibration	Déforestation, défrichement,

			6,0m multispectral (4)				routes, bassins
Sentinel-2 A/B	ESA	290 km	10/20 m/60 m	5 jours (une fois que les deux, 2A et 2B sont lancés)		Lancement prévu, été 2014 (2A), puis (2B)	Déforestation
VIIRS	NPV – NASA	3.000 km	750 m	2 fois par jour	Oui	Récemment lancé en calibration	Incendies

5.8 RESSOURCES SELECTIONNÉES

5.8.1 Guides et autres matériaux disponibles en ligne

Sciences et techniques spatiales affiliées aux Nations Unies :

<http://www.unoosa.org/oosa/en/SAP/centres/index.html>

Systèmes pour World Surveillance, Inc.

<http://www.rsat.com/tutorials.html>

Centre d'informatique pour la biodiversité

http://biodiversityinformatics.amnh.org/index.php?section_id=17

Programme Earthnet de l'Agence spatiale européenne

<http://earth.eo.esa.int/download/eoedu/Earthnet-website-material/to-access-from-Earthnet/>

Observatoire de la Terre de la NASA

<http://earthobservatory.nasa.gov/>

5.8.2 Logiciels

EXELIS: ENVI

<http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVI.aspx>

INTERGRAPH: ERDAS Imagine

<http://geospatial.intergraph.com/products/ERDASIMAGINE/ERDASIMAGINE/Details.aspx>

PCI Geomatics

<http://www.pcigeomatics.com/>

Logiciel libre SIG et télédétection du Centre d'informatique pour la biodiversité du Musée américain d'histoire naturelle (AMNH)

http://biodiversityinformatics.amnh.org/index.php?section_id=33&content_id=138

GRASS GIS

<http://grass.fbk.eu>

IDRISI GIS et Logiciel de traitement d'images

<http://www.clarklabs.org/products/idrisi.cfm>

Quantum GIS

<http://www.qgis.org/en/site/>

Logiciel Forêts aléatoires

http://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_software.htm

Outils d'exploitation de données Rulequest ; voir le chapitre 5 pour les logiciels de classification

<http://www.rulequest.com/see5-info.html>

Langage statistique R

<http://www.r-project.org/>

5.8.3 Sources d'informations libres

Centre satellite de l'Alaska (ASF) - Trousse d'outil Map Ready, SAR

http://www.asf.alaska.edu/downloads/software_tools

ESA – polsarpro (Traitement des données SAR polarimétriques et Outil éducatif)

<http://earth.eo.esa.int/polsarpro/>

NEST – Boîte à outils Next ESA SAR

<http://nest.array.ca/web/nest/release-4B-1.1>

RAT – Outils Radar

<http://radartools.berlios.de/>

5.8.4 Données disponibles

Centre d'Observation des ressources de la Terre et des sciences du Service géologique des États-Unis (USGS) (EROS)

<http://glovis.usgs.gov/>

(Données Landsat Archive, Global Land Survey (GLS), ainsi que divers produits ASTER et MODIS)

LandsatLook Viewer de l'USGS

<http://landsatlook.usgs.gov/>

(Permet de chercher à la fois des images LandsatLook et des données Landsat de niveau 1)

Institut national de recherche spatiale du Brésil (INPE)

<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

(Série d'imagerie Landsat et CBERS, et de divers produits MODIS)

Produits Global Land Survey (GLS) 2005 : Centre mondial sur le couvert végétal

<http://www.land-cover.org/data/>

(Série de sources de données incluant les archives Landsat et l'imagerie sélectionnée pour un éventail d'instruments incluant ASTER, Ikonos, Quickbird, Orbview, et MODIS)

Catalogue RapidEye

<http://eyefind.rapideye.com>

(Accès aux archives d'images de BlackBridge RapidEye)

Catalogue SPOT

<http://catalog.spotimage.com/PageSearch.aspx?language=UK>

(Accès aux archives du satellite SPOT)

Centre d'analyse des données de télédétection de la Terre (ERSDAC)

<http://imsweb.aster.ersdac.or.jp/ims/cgi-bin/dprSearchMapByMenu.pl>

(Accès aux archives de l'imagerie ASTER)

5.8.5 Données sur la perte du couvert forestier et la biomasse dans le monde

Estimations mondiales basées sur Landsat de la perte du couvert forestier entre 2000 et 2012, produites par l'*University of Maryland* et divulguées par Google.

<http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>

Deux cartes de la biomasse mondiale, avec une résolution de 1 km, basées sur une séries d'entrées de données satellitaires, calibrées avec des données de parcelles. Elles peuvent s'avérer utiles pour la stratification nationale de l'échantillonnage sur le terrain de la biomasse dans un système MNV.

A. Baccini, S.J. Goetz, W.S. Walker, N.T. Laporte, M. Sun, D. Sulla-Menashe, J. Hackler, P.S.A. Beck, R. Dubayah, M.A. Friedl, S. Samanta et R.A. Houghton. 2012. Émissions estimées de dioxyde de carbone provenant de la déforestation améliorées par les cartes de densité de carbone. *Nature Climate Change* <http://dx.doi.org/10.1038/NCLIMATE1354>

Ensemble de données des stocks de carbone pantropical au niveau national

http://www.whrc.org/mapping/pantropical/carbon_dataset.html

Saatchi S, N.L. Harris, S. Brown, M. Lefsky, E.T. Mitchard, W. Salas, B.R. Zutta, W. Buermann, S.L. Lewis, S. Hagen, S. Petrova, L. White, M. Silman et A. Morel. 2011. Carte de référence des stocks de carbone dans les régions tropicales à travers trois continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(24):9899-904. <http://carbon.jpl.nasa.gov/>

5.8.6 Tutoriels

Le tutoriel de télédétection : Fédération des scientifiques américains (FAS - Federation of American Scientists)

<http://www.fas.org/irp/imint/docs/rst/Front/tofc.html>

Télédétection générale : Centre de télédétection du Canada

<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/about/organization/organization-structure/canada-centre-for-remote-sensing/11740>

Outil de suivi des changements du Service géologique des États-Unis (USGS)

<http://pubs.usgs.gov/gip/133/>

Principes fondamentaux de la télédétection de la NASA

http://gcmd.nasa.gov/records/remote_sensing_tutorial-00.html

Présentation de la télédétection - Virtual Hawaii

http://satftp.soest.hawaii.edu/space/hawaii/vfts/oahu/rem_sens_ex/rsex.spectral.l.html

Service satellite et d'information de NOAA : Découvrir les satellites et la télédétection

<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/education.html>

Une présentation de la télédétection

CSIRO

<http://www.cmis.csiro.au/rsm/intro/>

Une présentation de la télédétection par radar : Centre de télédétection du Canada

<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geography-boundary/remote-sensing/radar-remote/2122>

Polarimétrie radar : Centre de télédétection du Canada

<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geography-boundary/remote-sensing/radar/1893>

Tutoriel de l'ESA sur RADAR

http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOCS/spaceborne/Radar_Courses/

Tutoriel de l'ESA sur le Radar à ouverture synthétique : tutoriel sur les applications terrestres

http://earth.eo.esa.int/download/eoedu/Earthnet-website-material/to-access-from-Earthnet/2008_Bilko-SAR-Land-Applications-Tutorial/sar_land_apps_l_theory.pdf

6.0 NOTIFICATION ET VERIFICATION : ELEMENTS ET RECOMMANDATIONS

Auteurs : Angel Parra et Stelios Pesmajoglou

6.1 INTRODUCTION

Ce chapitre aborde les points essentiels à envisager lors de la notification et de la vérification dans le cadre de la réduction des émissions résultant de la déforestation et de la dégradation des forêts, plus le rôle de la conservation, de la gestion durable des forêts et de l'accroissement des stocks de carbone forestier (REDD+). La Section 3.3, *Étapes de l'inventaire et notification*, de ce manuel décrit la séquence des étapes requises pour créer un inventaire national des gaz à effet de serre (GES). Ce chapitre présente un intérêt pour les activités soulignées à la page suivante.

ÉTAPE 0 : Établir des dispositifs institutionnels.

ÉTAPE 1 : Estimer les superficies terrestres dans chaque catégorie d'occupation des terres, par stratification ou une autre méthode, pour la durée requise, pour les superficies représentées dans les GPG-UTCATF.

ÉTAPE 2 : Faire une analyse des grandes catégories (KCA) pour les catégories pertinentes. Dans les catégories jugées essentielles, évaluer les gaz non-CO₂ et les bassins de carbone importants, et établir la priorité en terme de choix méthodologique.

ÉTAPE 3 : Préparer un inventaire du carbone forestier afin de générer des facteurs d'émission (EF), si la méthode des gains et des pertes est utilisée ; s'assurant que les exigences en matière de facteurs d'émission et d'absorption sont satisfaites. Les EF représentent les coefficients qui quantifient les émissions/absorptions par unité de surface.

ÉTAPE 4 : Générer des données d'activités (AD) ; correspondant au Niveau déterminé. Les AD représentent l'étendue sur laquelle une activité humaine a lieu.

ÉTAPE 5 : Quantifier les émissions et absorptions ; en estimant l'incertitude dans chaque estimation. Les estimations des émissions et des absorptions représentent la multiplication des AD par les EF qui y sont liés.

ÉTAPE 6 : Notifier les estimations des émissions et des absorptions ; en utilisant les tableaux de notification et les fiches de travail, si nécessaire. Documenter/archiver les informations utilisées pour établir les estimations nationales des émissions et des absorptions, en suivant les instructions spécifiques à

ÉTAPE 7 : Faire une vérification et mettre en place des contrôles de la qualité ; y compris des examens par les pairs des estimations des émissions en suivant les recommandations spécifiques pour chaque utilisation des terres, les bassins et les gaz non-CO₂.

Pour ce qui est de la notification, le manuel fait un tour d'horizon des exigences et des mécanismes, tels que les feuilles de travail et les tableaux de notification contenus dans les Recommandations en matière de bonnes pratiques pour l'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie (GPG-UTCATF) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), ainsi que des options de logiciels disponibles pour faciliter la notification. Pour la vérification, il décrit les dispositions des décisions adoptées au titre de la Convention-cadre des Nations Unies sur le

changement climatique (CCNUCC) et examine les approches de vérification incluses dans les GPG-UTCATF.

Conformément aux décisions adoptées par les gouvernements travaillant sous l’égide de la Conférence des parties (COP) à la CCNUCC, les pays en développement³³ souhaitant mettre au point des activités dans le cadre de la REDD+ doivent établir un Système national de surveillance des forêts (NFMS) afin d’évaluer les émissions anthropiques de GES par leurs sources et les absorptions par leurs puits (CCNUCC, 2010). Étant donné que les actions entreprises dans le cadre de la REDD+ doivent être basées sur les résultats, les pays en développement devront démontrer qu’ils réduisent les émissions issues de la déforestation au lieu d’avoir simplement recours à la base de référence fondée sur la pratique habituelle, soit constituer des Niveaux d’émissions de référence des forêts ou des Niveaux de référence des forêts (FREL/FRL).

Dans tout système international dans lequel une procédure de comptabilisation est prévue, incluant la CCNUCC et son Protocole de Kyoto, et sans doute tout futur mécanisme REDD+, les informations rapportées dans l’inventaire GES d’un pays représentent la base qui permettra d’évaluer la performance de ce pays, par rapport à ses engagements ou ses FREL/FRL, et pourraient aussi servir de référence pour les incitations ou pénalités éventuelles. Au titre de la CCNUCC, les informations contenues dans les inventaires GES procurent les moyens par lesquels la communauté internationale peut surveiller le progrès fait par les pays au regard de leurs engagements et de la réalisation des objectifs ultimes de la Convention.

La qualité des inventaires GES ne repose pas uniquement sur la fiabilité de la science étayant les méthodologies et la crédibilité associée des estimations, elle dépend aussi de la manière dont les données sont compilées et présentées. Les informations doivent être bien documentées, transparentes et s’inscrire dans la logique des exigences et des protocoles spécifiques (c.-à-d., ceux préconisés par la CCNUCC), et des recommandations requis pour la notification, inclus dans les systèmes et processus volontaires ou à des fins de conformité.

6.2 NOTIFICATION

La notification dans le cadre de la REDD+ peut se définir comme le processus utilisé pour traduire les informations résultant des mesures ou de la surveillance (par exemple, les informations recueillies par un inventaire de carbone forestier et une analyse de changement d’affectation des terres) sous un format agréé, tel que le système de notification de la CCNUCC. La notification englobe la quantité d’émissions de GES évitées en raison de la réduction de la déforestation et de la dégradation des forêts, ainsi que la quantité d’absorptions des GES résultant des activités de conservation et d’amélioration des forêts. Selon l’activité spécifique, d’autres informations rapportées peuvent inclure des données sur les surfaces de forêts affectées, les méthodologies employées, les facteurs d’émissions utilisés, l’impact sur les causes de la déforestation, l’efficacité des mesures mises en place, les ressources financières nécessaires ou utilisées, ou les procédures d’application d’Assurance de la qualité et de Contrôle de la qualité (AQ/CQ). Les données notifiées servent souvent à améliorer la transparence des actions et vérifient les émissions et les absorptions pour différentes activités.

³³ Dans cette section, nous emploierons les termes « pays développés » et « pays en développement » comme synonymes des termes de la CCNUCC, « Parties visées à l’Annexe I » et « Parties non visées à l’Annexe I » respectivement. Dans certains cas, cependant, nous pouvons avoir recours aux termes de la CNUCC pour citer correctement des textes et des exigences établis par la CCNUCC.

Cette section du manuel aborde les exigences de notification pour la REDD+ fondées sur les décisions adoptées par les COP à la CCNUCC. La première partie est un aperçu des exigences générales au regard de la notification prévues par la CCNUCC. La seconde traite des modalités de notification pour les FREL/FRL et les informations de notification sur la mise en œuvre des activités de la REDD+ basées sur les résultats.

6.2.1 Aperçu des exigences relatives à la notification fixées par la CCNUCC

Au titre de la CCNUCC, tous les pays sont requis de procurer des informations ayant trait à la mise en œuvre de la Convention, incluant les inventaires nationaux des émissions anthropiques de GES par leurs sources et des absorptions par leurs puits (voir l'Encadré 6.1). Pour favoriser la transmission d'informations crédibles et cohérentes, des directives précises ont été établies décrivant en détail des exigences normalisées pour la notification. Ces exigences varient dans tous les pays d'après leurs aptitudes et capacités spécifiques. Par exemple, les exigences de notification pour les pays développés sont plus détaillées et strictes en termes de quantité de données fournies et de fréquence de notification.

Le besoin d'estimations robustes et défendables sur la REDD+ a été mis en évidence lors des négociations de la CCNUCC conduisant à reconnaître que les « actions basées sur les résultats de la REDD+ doivent être entièrement mesurées³⁴ » (CCNUCC, 2010). Dans le cadre du processus de la CCNUCC, les pays en développement peuvent soumettre des informations des manières suivantes :

- Par des communications nationales (NC) ;
- Par des rapports biennaux d'actualisation (BUR) et
- Dans le contexte des Mesures d'atténuation appropriées aux niveaux national et international (MAAN).

Une comparaison des exigences essentielles en matière de notification, fixées par la CCNUCC pour les NC et les BUR est faite au Tableau 6.1.

³⁴ Décision I/CP.16, paragraphe 73. <http://unfccc.int/resource/docs/2010/cop16/eng/07a01.pdf>.

ENCADRE 6.I: DISPOSITIONS GENERALES DE LA CONVENTION RELATIVE A LA NOTIFICATION D'INFORMATIONS

L'Article 4 (http://unfccc.int/essential_background/convention/background/items/1362txt.php), Paragraphe I (a), de la Convention prévoit l'obligation pour tous les pays – en tenant compte de leurs responsabilités communes mais différencierées et de la spécificité de leurs priorités nationales et régionales, de leurs objectifs et de leurs situations, – « d'élaborer, mettre à jour périodiquement, publier et mettre à la disposition de la Conférence des Parties... des inventaires nationaux des émissions anthropiques par leurs sources et de l'absorption par leurs puits de tous les gaz à effet de serre (GES) non réglementés par le Protocole de Montréal, en recourant aux méthodes comparables qui seront approuvées par la Conférence des Parties ».

L'Article 12 (http://unfccc.int/essential_background/aconvention/background/items/1379.php) de la Convention requiert que chaque Partie (pays) communique à la COP les éléments d'information ci-dessous :

- (a) « Un inventaire national des émissions anthropiques par leurs sources et de l'absorption par leurs puits de tous les gaz à effet de serre (GES) non réglementés par le Protocole de Montréal, dans la mesure où ses moyens (du pays) lui permettent, en utilisant des méthodes comparables sur lesquelles la Conférence des Parties s'entendra » ;
- (b) « Une description générale des mesures que la Partie (le pays) prend ou envisage de prendre pour appliquer la Convention » ; et
- (c) « Toute autre information que la Partie juge utile pour atteindre l'objectif de la Convention et propre à figurer dans sa communication (du pays), y compris, dans la mesure du possible, des données utiles à la détermination des tendances des émissions dans le monde. »

La Convention précise l'échéancier pour la transmission des communications initiales, mais ne fixe pas la fréquence des soumissions, qui sera déterminée par des décisions de la COP.

Communications nationales

Les communications nationales provenant des pays en développement donnent des informations sur : les actions en cours et prévues afin de faire face au changement climatique ; les émissions et les absorptions de GES ; les mesures d'adaptation et d'atténuation au regard du changement climatique ; le développement durable ; les transferts financiers et technologiques ; et le renforcement des capacités. La préparation et la livraison des NC dépendent de la disponibilité des ressources, humaines comme financières, et des dispositifs institutionnels mis en place pour cet objectif.

Les lignes directrices concernant la préparation des NC des pays en développement furent adoptées lors de la COP 2 (Genève, 1996) et révisées par la suite lors de la COP 8 (New Delhi, 2002)³⁵. Pour

³⁵ La dernière version des lignes directrices relatives à la notification est incluse dans l'Annexe de la Décision 17/CP.8. Pour le texte complet, consulter : <http://unfccc.int/resource/docs/cop8/07a02.pdf#page=2>.

faciliter l'usage de ces lignes directrices, le secrétariat de la CCNUCC a rédigé un Manuel d'utilisateur³⁶ et un guide de ressources, tous deux disponibles sur le site Internet de la CCNUCC.³⁷

TABLEAU 6.1 : RECAPITULATIONS DES EXIGENCES ESSENTIELLES DE LA CCNUCC CONCERNANT LES NC ET LES BUR POUR LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

	Communications nationales	Rapports biennaux d'actualisation
Fréquence	Tous les quatre ans	Tous les deux ans (à partir de décembre 2014)
Format	Copie papier	Document électronique
Années couvertes	2 ^e NC : 2000	2010 (ou plus récemment si des informations sont disponibles) pour le 1 ^{er} BUR ; les BUR ultérieurs devront couvrir une année civile qui ne précède pas la date de soumission de plus de quatre ans ; les séries temporelles des années ayant fait l'objet de rapport dans les NC précédentes sont encouragées
Gaz	NC et BUR : CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O requis ; HFC, PFC, SF ₆ encouragés	
Désagrégation sectorielle	Uniquement les tableaux récapitulatifs sont requis	Tableaux récapitulatifs requis ; les tableaux de l'annexe 3A.2 des Recommandations du GIEC en matière de bonnes pratiques pour l'UTCATF et les tableaux de notification sectorielle annexés aux Recommandations du GIEC de 1996 révisées sont encouragés
Version des Recommandations du GIEC	Recommandations du GIEC de 1996, révisées requises ; Recommandations en matière de bonnes pratiques (2000 et UTCATF) est encouragée	
Documentation	Encouragée pour procurer des informations sur les méthodes employées	Encouragée pour procurer des informations sur les méthodes employées ; des informations supplémentaires ou justificatives, incluant les données spécifiques aux secteurs, peuvent être fournies dans une annexe technique

³⁶ Le Manuel est disponible en anglais, en français et en espagnol.

³⁷ Site Internet de la CCNUCC : http://unfccc.int/resource/docs/publications/userman_nainc_en.pdf; http://unfccc.int/resource/docs/publications/09_resource_guide1.pdf; http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_resource_guide2.pdf; http://unfccc.int/resource/docs/publications/09_resource_guide3.pdf; http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_resource_guide4.pdf.

Même si les pays en développement sont requis de préparer leur inventaire d'après les Recommandations du GIEC de 1996 (GIEC, 1996), l'utilisation des Recommandations du GIEC en matière de bonnes pratiques et de gestion des incertitudes pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre (GPG 2000) (GIEC, 2000) et les GPG-UTCATF est encouragée. La justification des méthodologies employées pour créer les NC est aussi encouragée, mais non requise. La notification des estimations des émissions de GES de tous les secteurs est réalisée à l'aide d'un tableau inclus dans les lignes directrices relatives à la notification (reproduit à la Figure 6.1).

FIGURE 6.1 : REPRODUCTION DU TABLEAU DE NOTIFICATION POUR LES COMMUNICATIONS NATIONALES DES PAYS EN DEVELOPPEMENT (SOURCE : <HTTP://UNFCCC.INT/RESOURCE/DOCS/COP8/07A02.PDF#PAGE=2>)

Catégories de sources et de puits de gaz à effet de serre	Émissions CO ₂ (Gg)	Absorptions CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO (Gg)	NO _x (Gg)	COV NM (Gg)	SO _x (Gg)
Émissions et absorptions nationales totales	X	X	X	X	X	X	X	X
I. Énergie	X	X	X	X	X	X	X	X
A Combustion de combustibles (approche sectorielle)	X		X	X	X	X	X	X
1 Industries de production d'énergie	X		X	X	X	X	X	X
2 Industries manufacturières et construction	X		X	X	X	X	X	X
3 Transports	X		X	X	X	X	X	X
4 Autres secteurs	X		X	X	X	X	X	X
5 Autres (veuillez préciser)	X		X	X	X	X	X	X
B Émissions fugaces imputables aux combustibles	X		X		X	X	X	X
1 Combustibles solides			X		X	X	X	X
2 Pétrole et gaz naturel			X		X	X	X	X
2. Procédés industriels	X		X	X	X	X	X	X

A Produits minéraux	X							
B Industrie chimique	X		X	X	X	X	X	X
C Métallurgie	X		X	X	X	X	X	X
D Autre production	X				X	X	X	X
E Production d'hydrocarbures halogénés et de SF ₆ (hexafluorure de souffre)								
F Consommation d'hydrocarbures halogénés et de SF ₆								
G Autres (veuillez préciser)	X		X	X	X	X	X	X
3. Utilisation de solvants et autres produits	X		X				X	
4. Agriculture			X	X	X	X	X	X
A Fermentation entérique			X					
B Gestion du fumier			X				X	
C Riziculture			X				X	
D Sols agricoles			X				X	
E Brûlage dirigé de la savane			X	X	X	X	X	
F Incinération sur place des résidus agricoles			X	X	X	X	X	
G Autres (veuillez préciser)			X	X	X	X	X	
5. Changement d'affectation des terres et foresterie	X _b	X _b	X	X	X	X	X	X
A Évolution du patrimoine forestier et des autres stocks de biomasse ligneuse	X _b	X _b						

B Conversion des forêts et des prairies	X	X	X	X	X	X		
C Abandon des terres gérées								
D Émissions et absorptions de CO ₂ par les sols	X _b	X _b						
E Autres (veuillez préciser)	X	X	X	X	X	X		
6. Déchets			X	X	X	X	X	X
A Mise en décharge des déchets solides			X		X		X	
B Traitement des eaux usées			X	X	X	X	X	
C Incinération des déchets					X	X	X	X
D Autres (veuillez préciser)			X	X	X	X	X	X
7. Autres (veuillez préciser)	X	X	X	X	X	X	X	X
Pour mémoire :								
Combustibles de soute utilisés dans les transports internationaux	X		X	X	X	X	X	X
Transports aériens	X		X	X	X	X	X	X
Transports maritimes	X		X	X	X	X	X	X
Émissions de CO₂ provenant de la biomasse	X							

Remarque : Les cases en gris ne requièrent pas de saisie.

a Les indicateurs habituels suivants doivent être utilisés, le cas échéant, pour les émissions par sources et puits de GES : Néant (sans émissions) pour les activités ou les processus qui n'ont pas lieu pour une catégorie particulière de gaz ou de source/puits dans un pays, NE (non estimées) pour les émissions et les absorptions qui n'ont pas été estimées, SO (sans objet) pour les activités dans une catégorie donnée de source/puits qui ne produisent pas d'émissions ou d'absorption d'un gaz spécifique, IA (incluses ailleurs) pour les émissions ou absorptions estimées mais incluses ailleurs dans l'inventaire (les Parties devraient indiquer où les émissions ou absorptions ont été incluses), C (confidentielles) pour les émissions ou absorptions qui pourraient conduire à dévoiler des informations confidentielles.

b Ne pas fournir d'estimation pour les émissions de CO₂ et les absorptions de CO₂. Les émissions « nettes » (émissions - absorptions) de CO₂ doivent être estimées et un seul chiffre doit être mis soit dans la colonne des émissions de CO₂, soit dans celle des absorptions de CO₂, selon le cas. À noter qu'aux fins des notifications, le signe associé aux absorptions est toujours (-) et le signe (+) est associé aux émissions.

Il est à noter que les Lignes directrices de la CCNUCC révisées ont été adoptées en 2002, avant la finalisation des GPG UTCATF (GIEC, 2003). Pour cette raison, les pays en développement ont notifié les activités liées à la forêt dans leurs NC initiales en fonction des quatre catégories des Recommandations du GIEC de 1996 révisées (Évolution du patrimoine forestier et des autres stocks de biomasse ligneuse ; Conversion des forêts et des prairies ; Abandon des terres gérées ; Émissions et absorptions de CO₂ par les sols). Tous les pays en développement ont suivi cette structure en notifiant les émissions et les absorptions dans leurs communications initiales.

Pour la présentation des NC suivantes, le Secrétariat de la CCNUCC assure une formation qui inclut la manière d'intégrer les éléments des GPG UTCATF au processus d'inventaire. Ainsi, les pays en développement ont commencé à se servir des GPG UTCATF, ce qui a facilité l'apport d'informations plus détaillées.

Rapports biennaux d'actualisation

Dans le cadre des Accords de Cancun de 2010 (Décision 1/CP.16 [CCNUCC, 2010], élaborés plus avant par la Décision 2/CP.17 [CCNUCC, 2011]), les pays en développement³⁸ sont requis de soumettre des BUR contenant des informations sur les émissions et les absorptions de GES, ainsi que sur les mesures d'atténuation, les besoins et le soutien reçu pour la mise en œuvre de ces efforts. L'accès à ces informations facilitera l'évaluation des résultats des mesures d'atténuation entreprises.

Les lignes directrices relatives aux notifications des BUR se trouvent à l'Annexe III de la Décision 2/CP.17 (CCNUCC, 2011). Plus précisément pour l'UTCATF, le paragraphe 6 de ces directives stipule que, « les Parties non visées à l'Annexe I, en fonction de leurs capacités, devraient aussi soumettre dans la section de l'inventaire des rapports biennaux actualisés, les tableaux inclus à l'Annexe 3A.2 des Recommandations en matière de bonnes pratiques du GIEC pour l'UTCATF... »

Les pays en développement préparent actuellement leurs BUR. Les premiers doivent être soumis dès décembre 2014, et les suivants seront présentés tous les deux ans (Décision 2/CP.17). Les lignes directrices pour la notification des informations ont été également adoptées pour la préparation des BUR. Elles stipulaient de fournir des informations sur :

- les situations nationales et les dispositifs institutionnels,
- l'inventaire national GES,
- les mesures d'atténuation et leurs effets : pour chaque Stratégie d'atténuation adaptée aux contextes nationaux (MAAN), les pays doivent fournir des informations sur la nature de l'action, les objectifs de réduction et les indicateurs de l'état d'avancement, les hypothèses et les méthodes retenues, le progrès au regard de la mise en œuvre et des réductions d'émissions, et leurs situations nationales à l'égard de la MNV, et
- les besoins financiers, technologiques et de renforcement des capacités, ainsi que le soutien reçu.

³⁸ Une flexibilité supplémentaire est accordée aux pays les moins développés et aux petits États insulaires en développement.

Mesures d'atténuation appropriées aux niveaux national et international (MAAN)

Parmi d'autres décisions adoptées dans le cadre des Accords de Cancun, la Décision 1/CP.16 [CCNUCC, 2010], stipule que les pays en développement doivent employer des Mesures d'atténuation appropriées aux niveaux national et international (MAAN) en 2020 afin que leurs émissions s'écartent des niveaux habituellement produits, et ce dans le contexte du développement durable. Les MAAN peuvent être financées par des bailleurs de fonds extérieurs ou internationaux et/ou par des ressources nationales. Les mesures prises en charge au niveau international seront mesurées, notifiées et vérifiées par le pays et seront aussi soumises au processus de Mesure, notification et vérification (MNV), tandis que les mesures d'atténuation seront mesurées, notifiées et vérifiées au niveau national.

Le but des MAAN est de servir de stratégie d'atténuation pour un pays en développement ; la REDD+ pourrait faire partie des MAAN globales d'un pays. Pour garantir qu'elle est efficace, suffisante et prévisible, elle devrait être assortie de ressources financières pour fournir des incitations adéquates aux acteurs concernés au moment opportun, afin que la transformation de leur comportement actuel vis à vis de leurs ressources et de l'utilisation de celles-ci vaillent la peine pour eux. À cette fin, il est très important de mettre en place un système pour la MNV des émissions et absorptions lié aux actions mises en œuvre, et la pierre angulaire d'un tel système est un inventaire national GES, fiable, préparé suivant les principes du GIEC (transparence, cohérence, comparabilité, exhaustivité et exactitude).

6.2.2 Recommandations générales pour la notification

Le Cadre de Varsovie pour la REDD+ a établi des modalités pour les systèmes de surveillance des forêts au titre de la Décision 11/CP.19. Conformément à la disposition de cette décision, les systèmes de surveillance des forêts doivent :

- Être guidés par les toute dernières recommandations et lignes directrices du GIEC, telles qu'adoptées ou encouragées par la COP (c.-à-d., les GPG-UTCATF) et
- Fournir des données et des informations qui sont transparentes, cohérentes dans le temps, et acceptables pour la MNV, et exploiter les systèmes existants tout en restant flexibles pour être améliorés.

Les sections suivantes abordent des exigences spécifiques en matière de notification pour la REDD+. Ce sont en particulier, les spécifications de notifications pour les FREL/FRL (Décision 12/CP.17), découlant de la mise en œuvre des activités de la REDD+ (Décision 14/CP.19), et les garanties ou sauvegardes (Décisions 12/CP.17 et 12/CP.19).

Notification des FREL/FRL

En vertu de la Décision 12/CP.17, les FREL/FRL sont des critères permettant d'évaluer la performance de chaque pays au regard de la mise en œuvre des activités de la REDD+. Ils sont exprimés en tonnes équivalent CO₂ (CO₂eq) par an et doivent être établis en ayant recours aux GPG-UTCATF. Les pays doivent faire en sorte que leurs FREL/FRL soient cohérents avec les émissions anthropiques, liées à leurs forêts, de GES par les sources et des absorptions par les puits contenues dans leurs inventaires nationaux GES.

Les FREL/FRL infranationaux (couvrant moins de superficie que l'ensemble du territoire national de superficie forestière) peuvent être élaborés en tant que mesure provisoire, tout en passant à des FREL/FRL nationaux. Les FREL/FRL peuvent être actualisés périodiquement le cas échéant, en tenant compte de l'acquisition de nouvelles connaissances, des nouvelles tendances et de toute modification concernant la portée et les méthodologies.

La notification des FREL/FRL est volontaire. Cependant, lorsque les pays décident de soumettre des informations sur un FREL/FRL, ils doivent suivre les dispositions visées à l'Annexe de la Décision 12/CP.17 (voir Encadré 6.2). Les informations soumises doivent être transparentes, exhaustives, cohérentes avec les recommandations adoptées dans le cadre la CCNUCC, et exactes pour permettre une évaluation technique des données, des méthodologies et des procédures employées dans la construction d'un FREL/FRL.

La soumission d'un pays doit inclure des informations et la justification de l'élaboration des FREL/FRL, incluant des détails sur la situation nationale et, en cas d'ajustement, inclure des précisions sur la manière dont le contexte national a été pris en compte, conformément aux lignes directrices figurant dans l'annexe de la décision 12/CP.17 et à toute décision future que la CCNUCC adoptera. Dans la soumission, un pays doit aussi noter les domaines nécessitant des améliorations techniques et ceux où le renforcement des capacités s'avère utile pour l'élaboration de futurs FREL/FRL.

Les informations liées aux FREL/FRL doivent être communiquées dès que le pays a collecté les données requises, tandis que les autres données doivent être fournies avant qu'un pays reçoivent un paiement pour la mise en œuvre de ses activités de la REDD+. Comme convenu par les gouvernements (Décision 13/CP.19), toutes les informations soumises seront examinées dans le cadre d'une évaluation technique.

ENCADRE 6.2 : LIGNES DIRECTRICES POUR LES SOUMISSION D'INFORMATIONS SUR LES FREL/FRL

Les informations à soumettre doivent inclure :

1. Les informations qui ont été utilisées par les Parties pour le calcul d'un FREL/FRL, notamment les données historiques, présentées de façon exhaustive et transparente ;
2. Des données transparentes, exhaustives, cohérentes et exactes, notamment les informations sur les méthodologies utilisées lors du calcul des FREL/FRL, incluant, entre autres, le cas échéant, une description des ensembles de données, des approches, des méthodes, des modèles éventuels et des hypothèses retenues, les descriptions des politiques et plans applicables, et les descriptions des changements survenus depuis la soumission antérieure d'informations ;
3. Les réservoirs et les gaz, et les activités énumérées dans la décision 1/CP.16, paragraphe 70, dont il a été tenu compte dans les FREL/FRL et les raisons pour lesquelles un réservoir et/ou une activité ont été omis du calcul de ces FREL/FRL, sachant que d'importants réservoirs et/ou activités ne doivent pas être exclus ;
4. La définition de forêt retenue lors du calcul des FREL/FRL et, le cas échéant, en cas de divergence avec la définition de forêt retenue pour l'inventaire national des gaz à effet de serre ou pour la notification à d'autres organisations internationales, une explication de la raison pour laquelle et comment la définition retenue pour le calcul des FREL/FRL a été choisie.

Notification sur la mise en œuvre des activités de la REDD+

Le Cadre de Varsovie pour la REDD+ a établi des exigences en matière de notification pour les pays en développement souhaitant obtenir et recevoir des fonds en contrepartie de mesures axées sur les

résultats pour la REDD+ au titre de la Décision 14/CP.19. Plus précisément, les pays³⁹ (volontairement) doivent fournir, dans leurs BUR, une annexe technique contenant les informations citées dans l'Encadré 6.3.

Les émissions anthropiques, liées aux forêts, par les sources et des absorptions par les puits, les stocks de carbone forestier et les variations des stocks de carbone forestier et des surfaces forestières doivent être cohérents avec les GPG-UTCATF et toute recommandation sur la MNV des MAAN par les pays en développement. Les données et les informations utilisées par les pays en développement lors de l'estimation des émissions anthropiques, liées aux forêts, par les sources et des absorptions par les puits, les stocks de carbone et les variations des stocks de carbone forestier et des surfaces forestières, doivent être transparentes et rester cohérentes au cours du temps avec les FREL/FRL établis. Les résultats de la mise en œuvre des activités de la REDD+ doivent être mesurées par rapport aux FREL/FRL et doivent être exprimés en CO₂eq par an.

ENCADRE 6.3 : LIGNES DIRECTRICES POUR LES ELEMENTS A INCLURE DANS UNE ANNEXE TECHNIQUE DE RAPPORT ACTUALISE BIENNAL

1. Le résumé des informations du rapport final contenant chaque FREL/FRL évalué correspondant, qui inclut :
 - a) Le niveau d'émission de référence des forêts et/ou le niveau de référence des forêts exprimé en tonnes de dioxyde de carbone équivalent par an (CO₂ eq) ;
 - b) L'activité ou les activités mentionnées dans la décision 14/CP.16, paragraphe 70, incluses dans le niveau d'émission de référence des forêts et/ou le niveau de référence des forêts ;
 - c) La superficie des terres forestières territoriales couvertes ;
 - d) La date de la soumission du niveau d'émission de référence des forêts et/ou du niveau de référence des forêts, et la date du rapport final de l'évaluation technique ;
 - e) La période (en années) du niveau d'émission de référence des forêts et/ou du niveau de référence des forêts.
2. Les résultats en tonnes de CO₂ eq par an, cohérents avec le niveau d'émission de référence des forêts et/ou le niveau de référence des forêts.
3. La preuve que les méthodologies retenues pour produire les résultats mentionnées dans la décision 14/CP.19, paragraphe 2, sont cohérentes avec celles qui ont servi à établir le niveau d'émission de référence des forêts et/ou le niveau de référence des forêts.
4. Une description des systèmes de surveillance des forêts et les rôles et responsabilités institutionnels au regard de la mesure, la notification et la vérification des résultats.
5. Les informations nécessaires pour permettre de recalculer les résultats.
6. Une description de la manière dont les éléments contenus dans la décision 4/CP.15, paragraphe 1(c) et (d), ont été pris en compte.

³⁹ Une flexibilité supplémentaire est accordée aux pays les moins développés et aux petits États insulaires en développement.

Notification sur les sauvegardes

La Décision 12/CP.17 présente des recommandations pour la communication d'informations sur la manière dont les sauvegardes sont abordées et respectées (voir Encadré 6.4). Plus précisément, elle stipule que les systèmes qui fournissent ces informations devraient :

- Être cohérents avec les recommandations relevées dans la Décision 1/CP.16, appendice I, paragraphe I ;
- Fournir des informations transparentes et cohérentes, auxquelles toutes les parties prenantes intéressées puissent avoir accès, et qui soient actualisées régulièrement ;
- Être transparents et flexibles pour être améliorés au cours du temps ;
- Fournir des informations sur la manière dont les sauvegardes mentionnées dans l'appendice I de la Décision 1/CP.16 sont abordées et respectées ;
- Être dirigés par le pays et mis en œuvre au niveau national et
- Tirer parti des systèmes existants, le cas échéant.

Il fut aussi convenu que les pays en développement entreprenant des activités de la REDD+ devraient fournir un résumé des informations sur la manière dont les sauvegardes sont traitées et respectées à l'échelle de l'ensemble de la mise en œuvre des activités. Le résumé des informations doit être produit périodiquement et inclus dans les communications nationales, ou d'autres communications convenues par la COP.

ENCADRE 6.4 : GARANTIES QUI DOIVENT ETRE ENCOURAGEES ET APPUYEES LORS DE LA MISE EN ŒUVRE D'ACTIVITES DE LA REDD+

Les mesures qui complètent ou sont cohérentes avec les objectifs des programmes nationaux forestiers et respectent les conventions et les accords internationaux.

Les structures de gouvernance forestière transparentes et efficaces, tenant compte de la législation et de la souveraineté nationales.

Le respect des connaissances et des droits des peuples autochtones et des membres des communautés locales, prenant en compte les obligations internationales, la situation et les lois nationales pertinentes, et sachant que l'Assemblée générale des Nations Unies a adopté une Déclaration des droits des peuples autochtones.

Une participation pleine et réelle des parties prenantes concernées, surtout les peuples autochtones et les communautés locales, aux actions mentionnées dans la Décision 1/CP.16, paragraphes 70 et 72.

Des mesures cohérentes avec la conservation des forêts naturelles et de la diversité biologique, veillant à ce que les actions mentionnées dans la Décision 1/CP.16, paragraphe 70, ne sont pas retenues pour la conversion de forêts naturelles, mais plutôt comme mesures incitatives pour la protection et la conservation des forêts naturelles et de leurs services écosystémiques, ainsi qu'à renforcer d'autres avantages sociaux et environnementaux.

Les mesures visant à prendre en compte les risques d'inversion.

Les mesures qui réduisent les déplacements d'émissions.

La Décision 12/CP.19 du Cadre de Varsovie pour la REDD+ reprend les dispositions énoncées ci-dessus et stipule en outre que le résumé des informations mentionné ci-dessus peut aussi être fourni, volontairement, sur le site Internet de la CCNUCC.

6.2.3 Dispositions relatives à la notification des GPG-UTCATF

Conformément aux GPG-UTCATF, les informations doivent être notifiées sous forme d'un inventaire d'émissions et d'absorptions qui est habituellement divisé en deux parties : des tableaux de notification et un rapport sur l'inventaire. Les GPG-UTCATF contiennent des feuilles de travail qui peuvent servir pour faire les calculs réels des émissions et des absorptions, et peuvent être incluses dans l'inventaire pour améliorer la transparence.

Feuilles de travail

Les feuilles de travail des GPG-UTCATF sont présentées sous divers modules. Chacun correspond à une catégorie précise d'utilisation des terres⁴⁰. Un module est divisé en deux sous-modules afin de distinguer entre les terres qui restent dans la même catégorie d'utilisation des terres et celles qui ont été converties dans d'autres catégories d'utilisation. Chaque sous-module est encore divisé en quatre groupes de feuilles de travail couvrant : la biomasse vivante, la matière organique morte, les sols (divisés en sols minéraux et sols organiques), et les émissions de GES sans CO₂. Même si les feuilles de travail sont pour la plupart basées sur les méthodes de Niveau I, elles sont complétées par des méthodes de plus haut niveau le cas échéant.

En général, les feuilles de travail contiennent les informations suivantes :

- *Catégorie d'utilisation des terres initiale et finale.* Il est recommandé d'effectuer une stratification supplémentaire (dans une colonne séparée pour des sous-divisions) en fonction des critères comme la zone climatique, le système de gestion, le type de sol, le type de végétation, les essences d'arbres, les zones écologiques, la classification nationale des terres ou d'autres facteurs.
- *Données sur les activités.* Superficies de terre, en milliers d'hectares, ayant subi une déforestation brute, une dégradation, et soumise à une gestion des forêts.
- *Facteurs d'émission.* Variation des stocks de carbone par unité de surface déboisée ou dégradée ou gérée, séparée pour chaque bassin de carbone.
- *Variation totale du stock de carbone.* Obtenu en multipliant chaque donnée d'activité par le facteur d'émission adéquat de variation du stock de carbone.
- *Émissions totales.* Exprimées en unités physiques (par ex., Gg) ou en CO₂eq.

La Figure 6.2 montre un exemple de feuille de travail avec la compilation de ces éléments.

Tableaux de notification

Les GPG-UTCATF fournissent deux types de tableaux de notification. Le premier représente une matrice de la surface de toutes les terres qui a été convertie dans une autre catégorie et les émissions qui y sont associées. Bien que ce Manuel porte essentiellement sur la surveillance forestière ce tableau

⁴⁰ Exemple de feuille de travail : [http://www.ipcc-
nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/Chp3/Anx_3A_2_Reportng_Tables.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/Chp3/Anx_3A_2_Reportng_Tables.pdf)

est présenté à titre d'exemple. Le second type de tableau est un sous-ensemble du premier type, et découle du premier tableau parce qu'il reflète les variations produites sur le stock de carbone en raison des activités. Il rend compte aussi des émissions et des absorptions de CO₂ et de GES sans CO₂ résultant de la conversion des six catégories dans n'importe quelles autres catégories d'utilisation des terres. Tous les tableaux de notification sont inclus dans l'Annexe A3.2 des GPG-UTCATF⁴¹. À titre d'exemple, la Figure 6.3 (en deux parties) reproduit le tableau résumé de notification.

Afin de garantir l'exhaustivité d'un inventaire, il est important de remplir toutes les cases des tableaux de notification avec les informations adéquates. Si les quantités d'émissions et d'absorption réelles n'ont pas été estimées ou ne peuvent pas être notifiées pour quelque raison que ce soit, la personne ayant rempli l'inventaire doit utiliser la « légende de notation » qualitative fournie par les Recommandations du GIEC et des GPG (voir le Tableau 6.2), ainsi qu'une documentation à l'appui. Par exemple, si un pays décide que les efforts considérables déployés sont disproportionnés par rapport à la collecte de données pour un bassin d'une catégorie spécifique qui n'est pas une catégorie clé en termes de niveau et tendance globaux des émissions nationales, le pays doit énumérer tous les gaz/bassins exclus sur ces terrains, en justifiant leur exclusion, et avoir recours à la notation « NE » (Non estimé) dans les tableaux de notification. En outre, les tableaux de notification sont généralement assortis d'une documentation faisant référence à certaines sections de la notification de l'inventaire, si de plus amples renseignements sont nécessaires.

⁴¹ http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/Chp3/Anx_3A_2_ReportinTables.pdf

FIGURE 6.2 : REPRODUCTION D'UNE FEUILLE DE TRAVAIL DE COMPILEMENT POUR LA NOTIFICATION DES ÉMISSIONS ET DES ABSORPTIONS

TABLEAU 3A.2.2.A											
Catégorie d'utilisation des terres		Superficie des terres (ha)	Biomasse vivante			Matière organique morte			Sols ³		
Utilisation initiale des terres	Utilisation des terres pendant l'année de notification		Accroissement annuel des stocks de carbone (tonnes C yr ⁻¹) A	Diminution annuelle des stocks de carbone (tonnes C yr ⁻¹) B	Variation annuelle des stocks de carbone (Gg CO ₂ yr ⁻¹) C = (A-B) • 10 ³ • 44/12 C	Variation des stocks de carbone dans le bois mort (tonnes C yr ⁻¹) D	Variation des stocks de carbone dans la litière (tonnes C yr ⁻¹) E	Variation annuelle des stocks de carbone (Gg CO ₂ yr ⁻¹) F = (D+E) • 10 ⁻³ • 44/12 F	Variation des stocks de carbone dans les sols minéraux (tonnes C yr ⁻¹) G	Variation des stocks de carbone dans les sols organiques (tonnes C yr ⁻¹) H	Variation annuelle des stocks de carbone (Gg CO ₂ yr ⁻¹) I = (G+H) • 10 ⁻³ • 44/12 I
Terres forestières	Terres forestières										
Terres cultivées	Terres forestières		ΔCLF_G ⁴	ΔCLF_L	ΔCLF_{BV}	ΔCLF_{BM}	ΔCLF_{LT}	ΔCLF_{MOM}	ΔCLF_{Minéraux}	ΔCLF_{Organiques}	ΔCLF_{Sols}
Prairies	Terres forestières										
Zones humides	Terres forestières										
Établissements	Terres										

	forestières										
Autres terres											
	Sous-total pour terres forestières										
Terres cultivées	Terres cultivées										
Terres forestières	Terres cultivées										
Prairies	Terres cultivées										
Zones humides	Terres cultivées										
Établissements	Terres cultivées										
Autres terres	Terres cultivées										
	Sous-total pour terres cultivées										
Prairies	Prairies										
Terres forestières	Prairies										
Terres cultivées	Prairies										
Zones humides	Prairies										
Établissements	Prairies										
Autres terres	Prairies										

	Sous-total pour prairies										
Zones humides	Zones humides										
Terres forestières	Zones humides										
Terres cultivées	Zones humides										
Prairies	Zones humides										
Établissements	Zones humides										
Autres terres	Zones humides										
	Sous-total pour zones humides										

D'autres tableaux que l'on peut aussi incorporer à la notification incluent :

- Les tableaux avec les tendances en matière d'émissions, incluant les données provenant d'autres années d'inventaire, et
- Les tableaux illustrant les résultats de l'analyse des catégories clés, l'exhaustivité de la notification et les recalculs.

Une catégorie clé est une catégorie prioritaire dans un système d'inventaire national car son estimation a une influence significative sur l'inventaire total des GES d'un pays en termes de niveau absolu d'émissions et d'absorptions, de tendance en matière d'émissions et d'absorptions, ou de l'incertitude au regard des émissions ou des absorptions. Lorsque le terme catégorie clé est employé, il inclut à la fois les catégories de sources et de puits.

Notification d'inventaire

L'autre partie d'un inventaire national est une notification d'inventaire qui contient des informations exhaustives et transparentes. Les sections habituelles de la notification d'inventaire sont les suivantes :

- Un aperçu des tendances pour les émissions/absorptions agrégées des GES par gaz et par catégorie ;
- Une description des méthodes utilisées pour compiler l'inventaire, les hypothèses, les sources de donnée et la raison de leur sélection, et une indication du niveau de complexité (niveaux GIEC) appliqué. Dans le contexte de la notification pour la REDD+, les renseignements appropriés sur les définitions d'utilisation des terres, la représentation des superficies des terres et les bases de données d'utilisation des terres sont probablement requises ;
- Une description des catégories clés, notamment les informations sur le niveau de désagrégation de catégorie employé et sa raison d'être, la méthode utilisée pour identifier les catégories clés, et le cas échéant, des explications de la raison pour laquelle les niveaux recommandés par le GIEC n'ont pas été appliqués ;
- Des informations sur les incertitudes (c.-à-d., les méthodes utilisées et les hypothèses sous-jacentes), la cohérence des séries temporelles, les recalculs (avec la justification de la fourniture de nouvelles estimations), les procédures de AQ/CQ et l'archivage des données ;
- Une description des dispositifs institutionnels pour la planification, la préparation et la gestion de l'inventaire ; et
- Des informations sur les améliorations prévues.

TABLEAU 6.2 : LEGENDES DES NOTATIONS POUR L'UTILISATION DES TABLEAUX DE NOTIFICATION DES GES⁴²

Légende des notations	Explication
NE (Non estimées)	Les émissions et/ou absorptions se produisent mais n'ont pas été estimés ou notifiées.
IA (Incluses ailleurs)	Les émissions et/ou absorptions pour cette activité sont estimées et incluses dans l'inventaire mais ne sont pas présentées séparément pour cette catégorie. La catégorie où ces émissions et absorptions sont incluses devrait être indiquée (par exemple dans la case de documentation du tableau correspondant).
C (Informations confidentielles)	Les émissions et/ou absorptions sont agrégées et incluses ailleurs dans l'inventaire parce que leur notification à un niveau désagrégé pourrait conduire à divulguer des informations confidentielles.
SO (Sans objet)	L'activité de la catégorie existe mais on considère que les émissions et les absorptions ne se produiront pas. Dans les tableaux de notification, ces cases sont normalement en hachuré.
Néant (Sans émissions)	Une activité ou un processus qui ne se produit pas dans un pays.

Par ailleurs, toutes les informations pertinentes de l'inventaire doivent être compilées et archivées, incluant tous les facteurs d'émissions désagrégés, les données d'activité et la documentation indiquant comment ces facteurs et ces données ont été produits et agrégés pour la notification. Ces informations doivent permettre aux experts n'ayant pas participé à la préparation de l'inventaire de refaire les calculs.

⁴² www.ipcc-nngipiges.or.jp/public/2006gl/pdf/I_volumeI/VI_8_ch8_Reportin_Guidance.pdf

FIGURE 6.3 : REPRODUCTION DES TABLEAUX RECAPITULATIFS POUR LA NOTIFICATION

TABLEAU 3A.2.I.A										
TABLEAU DE NOTIFICATION DES ÉMISSIONS ET ABSORPTIONS DE CO ₂ ET GAZ NON CO ₂ DE L'UTCATF AU COURS DE L'ANNÉE DE NOTIFICATION										
Catégorie d'utilisation des terres		Lignes directrices du GIEC ¹	Variation annuelle des stocks de carbone, Gg CO ₂				CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	NO _x ³ (Gg)	CO ³ (Gg)
Utilisation initiale des terres	Utilisation des terres pendant l'année de notification		Biomasse vivante A	Matière organique morte B	Sols C	Émissions/absorptions ² CO ₂ D= (A+B+C)·(-I) D				
Terres forestières	Terres forestières	5A								
Terres cultivées	Terres forestières	5A, 5C, 5D	$\Delta\text{CLF}_{\text{BV}}^5$	$\Delta\text{CLF}_{\text{MOM}}$	$\Delta\text{CLF}_{\text{MOS}}$					
Prairies	Terres forestières	5A, 5C, 5D								
Zones humides	Terres forestières	5A, 5C, 5D								
Établissements	Terres forestières	5A, 5C, 5D								
Autres terres	Terres forestières	5A, 5C, 5D								

	Sous total pour terres forestières									
Terres cultivées	Terres cultivées	5A, 5D								
Terres forestières	Terres cultivées	5B, 5D								
Pâtrages	Terres cultivées	5B, 5D								
Zones humides	Terres cultivées	5D								
Établissements	Terres cultivées	5D								
Autres terres	Terres cultivées	5D								
	Sous total pour terres cultivées									
Prairies	Prairies	5A, 5D								
Terres forestières	Prairies	5B, 5D								
Terres cultivées	Prairies	5C, 5D								
Zones humides	Prairies	5C, 5D								

Établissements	Prairies	5C, 5D							
Autres terres	Prairies	5C, 5D							
	Sous total pour prairies								
Zones humides	Zones humides	5A, 5E							
Terres forestières	Zones humides	5B							
Terres cultivées	Zones humides	5E							
Prairies	Zones humides	5B							
Établissements	Zones humides	5E							
Autres terres	Zones humides	5E							
	Sous total pour zones humides								

TABLEAU 3A.2.I.A (Suite) : TABLEAU DE NOTIFICATION DES ÉMISSIONS ET ABSORPTIONS DE CO₂ ET GAZ NON CO₂ DE L'UTCATF AU COURS DE L'ANNÉE DE NOTIFICATION

Catégorie d'utilisation des terres		Lignes directrices du GIEC ¹	Variation annuelle des stocks de carbone, Gg CO ₂				CH4 (Gg)	N ₂ O (Gg)	NO _x ³ (Gg)	CO ³ (Gg)
Utilisation initiale des terres	Utilisation des terres pendant l'année de notification		Biomasse vivante A	Matière organique morte B	Sols C	Émissions/absorptions ² CO ₂ D= (A+B+C)·(-I) D				
Établissements	Établissements	5A								
Terres forestières	Établissements	5B								
Terres cultivées	Établissements	5E								
Prairies	Établissements	5B								
Zones humides	Établissements	5E								
Autres terres	Établissements	5E								
	Sous total pour établissements									
Autres terres	Autres terres	5A								
Terres	Autres	5B								

forestières	terres										
Terres cultivées	Autres terres	5E									
Prairies	Autres terres	5B									
Zones humides	Autres terres	5E									
Établissements	Autres terres	5E									
	Sous total pour autres terres										
Autres ⁴ (veuillez préciser)											
	Sous total pour autres										
Total											

¹ Titres des Instructions concernant la notification des *Lignes directrices du GIEC* p. 1.14 - 1.16: 5A - Évolution du patrimoine forestier et des autres stocks de biomasse ligneuse, 5B - Conversion des forêts et des prairies, 5 C - Abandon des terres gérées, 5D - Émissions et absorptions de CO₂ par les sols, et 5E - Autres.

² Aux fins de la notification, il s'impose d'inverser les signes afin que la valeur résultante soit exprimée comme (-) pour élimination ou absorption et (+) pour émission. Ainsi, le I négatif est multiplié par le résultat des émissions ou des absorptions de CO₂.

³ Les *Lignes directrices du GIEC* et ce rapport précisent la méthode permettant d'estimer les émissions de NO_x et CO pour l'utilisation des terres, les changements d'affectation des terres pour les émissions provenant uniquement d'incendies de forêt. Si vous avez notifié d'autres données, vous devez fournir les informations supplémentaires (méthode, données d'activités et facteurs d'émissions) auxquelles vous avez eu recours pour faire ces estimations.

⁴ Ceci peut inclure d'autres sources ou absorptions comme les Produits ligneux récoltés (PLR), etc.

⁵ Les symboles sont fournis pour indiquer la relation entre les feuilles de travail, les feuilles de travail de la compilation, le tableau de notification et les équations de la partie principale du rapport. Veuillez remarquer que les symboles ne sont fournis que pour une catégorie d'utilisation des terres à titre d'exemple.

Logiciel pour la notification

La CCNUCC a mis au point un logiciel en ligne⁴³, où les données d'activités (AD) et les données de facteurs d'émissions/d'absorption sont saisies pour obtenir l'absorption/la libération de carbone annuel. L'utilisation du logiciel comporte plusieurs caractéristiques ou inconvénients majeurs, tels que :

- Les noms ou les types de catégorie de forêt/plantation employés dans un pays peuvent être différents de ceux définis par le logiciel de la CCNUCC ;
- Le logiciel de la CCNUCC peut être modifié pour présenter des catégories valables pour les pays (par ex., les espèces d'Acacia peuvent être changées pour y inclure une autre espèce) ;
- Les noms des catégories employées dans la colonne ne sont pas tous inclus dans la procédure de calcul des feuilles de travail et peuvent donc être facilement changés ; et
- Les catégories de forêt/plantation : l'option existe pour 18 catégories, ce qui est un facteur limitant dans le cas où un pays compte plus de 18 catégories. Si le nombre de catégories de forêt/plantation dépasse le nombre fourni, il existe deux options : i) Insérer des rangées supplémentaires uniquement si la personne travaillant sur l'inventaire a les compétences nécessaires pour modifier les « macros » ; ou ii) fusionner les catégories plus petites ou homogènes de manière à ce que le nombre total de rangées (ou catégories) ne dépasse pas 18.

L'équipe spécialisée du GIEC pour les inventaires des GES a également créé un logiciel pour les inventaires⁴⁴ afin d'aider les pays à estimer et notifier les émissions et les absorptions de GES ; cet outil est compatible avec les Lignes directrices de 2006 du GIEC (GIEC, 2006b).

Un autre outil est le logiciel⁴⁵ établi par le GIEC pour dresser les inventaires, qui permet de guider les compilateurs d'inventaires lors du processus d'estimation des émissions et absorptions de GES liées aux activités agricoles et forestières (ALU Software, 2013). Le logiciel simplifie le processus d'inventaire en répartissant l'analyse de l'inventaire sur plusieurs étapes afin de faciliter la compilation des AD, l'attribution des facteurs d'émission et la réalisation des calculs. Cet outil comporte aussi des contrôles internes pour garantir l'intégrité des données. Nombre de gouvernements s'intéressent aussi à l'atténuation des émissions de GES provenant de l'agriculture et de la foresterie. Déterminer les possibilités d'atténuation exige d'appréhender à la fois les tendances des émissions actuelles et l'influence d'autres pratiques d'utilisation et de gestions des terres sur les futures émissions.

6.3 VERIFICATION

Selon les GPG-UTCATF (GIEC, 2003), le « but de vérifier les inventaires nationaux GES est d'établir leur fiabilité et la précision des chiffres rapportés par des moyens différents. La vérification peut être effectuée à plusieurs niveaux : projet, national et international ». Le GIEC a aussi stipulé que les objectifs globaux de vérification sont de fournir des suggestions afin d'améliorer les inventaires des GES, de

⁴³ http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_national_communications/non-annex_i_inventory_software/items/7627.php

⁴⁴ <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html>

⁴⁵ <http://www.nrel.colostate.edu/projects/ALUsoftware/index.html>.

renforcer la confiance à l'égard des estimations et des tendances, de contribuer à approfondir les connaissances scientifiques. Ces objectifs peuvent être réalisés au moyen de :

- Contrôles internes, qui sont effectués par les organisations, les agences ou les personnes chargées de la compilation de l'inventaire ; et
- Contrôles externes, qui sont effectués par d'autres organes ne participant pas directement à la préparation de l'inventaire des GES (par ex., d'autres agences gouvernementales, des sociétés privées, des consortiums de recherche, des scientifiques indépendants, des organisations non gouvernementales).

En ce qui concerne la vérification interne, la section 5.7 des GPG-UTCATF⁴⁶ fournit des renseignements qui peuvent faciliter les activités de vérification au niveau du projet ou au niveau national, et qui sont très utiles pour les activités de la REDD+. Dans certains cas, le texte est cité directement du document du GIEC, dans d'autres, il a été modifié pour refléter des aspects spécifiques à la REDD+.

Les gouvernements sont parvenus à un accord au regard des exigences et des procédures en matière de vérification externe pour la REDD+ dans le cadre des négociations menées pendant la COP19 à Varsovie, Pologne, en novembre 2013. Le « Cadre de Varsovie pour la REDD »⁴⁷ est le résultat de cette conférence et inclut deux décisions relatives à la vérification interne au niveau international. Ce sont :

- La Décision 13/CP.19 sur les directives et procédures pour l'évaluation technique des soumissions des Parties sur les Niveaux d'émission de référence des forêts et/ou les Niveaux de référence des forêts proposés, et
- La Décision 14/CP.19 sur les modalités en matière de mesure, notification et vérification.

Les dispositions de ces deux décisions seront exposées dans la section 6.3.3 ci-dessous.

6.3.1 Méthodes pour la vérification interne au niveau de projets ou national

Les GPG-UTCATF notent que l'aspect unique des méthodes d'estimation requises pour les activités liées à la foresterie a mené à la conclusion que la vérification « serait basée sur la comptabilisation complète des émissions et des absorptions à l'échelle nationale, mesurées par des méthodes indépendantes à différents niveaux, et éventuellement complétées par des approches descendantes basées sur des mesures atmosphériques ». Un processus complet de vérification exigerait un croisement des résultats à des échelles différentes (infranationale et nationale), selon les situations nationales des pays.

Dans le même temps, le GIEC a reconnu qu'une « telle vérification serait complexe et mobiliserait de nombreuses ressources, et pourrait être menée par des consortiums et/ou des programmes de recherche ». En outre, la vérification croisée des résultats exige un temps considérable et est susceptible d'être mise en œuvre sur une période de plusieurs années, plutôt que sur une année.

Les cinq méthodes principales pour mener la vérification incluses actuellement dans les GPG-UTCATF sont :

⁴⁶ http://www.ipcc-nngip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/Chp5/Chp5_7_Verification.pdf

⁴⁷ La COP 19 a convenu que les décisions 9/CP.19, 10/CP.19, 11/CP.19, 12/CP.19, 13/CP.19, 14/CP.19 et 15/CP.19 seraient désignées comme le Cadre de Varsovie pour la REDD+ (voir le paragraphe 44 du rapport de la COP19, disponible sur ce site <http://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10.pdf>).

1. La comparaison avec d'autres informations, telles que des inventaires indépendants et des programmes et ensembles de données internationaux ;
2. L'application de méthodes de plus haut niveau ;
3. La mesure directe des émissions et des absorptions de GES ;
4. La télédétection ; et
5. Le recours à des modèles.

Outre ces cinq approches, les suivantes peuvent être envisagées : un examen par des pairs et par le public ; l'analyse d'aspects spécifiques de l'inventaire, comme les données sous-jacentes (collecte, transcription et analyse) ; les facteurs d'émissions ; les hypothèses concernant les AD ; les règles utilisées pour les calculs (pertinence et application des méthodes, incluant les modèles) ; et les procédures de mise à l'échelle. Quelles que soient les façons de procéder à la vérification ou quels aspects de l'inventaire sont vérifiés, la vérification doit être menée en ayant recours à des données et des méthodes indépendantes de celles qui ont été employées pour préparer l'inventaire.

Les critères pour sélectionner les méthodes de vérification inclut : l'importance des sujets, les coûts, le niveau d'exactitude et de précision souhaité, la complexité de la planification et de la mise en œuvre des approches de vérification, et le niveau de compétences requis pour mener à bien cette activité.

La Section 5.7, Vérification, des GPG-UTCATF⁴⁸ donne une description technique de chaque méthode, en termes de son applicabilité (par ex., pour une catégorie précise, les types de données). Le guide des recommandations du GIEC fournit aussi un tableau d'informations, Figure 6.4 ci-dessous, pour permettre de discerner les approches convenant le mieux à des catégories ou à des entrées particulières.

⁴⁸ http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/Chp5/Chp5_7_Verification.pdf

FIGURE 6.4 : REPRODUCTION DU TABLEAU INDIQUANT L'APPLICABILITE GENERALE DES METHODES DE VERIFICATION

TABLEAU 5.7.1 APPLICABILITÉ DES MÉTHODES DE VÉRIFICATION POUR L'IDENTIFICATION DES SUPERFICIES DES TERRES ET POUR LES BASSINS DE CARBONE ET DE GAZ À EFFET DE SERRE SANS CO₂					
	Approche 1 Comparaison avec d'autres inventaires et d'autres ensembles de données indépendantes	Approche 2 Appliquer des méthodes de plus haut niveau	Approche 3 Mesures directes	Approche 4 Télédétection	Approche 5 Modélisation
Superficie des terres	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente, si les données sont disponibles	Sans objet	Pertinente	Sans objet
Bassins de carbone					
Biomasse aérienne	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente (mobilise de nombreuses ressources)	Pertinente (données de terrain nécessaires)	Pertinente, (modèles de régression, des écosystèmes et de la croissance)
Biomasse souterraine	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente (mobilise de nombreuses ressources)	Sans objet	Pertinente, (modèles de régression, des écosystèmes et de la croissance)
Bois mort	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente (mobilise de nombreuses ressources)	Sans objet	Applicable (modèles basés sur les écosystèmes et l'inventaire)
Litière	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente (mobilise de nombreuses ressources)	Sans objet	Applicable (modèles basés sur les écosystèmes et l'inventaire)

Matière organique du sol	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente (mobilise de nombreuses ressources)	Sans objet	Applicable (modèles basés sur les écosystèmes et l'inventaire)
Gaz à effet de serre non CO₂	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente (mobilise de nombreuses ressources)	Sans objet	Pertinente (modèles des écosystèmes)
Facteurs d'émission	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente (mobilise de nombreuses ressources)	Sans objet	Pertinente (modèles des écosystèmes)
Notification de l'activité/basée sur les terres					
Forêt, prairie, terres cultivées, autres utilisations des terres	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente (mobilise de nombreuses ressources)	Pertinente, surtout pour discerner la couverture terrestre/l'utilisation des terres et les changements d'affectation	Pertinente, nécessite de nombreuses données, peut être une alternative lorsque les estimations de mesures directes et de la télédétection ne sont pas disponibles
Projets de boisement, reboisement, déforestation	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente, si les données sont disponibles	Pertinente (mobilise de nombreuses ressources)	Pertinente, surtout pour discerner la couverture terrestre/l'utilisation des terres et les changements d'affectation	Pas pratique

6.3.2 Recommandations générales pour la vérification interne

Selon les GPG-UTCATF, deux considérations clés sont à prendre en compte pour une agence menant un d'inventaire, voulant mettre au point un plan de vérification :

- **Discerner les critères permettant de sélectionner les éléments de l'inventaire pour la vérification.** Par exemple, les sources/puits clés doivent avoir la priorité. Parallèlement, des catégories non clés peuvent aussi être sélectionnées pour vérification si elles présentent un intérêt particulier dans le cadre des efforts d'atténuation, ou si leur incertitude est élevée ou si elles sont susceptibles de changer de manière significative au cours de la période de notification de l'inventaire.
- **Décider comment les éléments de l'inventaire seront vérifiés.** Outre la pertinence/disponibilité d'une méthode particulière de vérification, d'autres critères à utiliser pour sélectionner une approche spéciale incluent : le type de données à vérifier, l'échelle spatiale couverte par l'inventaire ; la quantité et la qualité des données à vérifier et l'exactitude, la précision et le coût de la méthode elle-même.

Les GPG-UTCATF stipulent aussi que si « un pays entreprend la vérification interne de son inventaire, il devrait garantir que :

- Un nombre suffisant d'experts indépendants est disponible ;
- La documentation de la vérification est incluse dans la notification de l'inventaire ;
- Les estimations des incertitudes et la documentation AQ/CQ sont incluses dans la notification ;
- Les autres activités relatives à la vérification nationale, si disponibles, sont décrites ;
- Les méthodes de vérification appliquées sont transparentes, rigoureuses et rationnelles sur le plan scientifique ;
- Les résultats de la vérification sont raisonnables et bien expliqués ; et
- Les calculs finaux peuvent être raisonnablement liés aux données sous-jacentes et aux hypothèses ».

Certains des contrôles et des comparaisons qui peuvent être utilisés pour la vérification interne du secteur UTCATF sont récapitulés dans l'Encadré 5.7.3⁴⁹ des GPG-UTCATF (reproduite ci-dessous). Ces contrôles et ces comparaisons sont essentiels, et dans l'idéal doivent être inclus dans l'AQ/CQ.

⁴⁹ http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/Chp5/Chp5_7_Verification.pdf

FIGURE 6.5 : ENCADRE 5.7.3 DES GPG UTCATF

ENCADRÉ 5.7.3 : VÉRIFICATION D'INVENTAIRE DU SECTEUR UTCATF DANS UN INVENTAIRE NATIONAL

A. Contrôles :

L'inventaire du secteur UTCATF documente-t-il les données et les hypothèses utilisées pour estimer les émissions et les absorptions pour toutes les catégories de sources/puits du GIEC ?

Tous les bassins de carbone importants ont-ils été inclus dans l'inventaire ?

Si certaines catégories d'émissions/d'absorptions de l'UTCATF ont été omises, la notification explique-t-elle pourquoi ?

Les émissions et les absorptions sont-elles exprimées en termes *positifs* et *négatifs*, respectivement dans la notification ?

Pour la superficie totale couverte par l'inventaire du secteur UTCATF, l'ensemble des changements de l'affectation des terres pour l'année de l'inventaire sont-ils égaux à zéro à l'intérieur de la limite de confiance ?

S'il existe des discontinuités des tendances entre l'année de base et l'année finale, celles-ci sont-elles évaluées et expliquées ?

B. Comparaisons des émissions et des absorptions de l'UTCATF :

Comparer l'inventaire du secteur UTCATF avec des inventaires nationaux préparés indépendamment pour le **même** pays, ou comparer des sous-ensembles régionaux de l'inventaire national avec des inventaires préparés indépendamment pour ces régions. (Tableau 5.7.1, Approche 1).

Comparer l'inventaire du secteur UTCATF avec des inventaires nationaux pour un pays **different**, mais semblable (Tableau 5.7.1, Approche 1).

Comparer les données d'activité et/ou les facteurs d'émissions de l'inventaire du secteur UTCATF avec des bases de données internationales indépendantes et/ou d'autres pays. Par exemple, comparer les Facteurs d'expansion de la biomasse d'espèces semblables avec les données d'autres pays dotés des mêmes conditions en matière de forêts (Tableau 5.7.1, Approche 1).

Comparer l'inventaire du secteur UTCATF avec les résultats calculés en ayant recours à une méthode à un autre niveau, incluant les valeurs par défaut (Tableau 5.7.1, Approche 2).

Comparer l'inventaire du secteur UTCATF avec les résultats d'études et à intensité élevée (Tableau 5.7.1, Approche 1-3).

Comparer les superficies des terres et les stocks de biomasse utilisés dans l'inventaire avec la télédétection (Tableau 5.7.1, Approche 4).

Comparer l'inventaire du secteur UTCATF avec des modèles (Tableau 5.7.1, Approche 5).

C. Comparaison des incertitudes :

Comparer les estimations des incertitudes avec l'incertitude publiée dans la documentation concernée.

Comparer les estimations des incertitudes avec celles d'autres pays et les valeurs par défaut du GIEC.

D. Mesures directes :

Effectuer des mesures directes (comme l'inventaire forestier local, décrivant en détail les mesures de croissance et/ou les flux des gaz à effet de serre des écosystèmes (Tableau 5.7.1, Approche 3).

Les situations propres aux pays et la disponibilité des ressources sont des considérations clés lors de la sélection des approches de vérification appropriées. En général, « les approches 1 et 2 peuvent être facilement mises en œuvre par une agence d'inventaire, dotée de ressources moindres ou modérées. Les mesures directes sont pertinentes, mais cette approche est susceptible de mobiliser beaucoup de ressources et, à grande échelle, le coût peut être une contrainte. Les modèles peuvent être un autre moyen lorsqu'il n'est pas faisable d'avoir recours aux mesures combinées à la télédétection ».

6.3.3 Dispositions liées à la vérification internationale, émanant du Cadre de Varsovie pour la REDD+,

Comme mentionné dans la section 6.2.2 ci-dessus, les pays en développement cherchant à mettre en œuvre des activités de la REDD+ dans l'objectif de recevoir des fonds en contrepartie de mesures axées sur les résultats doivent soumettre des informations au secrétariat de la CCNUCC, portant sur :

1. Les FREL/FRL qu'ils proposent ; et
2. Les données et les informations utilisées dans l'estimation des émissions anthropiques liées aux forêts par leurs sources et des estimations par leurs puits, des stocks de carbone forestier, et des variations des stocks de carbone et de l'affectation des terres une fois entrepris les activités de la REDD+ (voir Encadré 6.5).

Les deux ensembles de données seront soumis à une évaluation ou une analyse technique.

ENCADRE 6.5 : DIRECTIVES APPLICABLES AUX ELEMENTS A INCLURE DANS L'ANNEXE TECHNIQUE VISEE AU PARAGRAPHE 7 DE LA DECISION 14/CP.19, « MODALITES DE MESURE, DE NOTIFICATION ET DE VERIFICATION »

1. Renseignements succincts tirés du rapport final concernant chaque FREL et/ou FRL, qui comprennent :
 - a) Le Niveau d'émission de référence des forêts et/ou le niveau de référence des forêts, évalué correspondant, exprimé en tonnes équivalent dioxyde carbone (eq CO₂) par an ;
 - b) L'activité ou les activités visées au paragraphe 70 de la Décision 1/CP.16, qui sont prises en compte dans le niveau d'émission de référence et/ou le niveau de référence des forêts ;
 - c) La superficie couverte par les forêts ;
 - d) La date de la soumission du niveau d'émission de référence et/ou le niveau de référence des forêts et la date du rapport final sur l'évaluation technique ;
 - e) La période (en années) à laquelle s'applique le niveau d'émission de référence et/ou le niveau de référence des forêts.
2. Résultats en tonnes eq CO₂ par an, concordant avec le niveau d'émission de référence et/ou le niveau de référence des forêts.
3. Démonstration de la comptabilité des méthodologies utilisées pour produire les résultats visés au paragraphe 2 ci-dessus avec celles qui ont été employées pour établir le niveau d'émission de référence et/ou le niveau de référence des forêts.
4. Une description des systèmes nationaux de surveillance et des fonctions et responsabilités institutionnelles en matière de mesure, de notification et de vérification des résultats.
5. Les informations nécessaires à la reconstitution des résultats.
6. Une description de la façon dont les éléments figurant aux alinéas (c) et (d) du paragraphe 1 de la Décision 4/CP.15, ont été pris en compte.

Évaluation technique des niveau d'émission de référence des forêts et/ou niveau de référence des forêts (Décision 13/CP.19)

Conformément à la Décision 12/CP.17, les pays en développement peuvent soumettre un FREL/FRL qui fera l'objet d'une évaluation technique. Chaque soumission sera évaluée par deux experts en matière d'utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF) sélectionnés d'après la liste d'experts de la CCNUCC, l'un provenant d'un pays développé et l'autre d'un pays en développement. Les objectifs de l'évaluation technique sont :

- D'évaluer dans quelle mesure les renseignements fournis sont conformes aux lignes directrices pour la soumissions d'informations sur le FREL/FRL (annexe de la Décision 12/CP.17) pour la constitution du FREL/FRL;
- De présenter un échange technique, facile, discret d'informations sur la constitution des FREL/FRL en visant à appuyer les compétences des pays en développement pour l'élaboration et les

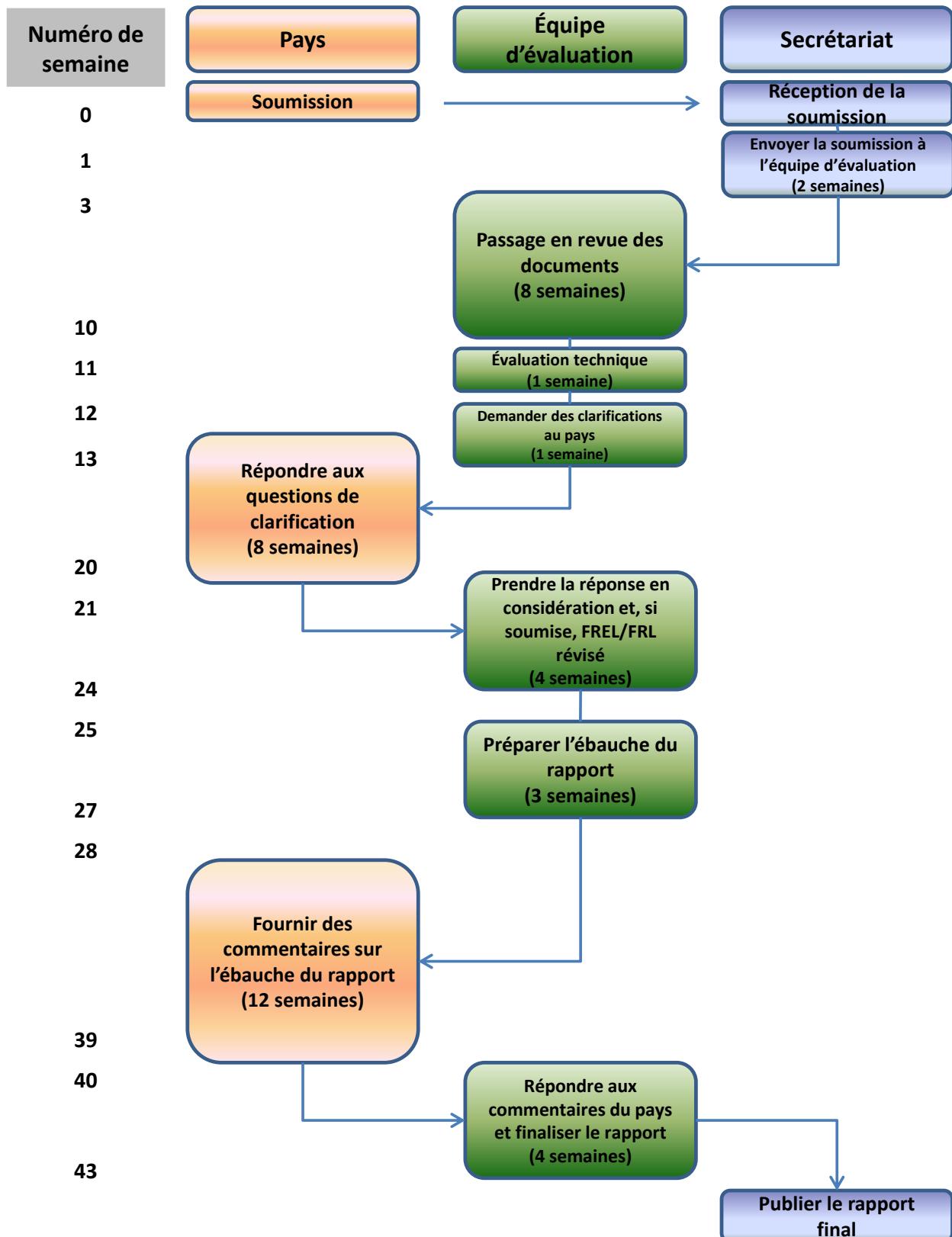
améliorations futures, le cas échéant, de leurs FREL/FRL astreints aux capacités et politiques de leurs pays.

L'évaluation technique des données, des méthodes et des procédures utilisées dans la constitution des FREL/FRL évaluera les points suivants :

- La mesure dans laquelle le FREL/FRL maintient sa cohérence avec les émissions anthropiques de GES liées aux forêts par leurs sources et des absorptions par leurs puits par rapport au contenu des inventaires du GIEC ;
- Comment les données historiques ont été prises en compte dans l'élaboration du FREL/FRL ;
- La mesure dans laquelle les informations fournies étaient transparentes, complètes, cohérentes et exactes, notamment celles ayant trait à la méthodologie utilisée, la description des ensembles de données, les approches, les méthodes, les modèles éventuels et hypothèses retenus, et si les FREL/FRL sont nationaux ou couvrent moins que le territoire national entier de la superficie de forêt ;
- Si une description des plans et des politiques pertinents a été fournie, en fonction des besoins ;
- Le cas échéant, si les descriptions des changements survenus aux FREL/FRL soumis préalablement ont été fournies, prenant en compte une approche progressive ;
- Les bassins et les gaz, et les activités incluses dans le FREL/FRL, et la raison pour laquelle les bassins et/ou les activités exclus n'ont pas été jugés assez important pour être signalés ;
- Si la définition de forêt utilisée dans la constitution du FREL/FRL a été fournie et, si elle diffère de celle retenue pour l'inventaire national GES ou de la définition d'une notification d'autres organisations internationales, et pourquoi et comment la définition utilisée pour les calculs a été choisie ;
- Si les hypothèses retenues au regard des changements en matière de politiques nationales ont été incluses dans la constitution du FREL/FRL ;
- La mesure dans laquelle la valeur du FREL/FRL est cohérente avec les informations et les descriptions fournies par le pays.

Dans le cadre du processus d'évaluation technique, des domaines susceptibles de bénéficier d'améliorations sur le plan technique peuvent être repérés, et ces domaines ainsi que les besoins en matière de renforcement des capacités pour la constitution de futures FREL/FRL peuvent être noté par le pays concerné. Étant donnée la nature facultative de l'évaluation, l'équipe d'évaluation doit éviter d'émettre des opinions sur les politiques nationales prises en compte dans la constitution FREL/FRL. La décision contient aussi des dispositions concernant les procédures générales et l'échéancier de l'évaluation technique (voir Figure 6.6 l'échéancier).

FIGURE 6.6 : CALENDRIER POUR L'EVALUATION TECHNIQUE DU FREL/FRL



Analyse technique des données et des informations pour les fonds en contrepartie de mesures axées sur les résultats (Décision 14/CP.19)

À la demande des pays en développement cherchant à obtenir et recevoir des fonds en contrepartie de mesures axées sur les résultats, deux experts en matière d'UTCATF sélectionnés dans la liste d'experts de la CCNUCC, l'un provenant d'un pays développé et l'autre d'un pays en développement, feront partie des membres choisis pour l'équipe d'experts techniques. Dans le cadre de l'analyse technique visée au paragraphe 4, de l'annexe IV de la Décision 2/CP.17, l'équipe déterminera la mesure dans laquelle :

1. Le niveau de référence évalué est cohérent en matière de méthodologies, de définitions, d'exhaustivité et d'informations fournies avec les résultats de la mise en œuvre des activités visées au paragraphe 70 de la Décision 1/CP.16 ;
2. Les données et les informations fournies dans l'annexe technique sont transparentes, cohérentes, complètes et exactes ;
3. Les données et les informations fournies dans l'annexe technique sont cohérentes avec les lignes directrices pertinentes ; et
4. Les résultats sont exacts, autant que possible.

Le pays en développement qui a soumis l'annexe technique a la possibilité de communiquer avec l'équipe d'experts techniques pendant qu'elle procède à l'analyse de son annexe technique afin de procurer des clarifications et des renseignements supplémentaires qui faciliteront l'analyse par les experts. Les deux experts en matière d'UTCATF peuvent demander des éclaircissements sur l'annexe technique et le pays devrait les fournir dans la mesure du possible, conformément aux circonstances nationales et en prenant en compte les capacités nationales.

Les experts en matière d'UTCATF prépareront, sous leur responsabilité collective, un rapport technique qui sera publié par le secrétariat sur le site Internet de la CCNUCC et contiendra :

1. L'annexe technique ;
2. L'analyse de l'annexe technique ;
3. Le repérage de domaines susceptibles de bénéficier d'améliorations sur le plan technique, selon les besoins ; et
4. Tous commentaires et/ou réponses par le pays en développement concerné, incluant les domaines pouvant bénéficier de futures améliorations et les besoins en matière de renforcement des capacités, si relevés par le pays concerné, selon les besoins.

6.4 RÉFÉRENCES

- ALU Software. 2013. Agriculture and Land Use National Greenhouse Gas Inventory Software. Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, <http://www.nrel.colostate.edu/projects/ALUsoftware/>.
- IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published: Institute for Global Environmental Strategies, Japan. <http://www.ipcc-nngip.iges.or.jp/public/gl/invsI.html>
- IPCC. 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Published: Institute for Global Environmental Strategies, Japan. <http://www.ipcc-nngip.iges.or.jp/public/gp/english/index.html>
- IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Published: Institute for Global Environmental Strategies, Japan. <http://www.ipcc-nngip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.html>
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published: Institute for Global Environmental Strategies, Japan. <http://www.ipcc-nngip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- IPCC. 2006b. IPCC Inventory Software <http://www.ipcc-nngip.iges.or.jp/software/>
- UNFCCC. 2007. Report of the Conference of the Parties on its thirteenth session, held in Bali from 3 to 15 December 2007. Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its thirteenth session. FCCC/CP/2007/6/Add.1
- UNFCCC. 2010. UNFCCC Decision 1/CP.16: Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on long-term Cooperative Action under the Convention - C. Policy approaches and positive incentives on issues relating to reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries; and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries.
http://unfccc.int/files/meetings/cop_16/application/pdf/cop16_lca.pdf
- UNFCCC. 2011. Report of the Conference of the Parties on its seventeenth session, held in Durban from 28 November to 11 December 2011 Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its seventeenth session.
<http://unfccc.int/resource/docs/2011/cop17/eng/09a01.pdf#page=4>.
- UNFCCC. 2013. Report of the Conference of the Parties on its nineteenth session, held in Warsaw from 11 to 23 November 2013 Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its nineteenth session. <http://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a01.pdf>

7.0 REVUES PAR THEMES

7.1 HISTORIQUE DE LA REDD+ DANS LE CONTEXTE DE LA CCNUCC

Auteur : *Angel Parra*

7.1.1 Introduction

Cette revue thématique donne un aperçu des négociations sur la réduction des émissions résultant de la déforestation et de la dégradation des forêts, plus le rôle de la conservation, de la gestion durable et de l'accroissement des stocks forestiers (REDD+) au titre de la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC), et le rôle joué par le Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat (GIEC) par le biais de recommandations méthodologiques au regard de l'utilisation des terres, du changement d'affectation des terres et de la foresterie (UTCATF). Cet examen présente des informations supplémentaires sur le contexte, tandis que les recommandations actuelles pour la notification au titre de la CCNUCC sont abordées au Chapitre 6.

Un processus décisionnel éclairé et une mise en œuvre rationnelle des accords internationaux sur le changement climatique (tels que la CCNUCC et son Protocole de Kyoto) reposent sur l'accès à des informations exactes et fiables sur les émissions et les absorptions de gaz à effet de serre (GES). La réalisation par la communauté internationale de l'urgence avec laquelle il fallait s'attacher à la REDD+ a conduit à des décisions qui mettent l'accent sur l'importance de la Mesure, la notification et la vérification (MVN) des émissions et absorptions de GES, ainsi que leur rôle au regard des activités mondiales d'atténuation visant à faire face aux impacts du changement climatique d'origine anthropique.

Aux termes des décisions adoptées par les gouvernements œuvrant sous l'égide de la Conférence des Parties (COP) à la CCNUCC, les pays en développement souhaitant prendre des mesures en faveur de la REDD+ doivent établir un Système national de surveillance des forêts (NFMS) afin d'évaluer les émissions anthropiques de GES liées aux forêts par leurs sources et des absorptions par leurs puits. Puisque les mesures de la REDD+ doivent être axées sur les résultats, les pays en développement devront démontrer qu'ils réduisent les émissions résultant de la déforestation, au lieu d'avoir simplement recours à la base de référence fondée sur la pratique habituelle, soit constituer des Niveaux d'émissions de référence des forêts ou des Niveaux de référence des forêts (FREL/FRL).

7.1.2 Aperçu des négociations sur la REDD+ dans le cadre de la CCNUCC

Il est avéré que les forêts sont l'un des secteurs clés à envisager dans le contexte plus large de l'atténuation des GES dans le cadre de la CCNUCC. Le principe de « responsabilités communes mais différencierées » de l'alinéa (c) du paragraphe I de l'Article 4 de la Convention (1992) stipule que tous les pays doivent encourager et soutenir par leur coopération « la mise au point, l'application et la diffusion – notamment par voies de transfert – de technologies, de pratiques et de procédés qui permettent de maîtriser, de réduire ou de prévenir les émissions anthropiques des gaz à effet de serre (GES) non réglementés par le Protocole de Montréal dans tous les secteurs pertinents, y compris ceux de l'énergie, des transports, de l'industrie, des forêts et de la gestion des déchets ».

Également inclus dans l'Article 4, les engagements de tous les pays à encourager « la gestion rationnelle, et encourager et soutenir par leur coopération la conservation et, le cas échéant, le renforcement des

puits et réservoirs de tous les GES non réglementés par le Protocole de Montréal, notamment la biomasse, les forêts et les océans de même que les autres écosystèmes terrestres, côtiers et marins ; » (alinéa (d) du paragraphe 1 de l’Article 4).

La complexité du secteur, cependant, a lancé un certain nombre de défis qui ont retardé les décisions sur la manière d’aborder les émissions de GES provenant des activités forestières, surtout dans les pays en développement. La Figure 7.1 met en valeur l’évolution des débats sur la REDD+ depuis la COP11 à la COP19.

FIGURE 7.1 : ÉCHANGES SUR LA REDD+ TIRES DES COP11-COP19

COP11 : 2005,
Montréal

Accord visant à envisager la **réduction des émissions résultant de la déforestation**, y compris les questions scientifiques, techniques et méthodologiques, les diverses approches et les incitations positives.

COP13 : 2007,
Bali

Adoption du **Plan d'action de Bali** (Décision 1/CP.13), qui inclut la REDD+ comme l'un des éléments clés de l'action renforcée au niveau national/international pour l'atténuation du changement climatique ; (Décision 2/CP13) encourage des actions dans le cadre de la REDD+, y compris : le renforcement des capacités, le transfert de technologie, les activités de démonstration et la mobilisation de ressources.

COP15 : 2009,
Copenhague

Accords sur les recommandations méthodologiques (Décision 4/CP.15) y compris les éléments des NFMS pour la mise en œuvre des activités visées dans la Décision 2/CP.13

COP16 : 2010,
Cancun

Adoption des **Accords de Cancun** (Décision 1/CP.16) reconnaissant que les pays en développement doivent chercher à : (i) freiner/arrêter/inverser la perte de couvert forestier et de carbone ; (ii) contribuer aux actions d'atténuation dans le secteur des forêts ; et mettre au point une stratégie/un plan d'action national ; des FRL nationaux ou RL infranationaux; des NFMS pour communiquer les informations sur les garanties.

COP17 : 2011,
Durban

Adoption de la Décision 12/CP. 17 qui inclut des recommandations sur la communication d'informations sur la manière dont les garanties sont prises en compte et respectées ; et précise les modalités relatives aux FREL\FRL.

COP18 : 2012,
Doha

Adoption de la Décision 1/CP.18 visant à établir un programme de travail sur le financement axé sur les résultats dans le cadre de la REDD+

COP19 : 2013,
Varsovie

Adoption du **Cadre de Varsovie pour la REDD+**. Sept décisions (Décisions 9/CP.19 à 15/CP.19) qui abordent : le financement, la coordination du soutien, les modalités des NFMS, les garanties, les FREL/FRL, les modalités pour la MNV, les facteurs déterminants de déforestation et de dégradation des forêts.

COP11

Cette dynamique a changé lors de la 11^e Réunion de la COP (COP11) à Montréal, Canada en 2005, lorsque la Papouasie-Nouvelle-Guinée et le Costa Rica, avec l'appui des huit autres pays, proposèrent un mécanisme pour réduire les émissions dans les pays en développement. La proposition reçut un large soutien et la Conférence des parties entama un processus de deux ans pour explorer les options pour la REDD avec la participation des gouvernements et des organisations observatrices soumettant des offres et des recommandations sur la manière de réduire les GES résultant de la déforestation et de la dégradation des forêts.

COP13

Lors de la COP13, les gouvernements ont convenu de la Feuille de route de Bali, qui définissait une portée plus large pour une action plus globale. Le Plan d'action de Bali (Décision 1/CP.13) signalait le commencement d'un nouveau processus mondial grâce à une coopération à long terme pour mener des activités couvrant tous les aspects du changement climatique, notamment l'atténuation, l'adaptation, la technologie et le financement. Un élément clé des négociations internationales était le rôle des pays en développement dans les actions nationales et internationales pour atténuer le changement climatique. Le Plan d'action de Bali incluait des considérations sur les actions suivantes :

- Des mesures d'atténuation appropriées aux niveaux national et international (MAAN) de la part des pays en développement dans le contexte du développement durable, soutenues et rendues possibles par des technologies, des moyens de financement et un renforcement des capacités, d'une façon mesurable, notifiable et vérifiable, (alinéa 1 (b) (ii) de la Décision 1/CP.13) ; et
- Des démarches générales et des mesures d'incitation positive pour tout ce qui concerne la réduction des émissions résultant de la déforestation et de la dégradation des forêts dans les pays en développement, plus le rôle de la conservation, de la gestion durable des forêts et de l'accroissement des stocks de carbone forestier dans les pays en développement (alinéa 1 (b) (iii) de la Décision 1/CP.13).

Ces dispositions rassemblent les efforts d'atténuation au niveau national, la REDD+, le développement durable, les moyens de financement et la MNV. Entamer des négociations sur une future action, ne signifie pas interrompre ni abandonner les mesures d'atténuation entreprises actuellement, puisque le processus de négociations est guidé par « ... les meilleures informations scientifiques disponibles, les enseignements tirés de l'application de la Convention et de son Protocole de Kyoto, les processus engagés au titre de ces deux instruments, les apports des autres processus intergouvernementaux pertinents, ainsi que les observations des milieux économiques, de la recherche et de la société civile⁵⁰ ». L'intention est de tirer parti des leçons apprises des actions actuelles afin qu'elles éclairent le processus intergouvernemental sur la nouvelle voie à suivre.

La COP13 a également adopté la Décision 2/CP.13 sur la « réduction des émissions résultant de la déforestation dans les pays en voie de développement : démarches initiatives ». Par le biais de cette décision, la COP encourageait les activités de renforcement des capacités, l'assistance technique, la facilitation du transfert de technologies et la mise au point d'activités de démonstration. La décision

⁵⁰ Paragraphe 11 de la Décision 1/CP.13

stipulait aussi que l'Organe subsidiaire de conseil scientifique et technologique (SBSTA)⁵¹ entreprenne le développement d'un programme de travail sur les questions méthodologiques pertinentes.

COP14

Un an plus tard, lors de la COP14 à Poznan, Pologne en 2008, le SBSTA a convenu d'un certain nombre de questions relatives à la REDD+, incluant :

- L'organisation d'une réunion d'experts sur : les questions méthodologiques relatives aux Niveaux d'émissions de référence (REL) pour la déforestation et la dégradation des forêts ; la relation entre les REL et d'autres niveaux de référence pertinents (RL) ; et le rôle de la conservation, la gestion durable des forêts, les changements du couvert forestier les stocks de carbone et les émissions de GES associées, et l'accroissement des stocks de carbone forestier pour améliorer l'action sur l'atténuation du changement climatique ;
- Une recommandation sur l'orientation méthodologique notant qu'il était important, entre autres, de favoriser la préparation des pays en développement et de mobiliser davantage les ressources, par rapport à la décision 2/CP.13, ainsi que de reconnaître le besoin d'encourager la participation entière et réelle des peuples autochtones et des communautés locales, prenant en compte les situations nationales et les accords internationaux pertinents ; et
- Une recommandation sur le recours aux *Lignes directrices de 1996 révisées, du GIEC pour les inventaires nationaux GES*, et aux *Recommandations en matière de bonnes pratiques pour l'utilisation des terres et le changement d'affectation des terres et la foresterie du GIEC (GPG-UTCATCF)*, selon les besoins.

Il est important de remarquer que lors des négociations sur le climat, les termes RL et REL se rapportent à la base de référence fondée sur la pratique habituelle qui peut être développée en prenant en compte les données temporelles. Ces termes n'ont pas été définis par la CCNUCC, ni par le GIEC, et même s'ils sont employés de manière interchangeable, ils diffèrent par leur utilisation. Les RL définissent la quantité d'émissions résultant de la déforestation et de la dégradation des forêts et la quantité d'absorption provenant de la gestion durable des forêts et l'accroissement des stocks de carbone forestier. Les REL se réfèrent uniquement aux émissions résultant de la déforestation et de la dégradation des forêts.

COP15

Des progrès importants furent faits au cours des négociations sur la REDD+ avant la COP15 à Copenhague, Danemark en 2009. Malgré les difficultés à parvenir à un consensus sur une proposition globale au terme de la COP15, les négociations sur la REDD+ culminèrent avec l'adoption de la Décision 4/CP.15 qui traite les questions relatives à la portée, aux principes directeurs, aux garanties et à l'approche en phases dans le cadre de la REDD+. Plus précisément, par la Décision 4/CP.15, la COP, a, entre autres choses :

- Prié les pays en développement, entre autres, d'identifier les facteurs déterminants de la déforestation et de la dégradation des forêts, et d'avoir recours aux recommandations les plus

⁵¹ Le SBSTA est un organe subsidiaire permanent sous l'égide de la CCNUCC. Il appuie le travail de la COP et de la Conférence des Parties agissant comme Réunion des Parties au Protocole de Kyoto (CMP) par l'apport d'informations et de conseil en temps utile relatifs à des sujets du domaine scientifique et technologique dans le contexte de la Convention et du Protocole.

récentes du GIEC pour estimer les émissions et établir des Systèmes nationaux de surveillance des forêts (NFMS) ;

- Encouragé toutes les parties en mesure de le faire d'appuyer et de renforcer les capacités des pays en développement ;
- Encouragé l'élaboration de directives pour une participation des populations autochtones et des communautés locales ;
- Reconnu que les FREL devraient tenir compte des données antérieures et être ajustés en fonction des situations nationales ; et
- Engagé instamment une coordination des efforts.

COP16

Le résultat de la COP16 à Cancun, Mexique en 2010 représentait un jalon pour la REDD+ parce qu'elle a renforcé des décisions clés adoptées lors de sessions précédentes (Bali, Poznan et Copenhague) aux termes des Accords de Cancun (Décision 1/CP.16). Surtout, la COP a affirmé qu'en faveur d'un appui adéquat et prévisible accordé aux pays en développement, ces pays devraient collectivement s'employer à freiner, arrêter et inverser la diminution du couvert et des stocks de carbone forestiers. La COP encourageait aussi les pays en développement parties à la Conférence de s'engager à prendre des mesures d'atténuation au sein du secteur forestier dans les cinq domaines spécifiques énumérés dans l'Encadré 7.1.

Les pays en développement furent requis de mettre au point une stratégie ou un plan d'action national, des FRL nationaux ou des RL infranationaux comme mesure provisoire, un Système national de surveillance des forêts (NFMS) fiable et transparent, et un système de communication d'informations sur la manière dont les garanties énoncées dans l'Annexe I de la Décision 1/CP.16 (voir Encadré 7.2) seront prises en compte lors de la mise en œuvre.

La COP demandait aussi que le SBSTA mette au point un programme de travail pour établir entre autres questions, les facteurs déterminants de la déforestation et de la dégradation des forêts, et les méthodologies d'estimation des émissions et des absorptions résultant de ces activités. Le programme de travail devait aussi élaborer des modalités pour la MNV des émissions par sources et des absorptions par puits résultant de ces activités, conformément aux MAAN pour examen à la COP17. Le Groupe de travail ad hoc de l'action concertée à long terme (AWG-LCA) au titre de la Convention fut requis d'explorer les options de financement pour la mise en œuvre complète des actions en contrepartie de rémunération à proposer à la COP17.

Suite aux résultats positifs de la COP de Cancun, les gouvernements continuèrent à travailler pendant toute l'année 2011 en prévision de la COP17 à Durban, Afrique du Sud en 2011. Au début de l'année, lors de la réunion du SBSTA34 à Bonn, Allemagne, les travaux s'étaient poursuivis sur les recommandations techniques concernant la MNV, notamment les principes à suivre lors de la conception de systèmes MNV. Ces débats ont été repris lors de SBSTA suivants.

COP17

Les négociations dans le cadre de la COP17 portèrent principalement sur deux groupes de questions relatives à la REDD+ :

- Les sources de financement pour la REDD+, les démarches fondées ou non sur les marchés, et l'utilisation possible de crédits carbone ; et

- Les recommandations pour les systèmes communiquant les informations sur la manière dont les garanties sont prises en compte et respectées, les modalités d'établissement des FREL/FRL et de la MNV.
- Dans le cadre du résultat de la COP17 (Décision 2/CP.17), la COP a convenu, entre autres choses :
- Quels que soient la source ou le type de financement, les activités visées au paragraphe 70 de la Décision 1/CP.16 (voir l'Encadré 7.1) doivent être compatibles avec les dispositions pertinentes prévues dans la Décision 1/CP.16, y compris les garanties énoncées à l'Appendice I (voir l'Encadré 7.2);
- Le financement basé sur les résultats apporté au pays en développement qui est de nature nouvelle, additionnelle et prévisible peut provenir d'une grande variété de sources, incluant publiques et privées, bilatérales et multilatérales ; et
- Compte tenu des expériences découlant des activités de démonstration en cours et prévues, la COP pourrait mettre au point des approches adéquates fondées sur les marchés pour appuyer des activités axées sur les résultats dans les pays en développement.

ENCADRE 7.1: PARAGRAPHE 70 DE LA DECISION 1/CP.16

La Conférence des Parties,

...

70. Encourage les pays en développement parties à contribuer aux mesures d'atténuation dans le secteur forestier en entreprenant les activités ci-après, selon ce que chaque Partie jugera approprié et compte tenu de ses propres capacités et de sa situation nationale :

- (a) Réduction des émissions dues au déboisement ;
- (b) Réduction des émissions dues à la dégradation des forêts ;
- (c) Conservation des stocks de carbone forestiers ;
- (d) Gestion durable des forêts ;
- (e) Renforcement des stocks de carbone forestiers

Dans la Décision 12/CP.17, la COP a noté que les principes relatifs aux systèmes de communication sur les garanties devaient tenir compte de la souveraineté nationale, de la législation et de la situation du pays. Dans la section relative aux informations sur la manière dont les garanties sont prises en compte et respectées, la COP, a entre autres :

- Noté que l'application des garanties et les systèmes de communications sur la manière dont ces garanties sont prises en compte et respectée doivent appuyer les stratégies ou plans d'action nationaux et être incluses, s'il y a lieu, à toutes les phases de mise en œuvre ;
- Convenu que les systèmes de communications sur la manière dont ces garanties sont prises en compte et respectées doivent, entre autres choses : fournir des informations transparentes et cohérentes accessibles à toutes les parties prenantes concernées et régulièrement mises à jour, suivre une démarche impulsée par le pays et mis en œuvre au niveau national, et s'appuyer sur les systèmes existants, le cas échéant ;

- Convenu que les pays en développement qui entreprennent ces activités doivent fournir un résumé des informations sur la manière dont les garanties sont prises en compte et respectées pendant toute la durée d'exécution des activités ;
- Décidé que le résumé des informations visé ci-dessus doit être fourni de manière périodique et figurer dans les communications nationales, conformément aux décisions pertinentes de la COP sur les lignes directrices relatives aux communications nationales des Parties non visées à l'Annexe I de la Convention, ou être transmis par les voies de communication approuvées par la Conférence des parties ; et
- Prié le SBSTA36 de réfléchir à la date à laquelle sera présenté le premier exposé et le rythme auquel seront faits les exposés suivants du résumé des informations, en vue de recommander à la COP18 d'adopter une décision sur cette question, et la nécessité de formuler d'autres principes à la COP.

ENCADRE 7.2 : GARANTIES POUR LA REDD+ (PARAGRAPHE 2 DE L'APPENDICE I DE LA DECISION I/CP.16)

2. En exécutant les activités visées au paragraphe 70 de la Décision I/CP.16, il faudra promouvoir les garanties ci-après et y adhérer :
 - (a) Nécessité de veiller à ce que les activités viennent en complément des objectifs des programmes forestiers nationaux et des conventions et accords internationaux pertinents ;
 - (b) Structures nationales transparentes et efficaces de gouvernance forestière tenant compte de la législation de la souveraineté nationale ;
 - (c) Respect des connaissances et des droits des peuples autochtones et des membres des communautés locales, en tenant compte des obligations internationales pertinentes et des situations et législations nationales, et en notant que l'Assemblée générale des Nations Unies a adopté la Déclaration des Nations Unies sur les droits des peuples autochtones ;
 - (d) Participation intégrale et effective des parties prenantes concernées, en particulier des peuples autochtones et des communautés locales, aux activités visées aux paragraphes 70 et 72 de la Décision I/CP.16;
 - (e) Mesures qui soient compatibles avec la préservation des forêts naturelles et de la diversité biologique en veillant à ce que les activités visées au paragraphe 70 de la Décision I/CP.16 ne se prêtent pas à une conversion des forêts naturelles, mais incitent plutôt à protéger et conserver ces forêts et les services rendus par leurs écosystèmes, ainsi qu'à renforcer d'autres avantages sociaux et environnementaux ;*
 - (f) Mesures visant à prendre en compte les risques d'inversion ;
 - (g) Mesures visant à réduire les déplacements d'émissions.

*Compte tenu de la nécessité de moyens de subsistance durable pour les peuples autochtones et les communautés locales et de leurs liens d'interdépendance avec les forêts dans la plupart des pays, comme le reconnaît la Déclaration des Nations Unies sur les droits des peuples autochtones, tout comme la Journée internationale de la Terre nourricière.

Concernant les modalités de mesure des REL/RL, la COP a, entre autres :

- Convenu que les REL/RL étaient des critères permettant d'évaluer la performance du pays dans sa mise en œuvre des activités visées ;
- Décidé que ces activités seront établies en tenant compte du paragraphe 7 de la Décision 4/CP.15, et cohérentes avec les émissions anthropiques de GES liées aux forêts par source et des absorptions par puits dans les inventaires GES d'un pays ;
- Invité les pays en développement à soumettre des informations et la justification concernant la mise au point de leurs REL/RL, y compris des détails sur la situation nationale, et s'il y a eu un ajustement en raison de la situation nationale, incluant les détails conformément aux directives visées à l'Annexe de la Décision 2/CP.17 (voir l'Encadré 7.3) ;
- Reconnu que l'élaboration des REL/RL infranationaux peuvent être une mesure provisoire, tout en passant à un niveau national, et que les RL provisoires peuvent couvrir une moins grande superficie que la superficie forestière nationale ;
- Convenu que les pays en développement doivent procéder à une mise à jour périodique de leurs REL/RL, le cas échéant, prenant en compte les connaissances, les tendances et toute modification de la portée et des méthodologies ; et
- Convenu d'un processus permettant une évaluation technique des RL proposés lorsqu'ils sont soumis ou mis à jour par les parties conformément aux directives qui seront mises au point par le SBSTA36.

La CCNUCC a également abordé les besoins des pays à établir des REL. Les REL/RL sont des critères de référence permettant d'évaluer la performance d'un pays en matière de mise en œuvre d'activités de la REDD+. Les pays se livrant à des activités de la REDD+ visées par la CCNUCC devront mettre au point leurs REL et les soumettre à la CCNUCC. Les estimations des émissions serviront à mesurer l'efficacité des politiques et des mesures relatives à la REDD+ pour chaque pays.

Les premières directives de la CCNUCC au regard des REL furent énoncées dans la Décision 4/CP.15, qui reconnaissait que les REL devaient être établis de manière transparente, rendre compte des tendances historiques et pourraient être ajustés en fonction des situations nationales. La Décision I/CP.16 définit ensuite les REL/RL comme l'un des éléments que les Parties visant à entreprendre des activités de la REDD+ devaient déterminer, conformément à la situation nationale, et que des REL infranationaux pouvaient être utilisés comme mesure provisoire. Les dernières directives concernant les REL émanaient de la COPI17, indiquant que les Parties devaient : i) établir des REL qui soient cohérents avec les émissions et les absorptions forestières établis dans les inventaires nationaux GES ; ii) soumettre des informations/justification sur la mise au point de leurs REL, notamment comment la situation nationale a été prise en compte ; iii) envisager une approche par étapes à la mise au point des REL pour permettre d'y incorporer des données et des méthodologies améliorées ; et iv) procéder à une mise à jour périodique de leurs REL/RL pour tenir compte des nouvelles connaissances et tendances. L'ensemble des directives indiquent que les REL doivent être établis en maintenant des liens étroits avec la conception du système de MNV national, garantissant une harmonisation des méthodes de collecte et d'utilisation des données.

COP19

La COP19, tenue à Varsovie, Pologne en 2013 a abouti à l'adoption de sept décisions collectivement appelées le Cadre de Varsovie pour la REDD+. Ces décisions couvraient une variété de sujets, notamment le financement, les dispositifs institutionnels, les NFMS, les sauvegardes, les MNV et les

facteurs déterminants de la déforestation et de la dégradation des forêts. Les grandes lignes des décisions sont indiquées ci-dessous. L'Encadré 7.3 inclut les éléments essentiels de la CCNUCC⁵².

- **Décision 9/CP.19** : Programme de travail sur le financement axé sur les résultats visant à favoriser la pleine mise en œuvre des activités mentionnées au paragraphe 70 de la Décision 1/CP.16
- **Décision 10/CP.19** : Coordination de l'appui à la mise en œuvre d'activités relatives aux mesure d'atténuation dans le secteur forestier par les pays en développement, y compris les dispositifs institutionnels
- **Décision 11/CP.19** : Modalités de fonctionnement des systèmes nationaux de surveillance des forêts
- **Décision 12/CP.19** : Calendrier et fréquence de présentation de résumés des informations sur la manière dont les garanties visées à l'appendice I de la Décision 1/CP.16 sont prises en compte et respectées
- **Décision 13/CP.19** : Lignes directrices et procédures relatives à l'évaluation technique des communication des Parties sur les niveaux d'émission de référence pour les forêts et/ou les niveaux de référence pour les forêts proposés
- **Décision 14/CP.19** : Modalités de mesure, de notification et de vérification
- **Décision 15/CP.19** : Prise en considération des facteurs déterminants du déboisement et de la dégradation des forêts

ENCADRE 7.3 : DESCRIPTION GENERALE DE LA CCNUCC DU CADRE DE VARSOVIE POUR LA REDD+

Décision 9/CP.19 : Programme de travail sur le financement axé sur les résultats visant à favoriser la pleine mise en œuvre des activités mentionnées au paragraphe 70 de la Décision 1/CP.16. La COP dans cette décision, entre autres :

- Réaffirme que le financement axé sur des résultats peut provenir de diverses sources, publiques et privées, bilatérales et multilatérales, y compris d'autres sources ;
- Encourage les entités de financement, y compris le Fonds vert pour le climat qui assume un rôle clef, à distribuer collectivement d'une manière équitable et équilibrée un financement axé sur des résultats adéquats et prévisibles, et de s'attacher à accroître le nombre des pays qui sont en mesure d'obtenir et de recevoir des fonds en contrepartie de mesures axées sur des résultats ;
- Décide de créer sur la plateforme en ligne du site Internet de la REDD un pôle d'informations permettant de publier des informations sur les résultats des activités et les paiements correspondants axés sur les résultats ;
- Demande au Comité permanent du financement de prendre en considération dans ses travaux sur la cohérence et la coordination la question du financement à prévoir pour les forêts ;

⁵² <http://unfccc.int/methods/redd/items/8180.php>

- Reconnaît l'importance des incitations à offrir des avantages non liés au carbone pour la viabilité à long terme de la mise en œuvre des activités visées au paragraphe 70 de la Décision I/CP.16.

Décision 10/CP.19 : Coordination de l'appui à la mise en œuvre d'activités relatives aux mesures d'atténuation dans le secteur forestier par les pays en développement, y compris les dispositifs institutionnels. La COP dans cette décision, entre autres :

- Invite les Parties intéressées à désigner une entité ou un coordinateur national chargés d'assurer la liaison avec le secrétariat et les organes compétents créés en vertu de la Convention, au sujet de la coordination de l'appui et susceptibles d'être nommés pour obtenir et recevoir des financements axés sur les résultats ;
- Reconnaît que, pour remédier aux problèmes liés à la coordination de l'appui, des besoins et des fonctions ont été identifiés ;
- Encourage les entités ou coordinateurs nationaux, les Parties et les entités compétentes finançant les activités de la REDD+ de se rencontrer sur une base volontaire, pour examiner les besoins et fonctions identifiés pour remédier aux problèmes liés à la coordination de l'appui ; et à tenir leur première réunion parallèlement aux réunions de la première série de sessions des organes subsidiaires SBI 41 (Décembre 2014)
- Demande à l'Organe subsidiaire de mise en œuvre de passer en revue, à sa quarante-septième session (novembre-décembre 2017) les résultats de ces réunions.

Décision 11/CP.19 : Modalités de fonctionnement des Systèmes nationaux de surveillance des forêts. La COP dans cette décision, entre autres :

- Affirme que les activités visées dans la présente décision s'inscrivent dans le contexte de la fourniture d'une aide suffisante et prévisible aux pays en développement parties ;
- Décide que les systèmes nationaux de surveillance des forêts doivent se fonder sur les orientations et les directives les plus récentes du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), adoptées ou préconisées par la COP ;
- Décide également que les systèmes nationaux de surveillance des forêts doivent fournir des données et des informations transparentes et cohérentes dans le temps, se prêtant à la mesure, à la notification et à la vérification, et s'appuyer sur des systèmes existants tout en étant adaptables et se prêter à des améliorations.

Décision 12/CP.19 : Calendrier et fréquence de présentation des résumés des informations relatives à la manière dont les garanties visées à l'appendice I de la Décision I/CP.16 sont prises en compte et respectées. La COP dans cette décision, entre autres :

- Convient que le résumé des informations relatives à la manière dont les garanties visées à l'appendice I de la Décision I/CP.16 sont prises en compte et respectées pendant la mise en œuvre des activités visées au paragraphe 70 de la Décision I/CP.16, pourrait également être communiqué, à titre volontaire, par l'intermédiaire de la plateforme en ligne du site Internet de la REDD+ ;
- Décide que les pays en développement parties devraient commencer à fournir le résumé des informations après le début de la mise en œuvre des activités mentionnées au paragraphe 70 de la Décision I/CP.16 ;
- Décide également que la fréquence des présentations des résumés ultérieurs des informations doit être conforme aux dispositions relatives à la présentation de communications nationales et se faire,

à titre volontaire, par l'intermédiaire de la plateforme en ligne du site Internet de la REDD.

Décision 13 : CP.19 : Lignes directrices et procédures relatives à l'évaluation technique des communications des Parties sur les niveaux d'émissions de référence pour les forêts et/ou les niveaux de référence pour les forêts proposés. La COP dans cette décision, entre autres :

- Décide que chaque communication des niveaux d'émissions de référence pour les forêts et/ou niveaux de référence pour les forêts fera l'objet d'une évaluation technique ;
- Invite les Parties et les organisations internationales compétentes à soutenir le renforcement des capacités pour la mise au point et l'évaluation des niveaux d'émissions de référence pour les forêts et/ou des niveaux de référence pour les forêts
- Adopte les lignes directrices et les procédures relatives à l'évaluation technique figurant dans l'annexe de la présente décision.

Décision 14 : CP.19 : Modalités de mesure, de notification et de vérification. La COP dans cette décision, entre autres :

- Décide que la mesure, la notification et la vérification des émissions anthropiques par les sources et des absorptions par les puits qui sont liées aux forêts, des stocks de carbone forestiers et des variations des stocks de carbone forestiers et de la superficie des forêts doivent être conformes aux principes méthodologiques prévus dans la Décision 4/CP.15, et à toute directive relative à la mesure, la notification et la vérification des mesures d'atténuation appropriées au niveau national des pays en développement parties arrêtées par la COP ;
- Décide que les données et les informations doivent être communiquées dans une annexe technique aux rapports biennaux, soulignant que la fourniture de l'annexe technique est facultative et s'inscrit dans le cadre de versements liés aux résultats ;
- Décide aussi d'inclure deux experts UTCATF supplémentaires dans l'équipe d'experts techniques pour consultation et analyse des activités axées sur les résultats notifiés dans les mises à jour des rapports biennaux, et convient que ces experts établiront un rapport sur leur analyse de l'annexe technique et les aspects susceptibles d'être améliorés sur le plan technique ;
- Convient également que les mesures axées sur les résultats pouvant être admises au bénéfice des démarches appropriées fondées sur le marché susceptibles d'être mises au point par la COP peuvent être soumises à d'autres modalités spécifiques de vérification.

Décision 15: CP.19 : Prise en considération des facteurs déterminants du déboisement et de la dégradation des forêts

La COP dans cette décision, entre autres :

- Encourage les Parties, les organisations et le secteur privé à prendre les mesures pour remédier aux facteurs du déboisement et de la dégradation
- Encourage également toutes les Parties à poursuivre leurs travaux visant à prendre en considération ces facteurs et à communiquer les résultats
- Encourage en outre les pays en développement à prendre note des renseignements découlant d'activités en cours ou déjà réalisés.

Le Cadre de Varsovie pour la REDD+ représentait une autre étape pour la REDD puisqu'il déterminait des options pour le financement et insistait sur la coordination de l'appui. En outre, le Cadre abordait plus précisément plusieurs activités du NFMS, fournissait des directives sur les sauvegardes et traitait les facteurs déterminants de déforestation et de dégradation des forêts. Deux questions majeures qui feront l'objet de débats lors de la COP20 qui se tiendra à Lima, Pérou (décembre 2014) incluent le besoin d'assortir tous les avantages non carbone de la REDD+ de mesures incitatives et d'insister sur les avantages de la REDD+ en termes d'atténuation et d'adaptation.

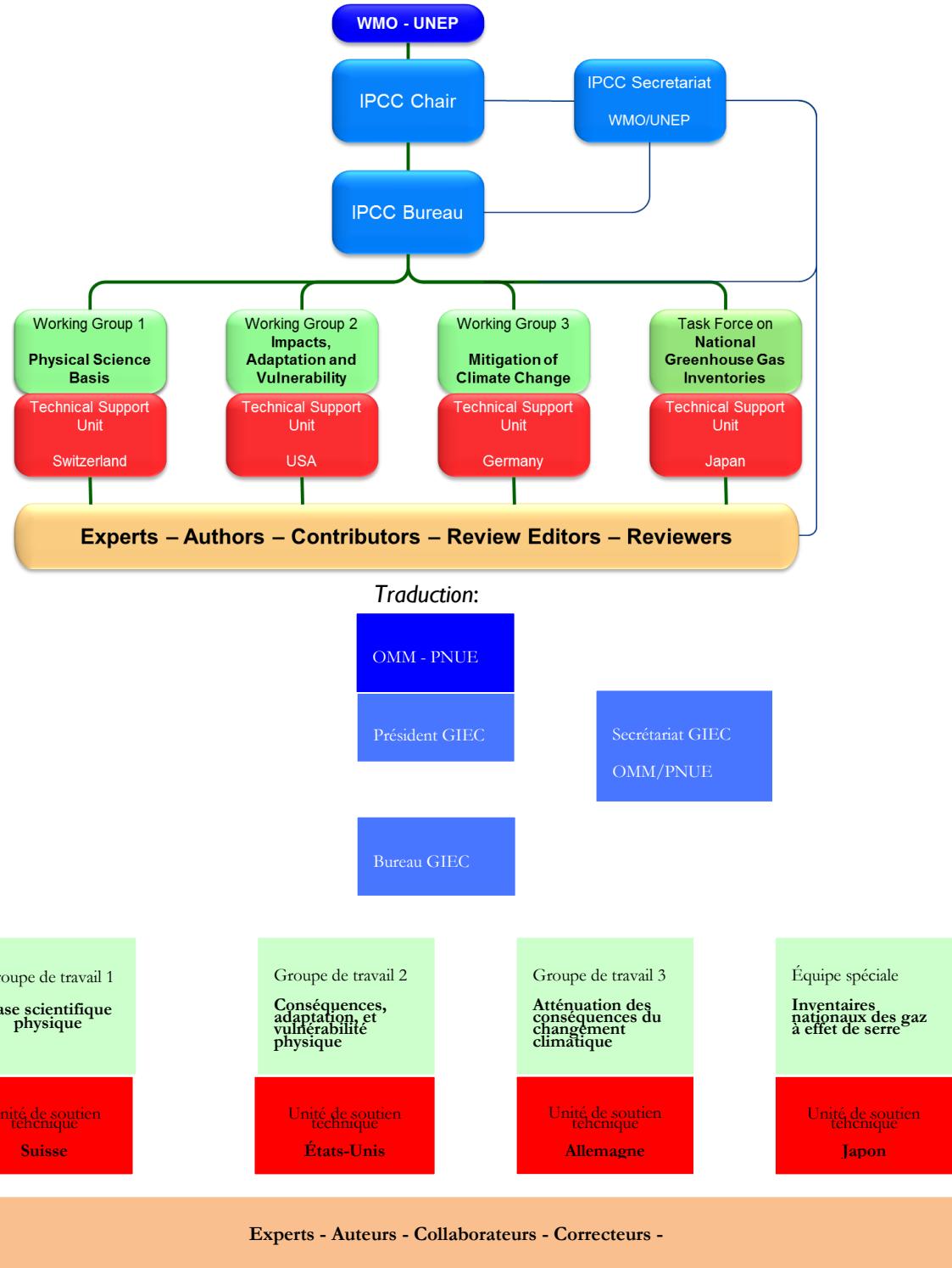
7.1.3 Travail méthodologique du GIEC sur les inventaires GES

Le GIEC est un organe scientifique des Nations Unies établi par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et l'Organisation météorologique (OMM). Sa mission est de présenter au monde une vue scientifique précise des connaissances actuelles relatives au changement climatique et les impacts environnementaux et sociaux économiques qu'il est susceptible d'entraîner. À cette fin, le GIEC examine et évalue les derniers résultats de recherches scientifiques, techniques et socioéconomiques à l'échelle mondiale. Le GIEC ne mène aucune recherche ni ne surveille les données ou les paramètres liés au climat.

Pour accomplir son travail, le GIEC est composé de trois groupes de travail (WG) chargés d'évaluer : la Base scientifique physique (Groupe de travail 1 - WG1) ; les Conséquences, l'adaptation et la vulnérabilité (Groupe de travail 2 - WG2) et l'Atténuation des conséquences du changement climatique (Groupe de travail 3 - WG3). La Figure 7.2 présente un organigramme de la structure du GIEC. D'autres groupes de travail ad hoc et groupes directeurs peuvent être établis pour prendre en compte des sujets ou des questions spécifiques.

Outre les trois WG, le GIEC a mis en place l'Équipe spéciale chargé des inventaires GES afin de superviser le Programme des inventaires nationaux GES du GIEC (NGGIP). Le cœur de son activité est de mettre au point et de perfectionner les méthodologies et les logiciels prévus pour le calcul et la notification des émissions et des absorptions de GES, et d'encourager leurs utilisations par les pays participants au GIEC, ainsi que les pays Parties à la CCNUCC. Le NGGIP a aussi créé et maintient la Base de données des facteurs d'émissions (EFDB) abordée au Chapitre 3.

FIGURE 7.2 : STRUCTURE ET FONCTIONS DU GIEC (SOURCE : TFI DU GIEC)



7.1.4 Historique des lignes directrices et des recommandations du GIEC

Depuis sa création au début des années 1990, le GIEC a joué un rôle clé dans la mise au point de lignes directrices et de recommandations qui, dans le temps, sont devenues des pierres angulaires pour tout le travail accompli sur les inventaires GES. Plus particulièrement :

- En novembre 1994, le GIEC a approuvé la première version des Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux GES. C'était la première méthodologie acceptée et devenue par la suite la base pour la création d'inventaires nationaux GES aux termes de la CCNUCC ;
- Les Lignes directrices de 1996 révisées du GIEC pour les inventaires nationaux GES comprenaient les méthodologies révisées ainsi que les données par défaut pour six secteurs principaux : l'énergie, les processus industriels, l'utilisation de solvants et autres produits, l'agriculture, les changements d'affectation des terres et la foresterie, et les déchets. En outre, des méthodologies ont été ajoutées pour estimer les hydrocarbures halogénés, les hydrocarbures perfluorés, l'hexafluorure de souffre, les précurseurs de l'ozone et des aérosols et les gaz à effet de serre (GES) directs (CO_2 , méthane [CH_4], le dioxyde d'azote [N_2O]) ;
- Pour répondre aux requêtes de la CCNUCC, le GIEC mit au point les Recommandations en matière de bonnes pratiques et la Gestion des incertitudes dans les inventaires nationaux GES (GPG 2000), qui prenaient en compte tous les secteurs mentionnés ci-dessus sauf le changement d'affectation des terres et la foresterie, et les GPG-UTCATF en 2000 et 2003, respectivement. Ces deux documents ne remplacent pas les Lignes directrices de 1996 révisées, mais les complètent et indiquent les bonnes pratiques sur le choix de méthodologie, les améliorations et les méthodes et conseils sur les questions intersectorielles, y compris l'estimation des incertitudes, la cohérence entre les séries temporelles et l'assurance de la qualité et le contrôle de la qualité (AQ/CQ).
- Les Lignes directrices de 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux GES sont l'aboutissement d'un développement évolutif depuis les Lignes directrices de 1996 révisées, et les GPG-UTCATF. Les changements les plus importants se trouvent dans le Volume 4, qui regroupe l'approche pour l'UTCATF dans les GPG-LULUCF et le secteur de l'agriculture dans les GPG 2000 en un seul Volume *Agriculture, Foresterie et autre utilisation des terres* (AFOLU).

ENCADRE 7.4: LIGNES DIRECTRICES RELATIVES AUX COMMUNICATIONS DES INFORMATIONS SUR LES NIVEAUX D'EMISSION (ANNEXE DE LA DECISION 12/CP.17)

Tout pays en développement partie qui entend entreprendre les activités mentionnées au paragraphe 70 de la décision I/CP.16 doit inclure dans sa communication des informations transparentes, complètes⁽¹⁾, conformes aux directives arrêtées par la Conférence des Parties, et exactes, le but étant d'évaluer sur le plan technique les données, méthodes et procédures employées pour le calcul d'un niveau d'émission de référence pour les forêts et/ou d'un niveau de référence pour les forêts. Les informations fournies doivent être établies selon les directives et lignes directrices les plus récentes du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, telles qu'adoptées ou conseillées par la Conférence des Parties, selon que de besoin, et inclure :

- (a) Les informations qui ont été utilisées par les Parties pour le calcul d'un niveau d'émission de référence pour les forêts et/ou d'un niveau de référence pour les forêts, notamment les données historiques, présentées de façon exhaustive et transparente ;
- (b) Les informations transparentes, complètes, cohérentes et exactes, notamment celles ayant trait à la méthodologie, utilisées lors du calcul des niveaux d'émission de référence pour les forêts et/ou d'un niveau de référence pour les forêts, y compris, le cas échéant, le descriptif des ensembles de données, approches, méthodes, modèles éventuels et hypothèses retenus, la description des politiques et plans et le descriptif des changements survenus par rapport aux informations communiquées antérieurement ;
- (c) Les réservoirs et gaz, et les activités énumérées au paragraphe 70 de la décision I/CP.16, dont il a été tenu compte dans les niveaux d'émission de référence pour les forêts et/ou d'un niveau de référence pour les forêts, et les raisons pour lesquelles un réservoir et/ou une activité ont été écartés du calcul desdits niveaux, sachant que d'importants réservoirs et/ou activités ne devraient pas être exclus ;
- (d) La définition d'une forêt retenue lors du calcul des niveaux d'émission de référence pour les forêts et/ou d'un niveau de référence pour les forêts et, éventuellement, en cas de divergence avec la définition d'une forêt retenue pour l'inventaire national des gaz à effet de serre ou pour la notification à d'autres organisations internationales, une explication de la raison pour laquelle la définition employée pour le calcul des niveaux d'émission de référence pour les forêts et/ou d'un niveau de référence pour les forêts a été choisie.

(1) Par « complètes », on entend ici des informations de nature à permettre de recalculer les niveaux d'émission de référence pour les forêts et/ou les niveaux de référence pour les forêts.

Le secteur UTCATF a fortement évolué entre les Lignes directrices de 1996 révisées et les Lignes directrices de 2006 du GIEC (voir la Figure 3.1 au Chapitre 3). Ces changements reflètent une meilleure compréhension du secteur et une recherche scientifique plus approfondie.

7.1.5 Autres processus ne relevant pas des Nations Unies

Outre les pays se préparant pour la mise en œuvre nationale de la REDD+, des progrès ont été réalisés au niveau infranational dans le contexte de marchés volontaires du carbone et d'accords bilatéraux. La mise en œuvre infranationale se déroule surtout au niveau des sites. Pour autant, l'évolution se manifeste aussi au niveau des juridictions. Dans certains cas, les activités au niveau des sites se déroulent

au sein de juridictions qui mettent au point, elles-aussi, leurs propres stratégies plus étendues relatives à la REDD+. Ces initiatives requièrent une approche hybride aux stratégies de la REDD+, prenant en compte les réductions d'émissions et la distribution de crédits de réduction des émissions.

Ces actions de la REDD+ au niveau infranational cherchent à s'appuyer sur des groupes distincts pour les recommandations relatives à l'établissement des Niveaux de références (RL) et aux aspects de la MNV. Deux groupes consultés sont le groupe de Norme de carbone vérifiée (VCS) et le Registre de carbone des États-Unis (ACR) (ACR, 2013 ; VCS, 2013). Tous deux ont procuré des méthodologies techniques recommandées pour les RL et la MNV dans le contexte de la REDD+ au niveau infranational. Ils tendent à s'en remettre au GIEC, par exemple pour les évaluations des stocks de carbone forestier et les préoccupations fondamentales comme la transparence et les possibilités de reproduction des évaluations. Les deux groupes visent à s'aligner sur les directives existantes de la CCNUCC sur la REDD+ et sont censés suivre et appuyer les recommandations supplémentaires de la CCNUCC sur la REDD+ lorsqu'elles sont adoptées. Ces efforts ont aussi contribué à guider les questions d'approches spécifiques à la REDD+ au niveau des juridictions ou hybrides.

Par exemple, dans les directives de la VCS et de l'ACR, une juridiction est toute région définie dans le contexte politique, délimitée dans le but de surveiller les stocks de carbone, les taux de déforestation et les réductions de GES par le biais d'activités de projets REDD+. Une juridiction peut être une entité politique nationale ou infranationale (nation, État, province, district, etc.), même s'il est possible de définir des frontières juridictionnelles d'une autre manière. Un projet REDD+ hybride est un projet qui est comptabilisé et surveillé en respectant le système de comptabilisation (données de départ, évaluation des fuites, exigences de surveillance) de la juridiction dans laquelle le projet se déroule. Cette façon de procéder peut avoir l'avantage de réduire les coûts de transaction pour les projets, leur permettant d'avoir recours aux données de départ et d'autres exigences mises au point par la juridiction, plutôt que d'avoir à les établir au niveau du projet, tout en contribuant aussi à attirer des capitaux privés pour la REDD+.

7.1.6 Références

- ACR. 2013. American Carbon Registry standards and verification.
<http://americancarbonregistry.org/carbon-accounting/carbon-accounting>.
- FCCC/CP/2007/6/Add.1 - Report of the Conference of the Parties on its thirteenth session, held in Bali from 3 to 15 December 2007. Addendum Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its thirteenth session.
- FCCC/CP/2009/11/Add.1 - UNFCCC Decision 4/CP.15: Methodological guidance for activities relating to 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 <http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf>
- FCCC/CP.16: Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on long-term Cooperative Action under the Convention - C. Policy approaches and positive incentives on issues relating to reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries; and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries
http://unfccc.int/files/meetings/cop_16/application/pdf/cop16_lca.pdf
- IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry Institute for Global Environmental Strategies. Japan.

IPCC. 2003. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4 -Agriculture, Forestry and other Land Use Institute for Global Environmental Strategies. Japan.

IPCC. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Institute for Global Environmental Strategies. Japan.

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 Project Office, Natural Resources Canada, Alberta, Canada).

Robledo, C. and J. Blaser. 2008. Key issues on land use, land-use change and forestry (LULUCF) with an emphasis on developing country perspectives. UNDP, An Environment & Energy Group Publication.

VCS. 2013. Voluntary Carbon Standards methodologies. <http://v-c-s.org/methodologies/find>.

7.2 SURVEILLANCE COMMUNAUTAIRE

Auteurs : Kemen Austin et Fred Stolle

L'objectif de cette revue de différents thèmes est de mettre en évidence les avantages pouvant découler de l'incorporation de la surveillance communautaire à l'initiative de surveillance nationale de la REDD+ ; de même que les processus inclus dans le cadre de cette initiative. Nous évoquons la documentation pertinente et des études de cas de surveillance communautaire concernant la biodiversité, la qualité de l'eau et la biomasse forestière, afin de discerner les défis courants et des enseignements pour la REDD+.

7.2.1 Définition de la surveillance communautaire

Selon Fernandez-Gimenez et al. (2008), « la surveillance communautaire sous-entend la participation directe des membres d'une communauté, soit par leur participation aux actions de surveillance collaborative, soit en formant et engageant les services de membres de la communauté pour mener à bien les projets de surveillance ». Dans le cadre de cette étude, un membre de la communauté est défini comme une personne habitant dans une zone concernée, ou près de cette zone, et l'analyse fait la différence entre les membres de la communauté et les consultants extérieurs qui vivent dans une autre ville ou province, ou un autre pays. En outre, cette étude reconnaît que la surveillance communautaire peut commencer par des membres de la communauté afin d'évaluer des initiatives communautaires comme la gestion des forêts, ou par des entités extérieures pour évaluer des projets à l'échelle d'un paysage plus vaste ou d'une région.

La surveillance communautaire a servi à examiner un certain nombre d'éléments des forêts incluant la biodiversité, les stocks de carbone, les points d'intérêt culturels et religieux, les taux d'extraction illégale et les produits ligneux et non ligneux (Effah et al., 2011). Par ailleurs, il est largement admis que la REDD+, ainsi que nombre d'autres initiatives de politique nationale, exigeront une surveillance des éléments non carbone comme les sauvegardes sociales (CCNUCC, 2010). Celles-ci peuvent inclure les conflits fonciers, le respect des droits humains, la distribution des bénéfices et les mécanismes permettant de garantir la participation. Cette étude porte principalement sur la manière dont les communautés peuvent prendre part à la collecte de données biophysiques, tout en reconnaissant d'autres domaines dans lesquels les membres de la communauté peuvent apporter des informations importantes.

7.2.2 Surveillance communautaire dans le contexte de la REDD+

Comme les chapitres précédents l'ont mentionné, la série de systèmes MNV et de systèmes de surveillance forestière en cours d'élaboration pour la REDD+ requerront sans doute la surveillance des changements des forêts, des variations des stocks de carbone forestier, et des « sauvegardes » pour la conservation de la biodiversité et l'appui des moyens de subsistance (Danielsen et Theilade, 2011).

La surveillance communautaire peut être intégrée à ces systèmes de surveillance, et le rôle des peuples autochtones et des communautés locales est explicitement mentionné dans les Accords de Cancun de la CCNUCC (CCNUCC, 2010). Pourtant, les mécanismes auxquels les communautés prendront part dans le cadre de la surveillance communautaire n'ont guère reçu d'attention dans le contexte de la CCNUCC. Les rôles que la surveillance communautaire est susceptible de jouer dans un système de surveillance national de la REDD+ sont décrits au Tableau 7.1, et dépendront de divers facteurs incluant : le droit foncier et les ressources utilisées par la communautés, les facteurs déterminants de la déforestation et la dégradation des forêts, et les cadres institutionnels et politiques.

TABLEAU 7.1 : ROLE POTENTIEL POUR LA SURVEILLANCE COMMUNAUTAIRE AUPRES DES SYSTEMES DE SURVEILLANCE NATIONALE (ADAPTE DE PRATIHAST ET HEROLD, 2011)

Composante du Système de surveillance	Options de surveillance au niveau national	Contribution potentielle de la surveillance communautaire
Cartographie et stratification des forêts	Cartographier les forêts en fonction des indicateurs biophysiques et certains régimes de gestion élargie	Cartographier les forêts en fonction des droits fonciers communautaires ou de la gestion propre à un site
Surveillance de la déforestation et du reboisement	Mener la télédétection Réaliser l'inventaire forestier national Collecter les données des sociétés d'exploitation forestière Calibrer ou valider l'imagerie satellitaire et les cartes dérivées, avec les équipes de terrain disponibles	Observer l'emplacement, le moment, la superficie et les évènements du type de changement (quasiment en temps réel) Collecter les mesures régulières sur le terrain quasiment en temps réel Calibrer ou valider les cartes, et procurer des informations de vérification indépendante
Surveillance de la dégradation, de l'accroissement des stocks de carbone forestier	Analyser les données historiques, si disponibles Mener des sondages sur l'utilisation du bois de chauffe et des produits non ligneux (PNL) Réaliser l'inventaire forestier national	Collecter des mesures régulières sur le terrain des stocks de carbone forestier, et procurer des informations sur les activités et les utilisations locales relatives au bois d'œuvre et aux produits non ligneux

Estimation des facteurs d'émission	Déployer des équipes de terrain pour collecter les données Se baser sur des projets de recherche	Collecter les données de terrain régulièrement dans le temps
Identification des facteurs déterminants du changement	Tirer des conclusions concernant les schémas de changement et la cause probable	Suivre les types et les schémas des activités locales causant le changement Cartographier l'occupation, la gestion et les plans d'utilisation des terres
Analyse et notification des données	Collecter et normaliser les données provenant des sources nationales et infranationales Communiquer les données au public	Fournir des données de validation indépendantes pour la notification nationale Utiliser les données à des fins locales

7.2.3 Justification pour la surveillance communautaire dans le cadre de la REDD+

Même si la télédétection est considérée comme la méthode la plus prometteuse pour les évaluations à échelles nationales des changements des forêts (Patenaude *et al.*, 2005 ; DeFries *et al.*, 2007 ; GOFC-GOLD, 2013), elle a ses limitations et nécessitera un recours à nombre de méthodes basées au sol pour notifier avec précision les émissions provenant des changements des forêts ainsi que les réductions d'émissions dans le cadre d'un programme REDD+. Les méthodes basées sur la télédétection devront être complétées par un éventail d'activités de surveillance au niveau local pour la calibration et la validation (Schelhas *et al.*, 2010) afin d'élaborer des facteurs d'émission et de collecter les informations sur les indicateurs sociaux et culturels.

Fiabilité

Le recours à des équipes internationales de personnels spécialisés pour la collecte de données de terrain représente un processus coûteux, et les approches faisant intervenir des personnes locales peuvent réduire les coûts, offrir des avantages comme la formation et des salaires, et faciliter la collecte d'informations sur des mesures difficiles à observer.

Des études récentes ont employé des membres de la communauté et des consultants extérieurs pour quantifier les stocks de carbone forestier afin de comparer l'exactitude de la surveillance communautaire avec une alternative de « bonne pratique » (Van Laake, 2011). Les résultats de 30 projets dans 7 pays prouvent qu'il n'y a pas de différence remarquable entre ces deux groupes, une fois que les membres de la communauté ont été formés à l'application des méthodes requises (Van Laake, 2011).

Pour autant, ces études estiment aussi que les données collectées par les membres de la communauté pourraient présenter une variabilité plus élevée et une moins grande précision que les données recueillies par leurs homologues extérieurs dotés de compétences en matière d'inventaires forestiers (Skutsch et McCall, 2011). Cette conclusion peut provenir du fait que les membres des communautés participant à ces collectes de données connaissent très bien leurs propres environnement et ressources, mais possèdent des compétences moins pointues en collecte des données (Skutsch et McCall, 2011).

Rentabilité

Le coût des méthodes de surveillance des forêts est l'un des plus importants associés à la REDD+ dans les pays en développement et, par conséquent, il est vital de trouver des moyens de le réduire (Skutsch *et al.*, 2011). Une étude menée par Larrazábal *et al.* (2011) a estimé les dépenses encourues pour la surveillance communautaire comme étant le tiers ou la moitié de celles engagées pour la surveillance menée par des consultants extérieurs (incluant le prix de la formation). D'autres études estiment qu'au bout du compte, les coûts de la surveillance communautaire sont largement inférieurs à ceux associés aux déplacements et aux salaires de consultants externes (Rist *et al.*, 2010 ; Topp-Jørgensen *et al.*, 2005 ; Danielsen *et al.*, 2011). Cependant, les frais de surveillance dépendent de nombreux facteurs, incluant la fréquence et l'échelle de la surveillance, et les coûts d'opportunité pour les observateurs menant la surveillance.

Il est important de remarquer que nombre des coûts associés à la surveillance communautaire sont liés aux premiers stades du projet ou de l'initiative (Effah *et al.*, 2011). Ils comprennent l'achat d'équipement, la mise en place de parcelles échantillons permanentes et la formation. Aussi, parce que ces coûts sont constants et indépendants de la taille ou de la durée du projet, la surveillance communautaire est-elle plus rentable pour des superficies et des projets plus importants qui visent une surveillance sur plusieurs années au moins (Effah *et al.*, 2011). Une étude préconise la surveillance d'un minimum de 100 hectares afin d'atteindre le seuil de rentabilité, par rapport aux frais de transaction de l'élaboration d'un système de surveillance communautaire (Danielsen *et al.*, 2011).

Fréquence

La surveillance des forêts pour la REDD+ exigera une collecte périodique d'informations, à des intervalles appropriés pour le type de forêt et le mode de gestion. Les membres de la communauté vivant dans ces zones concernées et autour de celles-ci sont bien placés pour surveiller pendant de plus longues périodes et plus fréquemment que dans le cadre de plusieurs autres options, comme une entité du service des forêts national ou des consultants forestiers (Rist *et al.*, 2010). Une surveillance plus fréquente des conditions et des changements des forêts peut améliorer la fiabilité statistique et scientifique des données obtenues, surtout dans les forêts connaissant un changement rapide (Danielsen *et al.*, 2011).

Sensibilité au contexte local

Les membres des communautés peuvent avoir des connaissances précises de leur environnement incluant une perception des variations à petite échelle en matière de gestion (Dalle *et al.*, 2006). En outre, il est fréquent que les membres des communautés connaissent mieux les facteurs déterminants des changements des forêts locales (Van Laake, 2011). Aussi, les communautés sont-elles largement en mesure d'observer les impacts de l'utilisation par l'homme des forêts et du carbone forestier, et d'évaluer l'influence de la gestion ou de la mise en œuvre de politiques.

Comprendre les impacts sociaux et culturels

Le succès de la REDD+ dépendra à la fois d'une surveillance forestière précise et transparente des émissions et des absorptions de carbone et des éléments non carbone comme les sauvegardes visées dans les Accords de Cancun (CCNUCC, 2010). Les membres des communautés sont sur place pour collecter les informations concernant un éventail plus large de mesures au-delà du carbone, susceptibles d'être utiles pour la mise en œuvre potentielle de la REDD+ ou la mise en œuvre de politiques de gestion forestière (Pratihast et Herold, 2011). Ces mesures incluent des informations socioéconomiques (par ex., l'utilisation de l'énergie de biomasse, la production d'aliments), la gouvernance (par ex., les processus de distribution des bénéfices, les mécanismes de participation aux processus décisionnels) et la biodiversité (par ex., les observations d'espèces, les changements d'habitats).

Avantages pour les communautés

La participation de membres de la communauté à la surveillance des forêts peut entraîner des avantages supplémentaires comme la transparence, le sentiment de participer davantage aux actions d'atténuation, de meilleures sauvegardes socioéconomiques, la pertinence culturelle des approches de surveillance, le renforcement des capacités des institutions locales, l'accès aux ressources et des possibilités d'emploi (Danielson *et al.*, 2011). Ainsi, la participation des membres de la communauté peut conduire à la durabilité au long terme des initiatives d'interventions et de surveillance. Le Tableau 7.2 fait état des avantages de recourir aux communautés locales dans les projets de surveillance des forêts.

TABLEAU 7.2 : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA SURVEILLANCE COMMUNAUTAIRE ET DE LA SURVEILLANCE CONFIEE A DES EXPERTS⁵³

Composante de la surveillance	Consultants extérieurs	Membres de la communauté locale
Coûts	Élevés ; incluent les honoraires professionnels, les frais de déplacement et d'hébergement	Coûts élevés pour la mise en place et la formation initiales, suivis de frais de salaires, de déplacements et d'hébergement relativement peu élevés dans le temps
Connaissances locales	Pas très bonnes en général ; guides et interprètes locaux généralement nécessaires	Bonnes ; les habitants connaissent bien la région normalement en termes d'accès, de logistique, d'autorités locales, de lois et d'espèces
Qualité des données	Bonnes	Bonnes ; suivant une formation et une vérification des données appropriées
Cohérence	Peut être médiocre si les mêmes consultants ne peuvent pas assurer la surveillance sur la durée de tout le projet, ou si les mêmes méthodes ne sont pas respectées	Peut être bonne si les mêmes membres d'équipe, ou au moins la même coordination peut être maintenue
Fréquence et intensité	Généralement faibles ; il peut être onéreux d'avoir des experts extérieurs passer de longues périodes de temps sur le terrain, ou revenir fréquemment faire des mesures au cours du temps	Élevées ; même si l'échantillonnage est mené à temps partiel, un temps substantiel en déplacements et mise en place est économisé et la surveillance peut s'effectuer fréquemment
Avantages supplémentaires	Peu nombreux ; généralement restreints aux apports techniques	Nombreux ; la surveillance par les autochtones crée un sentiment d'appartenance, renforce les capacités des habitants locaux et offre des possibilités d'amélioration de la gestion
Gestion	Censée être bonne	Domaines potentiels de préoccupations dans nombre de communautés
Formation initiale	Faible ; assume que les équipes professionnelles nécessitent peu de préparation	Intense ; plus de temps pour trouver, former et équiper les équipes
Collecte d'autres données	Généralement médiocre ; très compliqué de comprendre les aspects socioéconomiques et culturels locaux, la collecte de données prend du temps	Bonne ; connaissances innées de l'économie et de la culture locales, facile de collecter des informations et de surveiller les changements

⁵³ Tirés de Knowles et al., 2010 ; adapté de Larrazábal et al., 2011

7.2.4 Leçons tirées d'études de cas

Cette section présente une synthèse des cas où les communautés ont participé à la surveillance des forêts, soit pour la REDD+, soit pour d'autres mesures qui pouvaient présenter un intérêt pour un programme de la REDD+. En outre, les leçons et les défis courants pour la mise à l'échelle au niveau national sont abordés. Les cas sont aussi récapitulés au Tableau 7.3.

Surveillance menée localement par rapport à la surveillance imposée de l'extérieur

Plusieurs des études ont examiné l'application de la surveillance communautaire lorsqu'une communauté avait mis en place (ou était en train de mettre en place) un système de gestion des ressources forestières (Topp-Jørgensen et al., 2005 ; Mukama et al., 2012 ; Hartanto et al., 2002). Dans ce cas, la surveillance sert de mécanisme pour suivre la performance des initiatives de gestion, ce que l'on appelle aussi une surveillance autonome locale (Danielsen et al., 2008). La portée des initiatives locales de surveillance est adaptée aux priorités locales et n'est généralement pas aussi approfondie que l'exigera la surveillance de la REDD+ (McCall, 2003). Pour autant, la surveillance communautaire pourrait, avec les mesures incitatives et la formation appropriées, être élargie et inclure la surveillance collaborative des stocks et des flux de carbone qui font partie des exigences de la REDD+ imposées de l'extérieur (Lawrence and Elphick, 2002).

Il existe aussi des cas où la surveillance communautaire est lancée pour les inventaires nationaux ou pour des objectifs de recherche nationaux (Skutsch et Trines, 2011). Ce type de surveillance s'appelle aussi parfois « surveillance micro-macro » (Ojha et Bhattacharai, 2003) et « surveillance imposée de l'extérieur avec collecte de données locale » (Danielsen et al., 2008). Les exemples comptent le système de carnet d'événements en Namibie (Stuart-Hill et al., 2005) et les recensements d'oiseaux au Kenya (Bennun et al., 2005). Ce type de surveillance sera important pour la REDD+, qui exigera la surveillance de l'accroissement, de la perte des superficies des forêts, et de la variation des stocks sur de vastes paysages (Skutsch et Solis, 2011). Pourtant, dans le cas où les membres de la communauté ne sont pas déjà engagés dans la gestion forestière, des ressources et une formation initiales peuvent s'avérer nécessaires pour établir de manière efficace un système de surveillance communautaire.

Normes et protocoles

La surveillance dans le cadre de la REDD+ nécessitera une collecte de données régulière et comparable entre les juridictions infranationales. Afin de réaliser des collectes fiables et cohérentes, il est important d'élaborer des normes et des protocoles précis que les communautés locales peuvent apprendre et mettre en œuvre rapidement. Stuart-Hill et al. (2005) présentent un exemple mettant en évidence l'harmonisation réussie de la mise à l'échelle d'une collecte de données. Les auteurs font état d'un cas en Namibie, où les communautés avaient reçu de recommandations en matière de collecte de données qui étaient adaptables, mais normalisées. Si les communautés participantes utilisaient les mêmes méthodes, les données pourraient être agrégées et comparées à l'échelle nationale.

Renforcement des capacités

La documentation portant sur la surveillance communautaire démontre que les membres des communautés sont capables de faire des collectes de données sur les forêts de manière fiable, après avoir reçu une formation de base. Cette formation peut porter sur les méthodes d'inventaire des forêts, l'enregistrement des données et l'utilisation de l'équipement (par ex., cartes, unités de Système mondial de localisation [GPS], appareils photo). Le programme de recherche et de renforcement des capacités « Kyoto: Think Global, Act Local » (K:TGAL - Penser au niveau mondial et agir au niveau local), par exemple, a trouvé que la formation pouvait se dérouler en peu de temps ; même une semaine de formation sur le terrain peut suffire pour collecter les données destinées à l'élaboration d'inventaires de forêts (Skutsch et al., 2009).

L'étude de documents d'Effah et al. (2011) préconise qu'une approche en phases à la surveillance communautaire peut s'avérer être la plus efficace. Un tel système permettrait d'abord de renforcer les capacités des participants en matière de surveillance des forêts, par le biais d'une formation intensive et d'un apprentissage sur le tas au cours duquel des consultants extérieurs démontrent des principes et des tâches aux membres de la communauté. Les consultants peuvent ensuite poursuivre en supervisant et apportant leur soutien lors de tâches plus compliquées, comme l'échantillonnage statistique, l'utilisation de matériel informatique pointu et l'établissement de parcelles d'échantillonnage permanentes (Skutsch et Trines, 2011).

Mesures incitatives

La surveillance communautaire risque d'être peu durable à moins que les avantages tirés de la participation au programme de surveillance vaillent largement les coûts qu'ils représentent (Skutsch et al., 2011). L'appui extérieur sous forme de salaires et de développement de compétences pour l'emploi seront nécessaires pour inciter à la surveillance communautaire (Evans et Guariguata, 2008 ; Rist et al., 2010). Les études de cas examinées ici ont payé les participants entre 1 \$ et 7 \$ par jour. Pourtant, seules une ou deux études se sont préoccupé de savoir si les montants étaient suffisants pour compenser les coûts de salaires perdus, et ont toutes deux conclu que le montant donné n'était pas suffisant (Andrianandrasana et al., 2005 ; Mukama et al., 2012). Ce point indique que les structures de paiement qui existent peuvent ne pas être à la hauteur pour soutenir au long terme la surveillance communautaire.

Systèmes technique et équipement

Toutes les études de cas prises en compte ont employé une forme ou une autre de technologie moderne comme des GPS ou des logiciels informatiques pour la collecte et le stockage de données. McCall (2011) avance que ces technologies mettent les connaissances locales au même niveau que celles des experts extérieurs. Les avantages des systèmes utilisés incluent une précision accrue, la réduction de pertes de données, une collecte de données systématiques, la simplification de la validation, la saisie numérique comme les photos ou les enregistrements audio, le développement de compétences des participants et un échange facile des données (Parmer Fry, 2011).

Selon les situations de la région faisant l'objet de l'étude, comme l'accès à l'électricité et Internet, ou l'assurance des membres de la communauté à l'égard de plateformes logicielles sophistiquées, des approches différentes concernant l'utilisation de technologies modernes peuvent être employées. Par exemple, le programme SocioBosque en Équateur regroupe en équipes de surveillance les gardes forestiers, les chasseurs et un groupe diversifié de jeunes et d'aînés sélectionnés par la communauté et les familiarise aux fonctionnement du GPS sur les téléphones portables. En incluant une section représentative de la communauté, les connaissances et les points forts respectifs de chaque participant sont partagés au sein du groupe. Les gardes forestiers ne sont pas intimidés par la technologie, les participants plus jeunes apprennent à utiliser le système plus rapidement, et les aînés et les chasseurs ont des connaissances plus poussées pour pouvoir identifier les espèces et relater l'histoire de la région (Cerda, 2012).

Évaluation et contrôle de la qualité

Afin d'intégrer la surveillance communautaire à un système d'inventaire et de notification national GES, la mise en place d'un système de contrôle de la qualité s'impose pour évaluer l'exactitude des données collectées par les membres de la communauté locale. Par exemple, dans le cadre du projet Scolel Tè au Mexique, 10 pour cent de la surveillance communautaire est vérifiée par le personnel technique du projet. S'il remarque des incohérences ou des données inexactes, une formation supplémentaire est fournie (Scolel Tè, 2008).

Systèmes de gestion et d'agrégation des données

Afin que les données issues des systèmes locaux de surveillance soient utiles sur de plus grandes échelles, un système de base de données doit être mis en place pour permettre de télécharger et de partager les données locales (Pratihast et Herold, 2011). Effah *et al.* (2011) ont trouvé que nombre de projets font preuve d'une agrégation satisfaisante des données entre les juridictions infranationales au sein d'une base de données centrale. Le projet « Sofala Community Carbon » au Mozambique, par exemple, saisira des données sur les stocks de carbone forestier dans l'inventaire national GES du Mozambique (Envirotrade, 2010).

En outre, les systèmes de gestion des données doivent être conçus pour garantir que les données collectées par les membres des communautés locales sont gérées de manière sécuritaire, et en définissant clairement la manière dont les informations collectées seront utilisées (CIGA-REDD, 2011). Par ailleurs, les données doivent être retenues par les membres des communautés afin qu'ils s'en servent dans leurs processus décisionnels (Stuart-Hill *et al.*, 2005). Les données sont souvent envoyées « en amont » pour être analysées et utilisées pour la gestion, mais les résultats de cette analyse et ses implications plus larges ne sont pas communiqués de manière précise aux communautés (Ojha et Bhattacharai, 2003). Un feedback contribuera à la planification, permettra aux communautés d'évaluer les compromis entre les différentes utilisations de la forêt et facilitera l'évaluation des impacts de la gestion sur les ressources forestières.

7.2.5 Conclusion

La surveillance communautaire est susceptible de jouer plusieurs rôles dans l'avenir de la REDD+, à condition que les pays évaluent les droits, les rôles et les relations entre les communautés et le contexte plus large social, culturel et environnemental des communautés et des forêts. Plusieurs points à considérer lors de la conception des composantes de la surveillance communautaire dans le cadre de la REDD+ incluent : la consultation des communautés sur l'objectif de la surveillance pour la REDD+ ; le développement de processus précis pour engager les communautés ; la conception de systèmes de partage d'informations qui peuvent s'intégrer aux processus de sauvegardes (sociales et environnementales) de la REDD+ ; et la fourniture de renforcement des capacités en matière d'activités de surveillance communautaire, et d'une évaluation périodique de la qualité de ces activités.

Comme avancé plus haut, les récentes recherches ont prouvé que les données collectées par le biais de la surveillance communautaire pouvaient être aussi fiables et cadrer avec les politiques que les données collectées par des consultants techniques extérieurs. En outre, la surveillance réalisée par les membres de la communauté permet et appuie leur participation à l'élaboration et la mise en œuvre de stratégies nationales pour la REDD+, un mandat explicite des Accords de Cancun (Paragraphe 72). Enfin, même si la surveillance communautaire peut contribuer à un système MNV au niveau national, le système doit être assorti de mesures incitatives, de normes, de systèmes d'agrégation des données et de renforcement des capacités appropriés.

7.2.6 Références

- Andrianandrasana, H. T., J. Randriamahefason, J. Durbin, R.E. Lewis and J.H. Ratsimbazafy. 2005. Participatory ecological monitoring of the Alaotra wetlands in Madagascar. *Biodiversity and Conservation* 14(11): 2757-2774.
- Bennun, L., P. Matiku, R. Mulwa, S. Mwangi and P. Buckley. 2005. Monitoring important bird areas in Africa: towards a sustainable and scaleable system. *Biodiversity and Conservation*. 14: 2757-2774.
- Cerda, J. 2012. Personal communication, Conservation International, May, 2012.

CIGA-REDD. 2011. UNAM. Proc. of FCPF Workshop *Linking Community Monitoring to National MRV for REDD+*, Mexico City.

Dalle, S. P., S. de Blois, J. Caballero and T. Johns. 2006. Integrating analyses of local landuse regulations, cultural perceptions and land-use/land cover data for assessing the success of community-based conservation. *Forest Ecology and Management* 222(1-3): 370-383.

Danielsen F., D.S. Balete, M.K. Poulsen, M. Enghoff, C.M. Nozawa and A.E. Jensen. 2000. A simple system for monitoring biodiversity in protected areas of a developing country. *Biodiversity and Conservation* 9: 1671-1705.

Danielsen, F., N.D. Burgess, A. Balmford, P.F. Donald, M. Funder, J.P. Jones, P. Alviola, D.S. Balete, T. Blomley, J. Brashares, B. Child, M. Enghoff, J. Fjeldså, S. Holt, H. Hübertz, A.E. Jensen, P.M. Jensen, J. Massao, M.M. Mendoza, Y. Ngaga, M.K. Poulsen, R. Rueda, M. Sam, T. Skielboe, G. Stuart-Hill, E. Topp-Jørgensen and D. Yonten. 2008. Local participation in natural resource monitoring: A characterization of approaches. *Conservation Biology* 23(1): 31-42.

Danielsen, F., M. Skutsch, N.D. Burgess, P.M. Jensen, H. Andrianandrasana, B. Karky, R. Lewis, J.C. Lovett, J. Massao, Y. Ngaga, P. Phartiyal, M.K. Poulsen, S.P. Singh, S. Solis, M. Sørensen, A. Tewari, R. Young and E. Zahabu. 2011. At the heart of REDD+: A role for local people in monitoring forests? *Conservation Letters* 4: 158-167.

Danielsen, F. and I. Theilade 2011. Potential fit of community-level monitoring of biodiversity and socio-economic outcomes with national REDD+ programmes. Input Paper No 3 of FCPF Workshop *Linking Community Monitoring to National MRV for REDD+*, Mexico City.

DeFries, R., F. Achard, S. Brown, M. Herold, D. Murdiyarso, B. Schlamadinger and C. de Souza. 2007. Earth observations for estimating greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries. *Environmental Science & Policy* 10(4): 385-394.

Envirotrade. 2010. Sofala Community Carbon Project Design Document.

Effah, R., E. Pohnan and A. Yeh. 2011. *Community Based Monitoring of Forest and Carbon Stocks: Lessons for the REDD+ Negotiations at COP 17*. New Haven, CT. Yale School of Forestry.

Evans, K. and M.R. Guariguata. 2008. *Participatory Monitoring in Tropical Forest Management: A Review of Tools, Concepts and Lessons Learned*. Rep. Bogor, Indonesia. CIFOR.

Fernandez-Gimenez, M. E., H. L. Ballard and V. E. Sturtevant. 2008. Adaptive management and social learning in collaborative and community-based monitoring: a study of five community-based forestry organizations in the western USA. *Ecology and Society* 13(2): 4.

GOFC-GOLD. 2013. 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. GOFC-GOLD Report version COP19-2 (GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University, The Netherlands).

Hartanto, H., M.C.B. Lorenzo, A.L. Frio. 2002. Collective action and learning in developing a local monitoring system. *International Forestry Review* 4(3): 184-195.

Holck, M. H. 2008. Participatory forest monitoring: An assessment of the accuracy of simple cost-effective methods. *Biodiversity and Conservation* 17(8): 2023-2036.

- Knowles, T., M. McCall, M. Skutsch and L. Theron. 2010. Preparing Community Forestry for REDD+: Engaging Local Communities in the Mapping and MRV Requirements of REDD+. In Zhu,X., L. Ravkilde Møller, T. De Lopez, M Zaballa Romero, eds. *Pathways for Implementing REDD+, experiences from Carbon Markets and Communities*. Roskilde, Denmark: Technical University of Denmark, p. 156.
- Larrazábal, A.P. and M. Skutsch. 2011. A Review of Experience of Community Monitoring for REDD+. Input Paper No 2 of FCPF Workshop *Linking Community Monitoring to National MRV for REDD+*, Mexico City.
- Lawrence, A. and M. Elphick, eds. 2002. Policy implications of participatory biodiversity assessment – summary report. ETFRN. Policy seminar convened by the Environmental Change Institute. Environmental Change Institute. Oxford, UK.
- McCall, M.K. 2003. Seeking good governance in participatory-GIS: a review of processes and governance dimensions in applying GIS to participatory spatial planning. *Habitat International* 27: 549-573.
- McCall, M.K. 2011. Local Participation in Mapping, Measuring and Monitoring for Community Carbon Forestry. Chapter 3 in Skutsch, M., ed. *Community Forest Monitoring for the Carbon Market: Opportunities under REDD*. London, UK. Earthscan.
- Mukama, K., I. Mustalahti and E. Zahabu. 2012. Participatory Forest Carbon Assessment and REDD+: Learning from Tanzania. *International Journal of Forestry Research*, Article ID 126454, p14.
- Noss, A., I. Oetting and R.L. Cuéllar. 2005. Hunter self-monitoring by the Isoseño-Guaraní in the Bolivian Chaco. *Biodiversity and Conservation* 14: 2679-2693.
- Ojha, H. and B. Bhattacharai. 2003. Learning to manage a complex resource: a case of NTFP assessment in Nepal. *International Forestry Review* 5: 118-127.
- Palmer Fry, B. 2011. Community Forest Monitoring in REDD+: The ‘M’ in MRV? *Environmental Science & Policy* 14(2): 181-187.
- Patenaude, G., R. Milne and T.P. Dawson. 2005. Synthesis of remote sensing approaches for forest carbon estimation: Reporting to the Kyoto Protocol. *Environmental Science & Policy* 8(2): 161-178.
- Poulsen, M. and K. Luanglath. 2005. Projects come, projects go: lessons from participatory monitoring in southern Laos. *Biodiversity and Conservation* 14: 2591-2610.
- Pratihast, A.K. and M. Herold. 2011. Community Based Monitoring and potential links with National REDD+ MRV. Input Paper No 1 of FCPF Workshop *Linking Community Monitoring to National MRV for REDD+*, Mexico City.
- Rist, L., R. U. Shaanker, E.J. Milner-Gulland and J. Ghazoul. 2010. The use of traditional ecological knowledge in forest management: An example from India. *Ecology and Society* 15(1): 3.
- Schelhas, J., S. Samar, C. Johnson, K. Asumadu, F. Tease, J. Stanturf and D. Blay. 2010. Opportunities and capacity for community-based forest carbon sequestration and monitoring in Ghana. *Nature & Faune* 25(1): 35-39.
- Scolel-Te. 2008. Scolel Te Operational Manual: Natural Resources Management and Carbon Sequestration, AMBIO.

- Skutsch, M., M. K. McCall, B. Karky, E. Zahabu and G. Peters-Guarin. 2009. Case Studies on Measuring and Assessing Forest Degradation: Community Measurement of Carbon Stock Change for REDD. Forest Resources Assessment Working Paper 156. Rome, Italy. FAO.
- Skutsch, M. and M.K. McCall. 2011. Why Community Forest Monitoring? Chapter 1 in Skutsch, M., ed. *Community Forest Monitoring for the Carbon Market: Opportunities under REDD*. London, UK. Earthscan.
- Skutsch, M. and S. Solis. 2011. How Much Carbon Does Community Forest Management Save? Chapter 2 in Skutsch, M., ed. *Community Forest Monitoring for the Carbon Market: Opportunities under REDD*. London, UK. Earthscan.
- Skutsch, M. and E. Trines. 2011. The Policy Context of Community Monitoring for REDD+. Chapter 4 in Skutsch, M., ed. *Community Forest Monitoring for the Carbon Market: Opportunities under REDD*. London, UK. Earthscan.
- Skutsch, M., E. Zahabu, B.S. Karky and F. Danielsen. 2011. The Costs and Reliability of Forest Carbon Monitoring by Communities. Chapter 6 in Skutsch, M., ed. *Community Forest Monitoring for the Carbon Market: Opportunities under REDD*. London, UK. Earthscan.
- Stuart-Hill, G., R. Diggle, B. Munali, J. Tagg and D. Ward. 2005. The Event Book System: a community-based natural resource monitoring system from Namibia. *Biodiversity and Conservation* 14: 2611–2631.
- Topp-Jørgensen, E., M.K. Poulsen, J.F. Lund and J.F. Massao. 2005. Community-based monitoring of natural resource use and forest quality in montane forests and miombo woodlands of Tanzania. *Biodiversity and Conservation* 14: 2653–2677.
- UNFCCC. 2010. Draft decision—/CP.16, Outcome of the work of the ad hoc working group on long-term cooperative action under the Convention. Available at: http://unfccc.int/files/meetings/cop_16/application/pdf/cop16_lca.pdf
- Van Laake, P., M. Skutsch and M. McCall. 2009. Data collection and national/local level. Chapter 3.4 in GOFC-GOLD: Reducing GHG emissions from deforestation and degradation in developing countries: a sourcebook of methods and procedures for monitoring, measuring and reporting. Report version COP14-2, Alberta, Canada.
- Van Laake, P.E. 2011. Information Requirements for National REDD+ Programmes. Chapter 5 in Skutsch, M., ed. *Community Forest Monitoring for the Carbon Market: Opportunities under REDD*. London, UK. Earthscan.

TABLEAU 7.3 : ÉTUDES DE CAS DE LA SURVEILLANCE COMMUNAUTAIRE

Case Étude	Lieu	Quelles informations ont été collectées ?	Qui menait la surveillance ?	Quelles normes étaient utilisées ?	Quel équipement était utilisé ?	Quelle formation ont reçu les participants?	Quelles mesures incitatives encourageaient les observateurs ?	Qui menait la compilation et l'analyse des données ?	Comment les données étaient-elles agrégées au niveau national ou régional ?	Quel était le coût du projet ?	Récapitulation
Holck 2008	Uluguru North Forest Reserve, Tanzanie	Le diamètre à hauteur de poitrine, la surface terrière des arbres, les perturbations (déterminées par brûlures, coupes, souches)	Quatre participants sélectionnés de chaque village (deux membres du comité de l'environnement du village, deux membres de la WCS Tanzanie)	Trois méthodes de surveillance des perturbations de la flore - les 20 méthodes d'évaluation de stress, la méthode d'inventaire rapide de Bitterlich et le transect de points à vérifier pour les perturbations	Mètre ruban, stylo et papier, méthode d'inventaire rapide de Bitterlich, cordes	Formation d'une demi-journée, puis d'un jour complet, et un suivi sous forme de supervision	Les participants ont reçu environ 6,25 \$ par jour, en outre la participation conférait des connaissances et un certain prestige	Les auteurs de l'étude	Pas d'agrégation	Une fois la formation achevée, les coûts pour la surveillance de la perturbation des forêts sont estimés être entre 0,04 \$-0,12 \$/ha/an	Les participants, forts d'une journée de formation et sous supervision ont collecté des données semblables à celles d'experts homologues. Le coût de la surveillance locale permettrait une collecte de données plus fréquente et durable

Topp-Jørgensen et al., 2005	District Iringa, Tanzanie	L'utilisation des ressources, les perturbations, l'abondance d'espèces indicatrices, les informations sur l'utilisation des ressources, enregistrement des permis et des droits, enregistrement des réunions et des formations	Les comités des ressources naturelles du village	Protocoles établis localement	Pas précisé	Recommandations pour la mise au point du système faites par le gouvernement du district et le programme d'aide au développement danois	Les observateurs étaient payés environ 1 \$ par jour. D'autres mesures incitatives incluent la reconnaissance de la valeur de disposer d'eau de qualité et un prestige accru.	Les comités des ressources naturelles du village	Les données de surveillance et les décisions concernant la gestion locale faisaient l'objet d'un rapport mensuel à une hiérarchie plus élevée de l'administration, et tous les enregistrements sont ouverts au public dans le village	Environ 3 millions \$ pour le projet entier - aucune précision sur la portion qui est revenue à la mise en place du système de surveillance	Les comités des ressources naturelles du village géraient la surveillance et l'analyse des données, et ainsi pouvaient prendre rapidement des décisions en matière de gestion en se basant sur ces informations
Danielsen et al., 2000	Trois aires protégées - dans le nord de la Sierra Madre, Bataan, M. Kitanglad-Philippines	La variation du nombre et de la fréquence d'observation des espèces citées désignées et de l'utilisation des ressources, le changement de la taille des types de végétation, la variation du volume de récolte perçu dans les activités influençant la biodiversité	Entre 24 - 36 personnels par parc, incluant le superintendant du parc, les ONG hôtes, les gardes forestiers locaux et les membres de la communauté	Des méthodes multiples mises au point - journal de terrain, documentation à l'aide de photos, parcours d'étude, discussions de groupes. Les normes et les méthodes étaient élaborées grâce à un processus collaboratif national et des tests sur le terrain. Un manuel pour chaque méthode de terrain et indicateur avait été préparé.	Cahier, stylo, guide pratique, jumelles, appareil photo, boussole, film, altimètre, GPS, peinture, montre, feuilles de données, ficelle, mètre ruban	Renforcement des capacités sur une période de trois ans. Parties prenantes participaient à la mise au point et aux essais des méthodologies. Visites régulières par des experts extérieurs pour assistance et supervision	Le personnel du parc recevait un salaire ; le montant n'était pas précisé	Tout le personnel du parc participait à la compilation des données. Le conservateur de l'aire protégée collecte et analyse les données, et prend directement des décisions en matière de gestion en fonction des résultats	Le système pour la surveillance des aires protégées était en cours d'application à d'autres aires protégées prioritaires au moment de ce rapport.	Pas précisé	Il est important que les personnels chargés de la surveillance soient différents de ceux qui appliquent les lois (afin d'engager les communautés locales de manière efficiente). La participation du personnel du parc au cours de toute la mise au point et des essais des méthodologies est essentielle pour inciter la collaboration et les capacités au long terme

Andrianandrasana et al., 2005	Zones humides de la région d'Alaotra, Madagascar	Données sur les lémuriens, les oiseaux d'eau, les prises de la pêche, les zones marécageuses et les barèmes des permis de chasse	Organisée par le « Durrell Wildlife Conservation Trust ». Des équipes de 10 villageois et 7 techniciens (des services des eaux et forêts, du service des pêches et d'ONG de développement régionaux.	Données collectées par transects, interviews, observations et identification des prises de la pêche. Méthodes normalisées utilisées dans tous les 16 sites	Canoë, cartes, jumelles, GPS, boussole, guide pratique des oiseaux, balances, plans d'aménagement du site, guide pratique des lémuriens	Les participants à la surveillance sont formés dès le début, puis employés à nouveau pendant les années suivantes. Aucun autre détail concernant le type de contenu de la formation	Les participants gagnaient environ 2 \$ par jour. Ce montant est inférieur au revenu que procure la pêche - peut avoir été attrayant parce que l'emploi en tant qu'expert technique confère un statut spécial	Les informations étaient présentées au grand public par le biais de réunions communautaires et de la radio	Les données de surveillance étaient présentées oralement au public et les feuilles de données conservées par les autorités locales.	Tous les coûts pour un montant approximatif de 5.000 \$/an. (0,21 \$/ha/an.)	Les autorités locales ont preuve d'une réponse adaptative aux informations collectées - par exemple, les incendies de marais furent réduits au cours du projet.
Bennun et al., 2005	49 sites au Kenya	Efficacité de la conservation des IBA (zones importantes pour la conservation des oiseaux) par le biais de la surveillance des populations d'espèces concernées et des menaces pour ces espèces (incluant la superficie de l'habitat, la déforestation, le nombre de personnels de conservation)	Le personnel du 'Site Support Group' (groupe de soutien des sites) Bird Life - des partenaires autonomes locaux de Bird Life International constitué de personnel du gouvernement et d'autres personnes compétentes	Les IBA procure des formulaires avec indicateur (par ex., qualité de l'habitat, nombre de personnel de conservation) et un espace vide pour noter l'amélioration ou la détérioration au regard de cet indicateur. En outre, une surveillance détaillée propre au site est encouragée, où les méthodes varient en fonction du site	Pas précisé	Pas précisé	Pas précisé - un certain soutien financier apporté par Bird Life International aux groupes de soutien des sites	L'unité centrale des IBA compile les données, les vérifie et y ajoute une recherche supplémentaire pour créer un score général d'amélioration ou de détérioration des indicateurs	Bird Life International produit les rapports sur l'état des IBA à partir de données issues de chaque IBA. En outre, Bird Life International fait suivre le rapport de pays au secrétariat international pour qu'il soit compilé dans une base de données mondiale.	Pas précisé	Cette méthode est subjective et difficile à normaliser, chose que Bird Life a reconnue et s'attache à améliorer.

Poulsen and Luanglath, 2005	Aire de protection de la biodiversité de Xe Pian, Laos	Parcourir la zone en se concentrant surtout sur la liste des espèces prioritaires, les interviews de villageois pour déterminer les perceptions du statut et des tendances en matière d'espèces de faune chassées et des produits forestiers non ligneux, surveillance conjointe par les villageois et le personnel de l'aire protégée	Selon la méthode, des équipes de 2 à 6 villageois, sélectionnés lors d'une réunion de village, et de personnel de l'aire protégée	La Wildlife Conservation Society a établi avec le personnel de l'aire de conservation et les villageois, une méthode de surveillance, bien que les normes n'aient pas été strictement respectées et que trois méthodes principales aient été utilisées	Pas précisé	Le personnel de l'aire de conservation a été formé en matière de surveillance de la biodiversité et sensibilisation, et sait utiliser les principales méthodes de surveillance	Le personnel de l'aire de conservation recevait un salaire annuel, le soutien extérieur fournissait la logistique et des indemnités de 5 \$ par jour pour le travail sur le terrain. Les villageois n'étaient pas payés La surveillance a été interrompue une fois que le financement a cessé	Les formulaires et les rapports de surveillance soumis au bureau de l'Unité de gestion du parc	Pas précisé	Une semaine de surveillance, incluant 4-5 villages, coûte environ 100 \$, ce qui revient à peu près à .0,017 \$/ha/an	Une combinaison de diverses méthodes peut être le meilleur moyen d'obtenir une représentation globale de l'utilisation et de l'abondance des ressources Des relations solides entre les villageois et le personnel du parc établissent la confiance qui mène à la coopération et une meilleure cogestion
Noss et al., 2005	Parc national de Kaa-lya del Gran Chaco, Bolivie	Abondance des espèces, taux de capture globaux par unité d'effort, tailles des captures, poids et âges	La Wildlife Conservation Society a organisé et appuyé le projet en collaboration avec l'administration du parc. Des chasseurs actifs et les membres de la communauté ont mené la surveillance	Les chasseurs ont avec eux des feuilles de données lors des excursions de chasse pour enregistrer les informations. Les membres de la communauté effectuent aussi des dénombrements par transect linéaire de neuf espèces principales de gibier	Feuilles de données, stylos, mètres rubans, balance à ressort. GPS utilisé pour enregistrer les sites de chasse	Formation fournie, sans autre précision	Au début les chasseurs participaient à titre volontaire, après 6 mois le programme a embauché 7-10 personnes à temps partiel dans chaque communauté	Les observateurs communautaires analysent les données mensuellement et résument les données tous les 6-12 mois. Des réunions communautaires sont tenues pour présenter les résultats et évoquer les interventions possibles	Les auteurs de l'étude ont eu recours aux données pour extrapoler à partir du nombre de chasseurs participant le nombre total de chasseurs dans le parc	Environ 50.000 \$ par an pour les salaires, les frais de fournitures et de transports 0,015 \$/ha/an)	

Mukama et al., 2012	Trois villages au sein de « Angai Villages Land Forest Reserve », Tanzanie	La personne participant à la cartographie de la forêt marche le long de transects dans la forêt pour stratifier la forêt en types de végétation, établir des parcelles d'échantillonnage permanentes pour mesurer la biomasse des arbres dans le temps	Huit villageois furent sélectionnés dans chaque communauté	Évaluation participative rurale pour cartographier la superficie de la forêt, discussions de groupes pour estimer la volonté des communautés à participer	Équipement pour l'inventaire des forêts incluant, rubans forestiers, mètres rubans, compas, relascopes, GPS, hypsomètres, ainsi que des bottes en caoutchouc, moyen de transport	Les méthodes d'évaluation participative rurale et de groupes de discussion ont servi à présenter les concepts et les objectifs de la recherche, et d'estimer l'intérêt. La formation sur l'utilisation d'un GPS, l'établissement de parcelles échantillons, permanentes, les méthodes d'inventaires, l'utilisation de l'équipement	Environ 4 \$/jour (ce montant n'était pas jugé suffisant pour couvrir les coûts d'opportunité des participants - les membres de la communauté ont proposé environ 15 \$/jour pour les travaux futurs)	Les calculs du volume et de la biomasse des arbres dérivés ou généralisés à partir des équations allométriques locales, complétées par les auteurs de l'étude	Pas précisé	0,56 \$- 0,84 \$/ha/événement de surveillance	Les défis comprenaient l'utilisation du GPS pour marquer les limites des strates de végétation, les exigences du calcul de la taille des échantillons et la détermination des emplacements de transects et parcelles échantillons permanentes. Certaines de ces difficultés pourraient être dues au temps de formation relativement court qui avait été prévu Une mise en œuvre réussie dépendra de la collaboration entre les communautés locales et les organisations pour l'analyse des données de SIG et de données de carbone
---------------------	--	--	--	---	--	---	---	---	-------------	---	--

Hartanto et al., 2002	Coopérative multifonctions de San Rafael Tanabag et Concepcion, Philippines	Les informations sur les critères sociaux et environnementaux, incluant la qualité de l'éducation, les sources de revenus, ont renforcé les organisations et la gestion des côtes et de la forêt	Cadre de surveillance élaboré pendant trois ateliers et discussions avec une organisation populaire locale, des représentants du conseil du village et des autorités du ministère de l'Environnement et des ressources naturelles. L'organisation populaire locale a mené la surveillance	Indicateurs créés pour chaque critère, par exemple nombre d'élèves à l'école par le biais des bulletins scolaires, revenus mensuels par des sondages, rapports financiers grâce aux registres de l'organisation et le nombre d'arbres par les notifications de données	Pas spécifié - variait par type de collecte de données	Les participants ont contribué à la mise au point de critères et d'indicateurs, donc la sensibilisation est élevée et les méthodes s'alignent sur les capacités existantes	Pas précisé	Les résultats de surveillance divulgués lors de réunions mensuelles, des bulletins trimestriels et des tableaux d'affichage communautaires. Plus de formation nécessaire pour évaluer le succès en matière de gestion	Pas précisé - l'objectif primaire est de retourner les données aux communautés locales, donc l'agrégation n'est pas une priorité	Pas précisé	La vaste gamme de données d'indicateurs requises met en valeur les besoins d'un éventail de compétences très variées pour la collecte de données
-----------------------	---	--	---	--	--	--	-------------	---	--	-------------	--

Stuart-Hill 2005	30 conservations communautaires dans six parcs nationaux, Namibie	Élaboration de protocoles pour surveiller 21 thèmes, incluant par exemple, la pluviométrie, les cas d'incendie, le braconnage, les mortalités de la faune, l'abondance des poissons ou des prédateurs, etc., en fonction des priorités des communautés	Personnel de terrain (membres des conservations)	Les communautés participantes ont décidé quels indicateurs surveiller (par le biais d'ateliers communautaires), des normes pour surveiller 21 thèmes standard ont été créées et des trousseaux d'outils pour la collecte, la notification de données et l'analyse des tendances au long terme sont mises à la disposition des communautés locales	Tous les formulaires sont sur papier, et photocopiés pour être archivés dans une boîte de classement	Formation fournie pour la collecte et la notification des données	Pas précisé	Toutes la compilation et l'analyse des données sont menées par les communautés locales. Chaque année les totaux sont transférés sur un formulaire pour évaluer les tendances au long terme. Les gardes des communautés collectent les données, les rapportent aux superviseurs des ressources naturelles, qui en fait part ensuite au gérant ou au président élu	Chaque année les données de chaque communauté sont copiées dans une base de données nationale de surveillance et d'évaluation appartenant au ministère de l'Environnement et du tourisme, et servent au processus décisionnel stratégique pour, par exemple, l'établissement de quotas, l'attribution de soutien technique, ou la surveillance de la conformité	Pas précisé	Beaucoup de temps s'écoulait habituellement avant que les résultats des analyses de données soient retournés aux communautés, et les courbes et les tableaux n'étaient pas assez intuitifs pour être compris par les membres des communautés
------------------	---	--	--	---	--	---	-------------	--	---	-------------	--

Lorsque la surveillance est menée dans le cadre des priorités locales, elle peut ne pas être exhaustive ; lorsque la société juge qu'il vaut la peine de surveiller d'autres indicateurs, des mesures incitatives adéquates doivent être mises en place

7.3 SURVEILLANCE ET SYSTEMES D'ALERTE EN TEMPS QUASI REEL

Auteur : *John Musinsky*

7.3.1 Introduction

La surveillance des forêts en temps quasi réel (NRT) concerne le suivi des menaces pour les forêts ou des perturbations au sein de celles-ci afin de réduire l'intervalle de temps entre les observations de surveillance et la dissémination d'informations critiques nécessaires pour la réponse, l'intervention et la réduction des impacts des menaces détectées. En permettant une réponse rapide à la déforestation, à la dégradation, aux incendies de forêt, et à d'autres phénomènes potentiels en cours, la surveillance NRT des forêts peut renforcer l'application de la loi et la gouvernance aux niveaux locaux. Les alertes NRT facilitent la divulgation des informations sous une forme simplifiée personnalisée pour les utilisateurs, qui peut contribuer à éliminer les goulots d'étranglement dans les communications. Ces modes de surveillance augmentent la transparence et peuvent décourager de futures activités qui contribuent à la perte ou à la dégradation des forêts. La surveillance NRT des forêts et la diffusion d'alertes, combinées à la surveillance communautaire, favorisent une gestion efficace des forêts tout en garantissant que les coutumes et les droits locaux sont respectés. Les technologies satellitaires et mobiles sont aussi en constante évolution, offrant de nouveaux moyens d'employer des flux multiples de données de surveillance des forêts NRT pour étayer les décisions et leur utilisation dans les systèmes de Mesure, notification et vérification (MNV).

La surveillance NRT n'est pas une exigence pour la notification nationale des gaz à effet de serre (GES), ni pour un système national MNV, même si d'importants avantages découlent de l'application du NRT dans le cadre de la MNV, et que nombre de pays envisagent à l'heure actuelle d'inclure la surveillance NRT dans l'élaboration de leurs Systèmes de surveillance nationale des forêts (NFMS). La surveillance NRT ne doit pas faire partie de l'analyse de données qui produit des estimations quantitatives des émissions GES ; elle représente plutôt une composante de surveillance supplémentaire qui permet une mise en vigueur des lois et une gouvernance plus efficaces, ainsi qu'une adaptation plus rapide des stratégies de la REDD+ aux situations en évolution. Par ailleurs, la surveillance NRT pourrait être liée à la surveillance et à la gestion communautaires, où les communautés locales pourraient recevoir des informations NRT, ou contribuer à la surveillance NRT par le biais d'une analyse ou d'une confirmation. Nombre de pays pourraient bénéficier des possibilités que présente la surveillance NRT dans le cadre des stratégies de gestion et de surveillance des forêts. Cette section récapitule les caractéristiques de la surveillance NRT, et décrit certaines des applications NRT les plus évoluées, basées sur les satellites, ainsi que des études de cas.

7.3.2 Contexte

La surveillance et les systèmes d'alerte NRT basés sur la télédétection font partie des outils les plus sous-exploités dans le cadre de la gestion et la protection des ressources forestières. Une variété de ressources consistant en images satellitaires mises à la disposition du public existe et peut être adaptée à l'analyse et à la notification NRT, servant de plateforme pour la surveillance NRT des ressources forestières. La surveillance NRT des forêts vient en complément de l'analyse périodique (annuelle ou décennale) basée sur la télédétection de l'étendue et des changements de la forêt, menée dans le cadre de la MNV. Elle apporte un outil efficace de mise en œuvre et de gestion adaptive pour réagir immédiatement aux menaces pour les forêts, garantissant la meilleure protection possible du carbone forestier.

Outre les nombreux avantages liés à la REDD+, la surveillance NRT des forêts peut engendrer de multiples avantages indirects du fait de sa réaction rapide. L'accès public aux informations NRT sur l'existence et le taux d'expansion d'une activité de déforestation ou de dégradation des forêts augmente la transparence sur la performance des institutions chargées de contrôler cette activité, renforçant donc la pression du public en faveur d'une meilleure gouvernance et de réformes. Le fait de savoir que l'exploitation illégale du bois peut être suivie en temps quasi réel peut décourager l'activité illégale à l'avenir, lorsque leurs auteurs réalisent que les pratiques qu'ils considéraient difficiles à tracer peuvent, en fait, être surveillées et mises en échec. Les alertes NRT fréquentes qui suivent et facilitent une notification réelle des schémas de nouvelles activités de déforestation, défrichement, feux et exploitation de bois d'œuvre au cours de l'année aident les institutions à concevoir des plans de gestion qui s'adaptent à la variabilité d'une année sur l'autre reflétée par les schémas spatiaux et temporels d'incendies associés à la déforestation et à l'exploitation illégale du bois d'œuvre. Enfin, la surveillance NRT des forêts permet d'aborder les questions des chaînes de valeur des produits de base durables en fournissant des informations en temps utile, mettant en évidence les risques associés aux chaînes d'approvisionnement des récoltes commerciales comme l'huile de palme.

7.3.3 Technologies satellitaires en temps quasi réel actuelles pour la surveillance des forêts

De nombreuses technologies satellitaires actuelles et prévues sont particulièrement adaptées à la fourniture d'informations NRT en raison de leurs caractéristiques spatiales et temporelles. Les données de télédétection optique conviennent généralement mieux à la surveillance NRT parce que : i) des analystes ayant reçu une formation modérée peuvent détecter et interpréter les variations et de la structure des étendues de forêts à partir de données optiques ; ii) les images individuelles de la couverture par les instruments optiques sont généralement plus grandes et sont produites à des intervalles de visite plus courts, résultant en images plus régulières et fréquentes ; iii) les archives d'images sont plus complètes d'un point de vue spatial et temporel et ; iv) les données optiques sont souvent moins coûteuses.

La plupart de l'imagerie satellitaire utilisée pour la surveillance des forêts dans les tropiques est acquise par des capteurs montés sur satellites à trajectoire polaire comme Landsat, CBERS, Terra et Aqua, parmi lesquels, les deux derniers transportent l'instrument MODIS comme charge utile. Et, même si les satellites à trajectoire polaire (en orbite à une altitude inférieure à 1000 km) fournissent une méthode rentable de recueillir une imagerie de toute la planète, un inconvénient de ces satellites pour la surveillance NRT concerne les lacunes temporelles dans l'enregistrement des données. C'est surtout le cas pour les instruments tels que Landsat, CBERS, etc., dont les résolutions spatiales sont plus élevées, mais les résolutions temporelles plus faibles. Une source de substitution de données NRT par télédétection comprend les satellites géostationnaires (satellites qui restent stationnaires de façon continue au-dessus du même point au sol pendant que la terre tourne, procurant des observations ininterrompues au sol). Pour autant, afin de se maintenir en orbites géosynchrones, la plupart des satellites géostationnaires sont situés à une altitude d'environ 35.000km, produisant une résolution de pixel grossière qui limite leur utilité pour surveiller des perturbations de forêt sur une petite échelle, comme la déforestation ou la dégradation par débroussaillement et brûlis. Les données provenant de satellites géostationnaires sont néanmoins utiles pour la détection NRT d'incendies en raison de la sensibilité thermique des capteurs, et certains futurs satellites géostationnaires (par ex., GOES-R, FY-4) avec des bandes de 1 km dans le visible et proche infrarouge peuvent mieux convenir pour une surveillance NRT de l'activité forestière à échelle modérée.

Les données RADAR et LiDAR ont des caractéristiques uniques qui peuvent aussi les rendre utiles pour la surveillance NRT dans certaines circonstances ; elles incluent la capacité d'un instrument RADAR à voir à travers les nuages – un avantage majeur dans les régions couvertes en permanence par les nuages – et les informations que ces deux instruments apportent sur la structure de la forêt, ce qui peut être

pratique dans le cadre de la surveillance des légers changements résultant de la dégradation des forêts. Cependant, les défis techniques inhérents au traitement et à l'interprétation des données RADAR, le manque d'acquisition fréquente ou de couverture spatiale complète des données LiDAR, et le coût élevé de ces deux instruments RADAR et LiDAR signifient que, pour l'heure, ce ne sont pas des sources de données NRT efficaces.

7.3.4 Aspects techniques à envisager pour les systèmes de surveillance NRT

Une surveillance NRT performante dépend des conditions suivantes : i) un accès à des données fréquentes ou continues sans contamination/nuage pour l'interprétation automatique comme manuelle ; ii) des données ayant une résolution spatiale suffisante pour permettre la détection directe d'une activité de perturbation de la forêt en cours (par ex., les incendies), ou la détection indirecte à la suite d'une activité de perturbation ayant altéré la structure physique de la forêt ou causé une perte de biomasse ; iii) un intervalle de temps moindre entre la perturbation et la détection résultante pour pouvoir prendre des mesures efficaces ; et iv) si la surveillance fait partie d'une réponse ou d'opérations d'ordre public sur le terrain, une précision géographique telle qui permet au personnel sur le terrain de se déplacer vers l'emplacement de la perturbation. Dans le cadre de ce processus, les données de surveillance NRT peuvent être validées en ayant recours à des données de terrain pour déterminer leur exactitude. Chaque condition est abordée en détail ci-dessous.

Données dénuées de nuages

La contamination provenant des nuages représente l'un des plus grands défis de l'utilisation de l'imagerie satellitaire optique pour la surveillance NRT des forêts. Pour compenser la contamination excessive par les nuages ou les lacunes temporelles dans les enregistrements des données satellitaires à haute résolution, il est possible d'avoir recours à d'autres méthodes d'acquisition de données et de stratégies de traitement des données. Par exemple, une coanalyse des données peut se faire à partir de multiples sources de données (comme Landsat avec ASTER, CBERS ou SPOT) sur les mêmes régions géographiques et les mêmes intervalles de temps. Cependant, lorsque l'on a recours à la coanalyse de multiples sources de données avec des résolutions spatiales différentes, certaines activités à petite échelle peuvent être détectées à une résolution plus haute, mais pas à une résolution plus faible. Si, par exemple, des données acquises récemment à haute résolution sont coanalysées avec des données plus anciennes à résolution plus basse, des détections positives fausses peuvent résulter de ce qui semble être une nouvelle activité, alors qu'en fait c'est une perturbation ancienne.

Résolution spatiale

La résolution spatiale des données satellitaires doit correspondre à l'échelle de l'utilisation des terres ou de l'activité d'extraction de ressource contribuant à la déforestation ou à la dégradation. Généralement, de multiples pixels de données optiques sont requis afin de délimiter correctement les caractéristiques sur le terrain. Par exemple, des activités à très petite échelle requièrent des données satellitaires à haute résolution comme RapidEye (6,5 m), SPOT-5 (5-10 m), SPOT-6 (1,5-6 m), IKONOS (1-4 m), Quickbird (0,7-2,4 m) ou GeoEye-1 (0,5-1,65 m). Read (2003) et Read et al. (2003) ont utilisé l'interprétation visuelle de données IKONOS panchromatiques de 1 m et multispectrales de 4 m, et ont aussi fusionné des produits basés sur ces données, pour identifier des activités associées à l'Exploitation forestière à faible impact (RIL), à Amazonas, Brésil. Ces activités incluaient la construction de routes et l'abattage d'arbres. L'imagerie à moyenne échelle, telle que l'imagerie Landsat spatialement optimisée d'une résolution de 15 m peut aussi s'avérer utile pour détecter des activités forestières d'échelle moyenne, comme l'agriculture itinérante sur une superficie de l'ordre de 0,25-0,50 ha. Les images Landsat de 30 m, c.-à-d. de résolution native, peuvent servir à classer des trouées dues à la déforestation de 0,75 hectares et plus grandes.

La relation entre la taille des pixels et un phénomène observé est un peu différente dans le cas de la détection d'incendies actifs. Les canaux thermiques sur nombre de plateformes satellitaires observant la terre sont conçus pour détecter correctement les grandes quantités de rayonnement thermique (chaleur) émis par les feux au sol. Ces bandes thermiques ont des pixels qui couvrent des zones beaucoup plus larges que les feux qu'elles peuvent détecter. Par exemple, des études de terrain menées dans divers environnements et dans différentes conditions de visualisation ont indiqué que les bandes thermiques d'une résolution de 1 km sur MODIS pouvaient détecter convenablement des feux ouverts au sol couvrant une zone de 100 m² seulement si leur température est suffisamment élevée et dans le cas où les conditions d'observation sont bonnes (Giglio et al., 2003).

Latence

Pour intervenir sur le terrain en cas d'activité indésirable ou illégale menée dans la forêt, notamment en déployant des responsables chargés de faire respecter les lois environnementales ou en coordonnant la présence du personnel de surveillance communautaire, les données satellitaires utilisées pour détecter les activités forestières doivent être acquises, interprétées et présentées dans un délai minimum. La latence se rapporte au décalage entre l'observation satellitaire et la livraison du produit aux utilisateurs. L'Initiative de traitement en temps quasi réel (NRTPE) de la NASA (Agence nationale des États-Unis pour l'aéronautique et l'espace) pour les produits issus du Système d'observation de la terre (EOS) utilise des données dotées de latences très courtes, de l'ordre de deux à trois heures pour les données MODIS (O'Neal, 2005). Les images Landsat 8 sont téléchargeables dans les 12 heures suivant leur acquisition, tandis que le traitement de Landsat 7 met en moyenne 1-3 jours pour distribuer l'image après son acquisition. Les scènes captées par ASTER ne sont disponibles pour l'utilisateur que 7 à 10 jours après l'acquisition. Outre la latence des données satellitaires, il existe souvent un décalage de temps entre l'activité forestière réelle et le moment où le satellite observe la perturbation. Bien que cet écart de temps soit en théorie faible – par exemple un maximum de quatre heures si l'on a recours aux données MODIS pour surveiller des incendies, ou jusqu'à 21 jours avec Landsat pour surveiller la déforestation – dans la pratique, le décalage peut être substantiellement plus long s'il y a une couverture nuageuse et que des images satellitaires supplémentaires sont requises avant de produire des images dénuées de nuages. Enfin, un intervalle de temps existe pendant la phase d'analyse de l'image et lors de la distribution des données aux utilisateurs finaux. Ce décalage peut être très court si l'on emploie des systèmes de traitement analytique automatiques, ou considérablement plus long si l'analyse est faite manuellement (soit par le biais de classifications assistées par ordinateur ou de numérisation manuelle). La somme de toutes ces sources de retard est la latence fonctionnelle du système de surveillance NRT.

Outre la résolution spatiale, la latence est l'un des facteurs qui déterminera la performance du système. Tel que mentionné ci-dessus, il existe un compromis entre la résolution spatiale et la résolution temporelle : plus la résolution spatiale est haute, plus la résolution temporelle est faible ; plus la résolution temporelle est faible, plus les intervalles entre les acquisitions répétées de données seront grands ; plus les intervalles d'acquisition sont longs, plus la latence est grande et moins le système sera efficace dans le cadre d'une réponse rapide. La latence est surtout importante lorsque l'on suit la dégradation de la forêt puisque le signal spectral peut rapidement disparaître en raison de la croissance de la végétation. Néanmoins, un système peut être utile pour guider les activités de gestion adaptative même si la latence est élevée.

Précision et validation

L'imagerie satellitaire à haute résolution comme l'imagerie Landsat est normalement prétraitée par les fournisseurs de données satellitaires à une erreur quadratique moyenne (RMS) inférieure à 50 m, et les emplacements géographiques de l'activité forestière détectée avec ces données sont suffisamment précis pour que le personnel de terrain muni d'un GPS de qualité grand public puisse suivre et localiser l'activité d'après les endroits extraits de l'imagerie. Par contraste, les emplacements géographiques des

détections d'incendies actifs sont déterminées par le point central d'un pixel du canal thermique de 1 km². Le site réel de l'incendie détecté par MODIS peut être localisé jusqu'à 500 m à partir du point central du pixel, ce qui complique l'accès à l'incendie signalé.

L'exactitude de beaucoup de produits de surveillance des forêts NRT manque souvent de validation systématique. Ceci provient en partie de la nature des informations en temps quasi réel où la préoccupation principale est d'accélérer la livraison des données. Pour autant, l'exactitude est un facteur critique pour instaurer et conforter la confiance des utilisateurs dans les produits NRT ; si les données sont douteuses, elles peuvent avoir des incidences négatives sur l'institution du fournisseur de ces données et, de manière plus générale, rendre les gens plus réticents à avoir recours aux données NRT comme source d'informations dans le cadre du processus décisionnel. Dans certains cas, des gouvernements ont refusé d'utiliser des données issues des systèmes de surveillance des forêts NRT qui n'avaient pas été officiellement testés ou désignés comme fournisseurs de données agréés.

Étant donnée la prévalence de la technologie des téléphones mobiles GPS et le partage des données par le biais de blogs et des réseaux sociaux, il existe désormais de nombreux moyens pour les utilisateurs de collecter des observations sur le terrain (par ex., les photos avec des coordonnées GPS) et de fournir un feedback pour la validation des données de surveillance des forêts NRT. Certains systèmes de surveillance des forêts NRT existants sont configurés pour capter ces informations par des applications de smart phone et des blogs. La mise au point de mesures pour protéger la vie privée et de contrôles pour la vérification des données est une part essentielle de ce processus, à la fois pour garantir la sécurité des personnes soumettant les informations (par ex., le signalement d'une activité forestière illicite) de même que l'exactitude des données de terrain.

7.3.5 Exemples de systèmes de surveillance des forêts NRT actuels

La surveillance NRT avec les données satellitaires d'observation de la terre peut contribuer à relever nombre de défis associés à la réduction des activités forestières illicites ou indésirables et à leurs impacts, tout en renforçant les activités appuyant les décisions visant la prévention, la préparation et la réponse à la déforestation, au défrichement et aux incendies dans le cadre de la REDD+. La surveillance NRT joue un rôle critique en alertant les administrateurs des parcs, les gestionnaires de forêt basés sur le terrain, les patrouilles, les ONG et les communautés locales des feux sauvages, et améliore la capacité des gouvernements nationaux et infranationaux à répondre aux menaces de manière stratégique. Les prévisions des risques d'incendie sont importantes pour faciliter la préparation poussée visant à prévenir, réduire et gérer la déforestation liée aux feux sauvages incontrôlables. La surveillance de la déforestation, du défrichement, de l'incidence des feux et du risque d'incendie fournit un résumé des données et des tendances critiques pour permettre de guider les décisions en matière de politique, de planification et de gestion des terres. Plusieurs systèmes de surveillance NRT sont décrits ci-dessous.

Systèmes d'alerte d'incendies de CI / de risque d'incendie / d'alerte de déforestation et de défrichement

Un partenariat entre Conservation International (CI), l'*University of Maryland* (UMD) et les institutions de pays hôtes ont permis l'élaboration d'une série d'applications pour la surveillance NRT et la prévision des incendies et de la déforestation qui distribuent des observations satellitaires directement aux utilisateurs internationaux chargés des activités décisionnelles et des actions liées aux feux sauvages. Ces applications incluent : le Système d'alerte d'incendies (FAS), le Système de risque d'incendie et le Système d'alerte de déforestation et de défrichement. Fonctionnel entre 2003 et 2013, le FAS était un système d'alerte adaptable basé sur les données MODIS d'incendies actifs, générées par la NASA, qui procurait à ses abonnés un éventail de produits adaptés à leurs besoins (Figure 7.3). Le Système de risque d'incendie était un modèle d'évaluation de risque quotidien automatisé qui estimait les

fluctuations d'humidité dans les combustibles des litières sur le sol des forêts avec des informations quotidiennes de MODIS et d'autres satellites météorologiques. Le Système d'alerte de déforestation et de défrichement était un système d'alerte NRT fondé sur l'analyse rapide de l'imagerie Landsat et ASTER. En 2014, ces systèmes furent intégrés au nouveau système unique de surveillance, de prévision et d'alerte, Firecast⁵⁴, décrit ci-dessous.

Avec plus de 1.300 abonnés issus de 45 pays, les utilisateurs de ces systèmes de surveillance ont mis au point des applications critiques pour les données et les alertes NRT en matière de mise en vigueur des lois forestières, de gestion des aires protégées, de projets de carbone forestier de la REDD+, d'éducation communautaire et d'élaboration de politiques concernant la conservation et le développement durable, parmi d'autres (NASA 2010, Musinsky et al. 2013).

Le FAS fut lancé en 2002, délivrant des alertes par courriels en ayant recours aux observations de MODIS sur les incendies actifs provenant de Web Fire Mapper de l'UMD superposées sur toutes les aires protégées au Brésil, en Bolivie, à Madagascar, en Namibie, au Paraguay, en Afrique du Sud et en Tanzanie. En 2007, une version automatisée du FAS pour Madagascar commença à envoyer des données en temps réel générées par MODIS RapidFire au personnel sur le terrain et aux agences gouvernementales chargées de la gestion des aires naturelles, de la suppression des feux et de la conversion des forêts. Depuis lors, le FAS s'est étendu pour inclure la Bolivie, le Pérou et les îles indonésiennes de Sumatra et Kalimantan. Il était également assorti d'un accès public aux alertes d'activité illicite soupçonnée, produites pour les parcs en Indonésie, et incluait aux courriels, en pièces jointes, des images personnalisées, des fichiers textes, des fichiers (shapefiles) SIG et des fichiers GoogleEarth KML sur les incendies ayant lieu dans des zones concernées définies par les utilisateurs, avec accès en ligne aux rapports et aux cartes.

⁵⁴ <http://firecast.conservation.org>

FIGURE 7.3 : UNE PAGE D'ABONNEMENT ET DE GESTION PAR L'UTILISATEUR POUR UN SYSTEME D'ALERTE D'INCENDIES (PHOTO DU HAUT) ET UN ECHANTILLON D'ALERTE PAR COURRIEL ET PIECE JOINTE EN FORMAT JPG SIGNALANT UNE ACTIVITE D'INCENDIE DANS UNE ZONE D'INTERET PRECISEE PAR L'UTILISATEUR (PHOTO DU BAS).

The top image shows the 'Edit Areas of Interest Subscription' page of the Fire Alert System. It includes fields for 'Fire Monitoring Location' (set to Madagascar), 'Area of Interest' (set to Protected Areas), and a dropdown menu for 'Protected Areas' containing options like Ambato Atsinanana (Sainte Luce), Ambatofinrongorongoro, and Ambatovaly. Below these are sections for 'Second Area of Interest' (set to Royal Botanic Gardens, KEW Vegetation Type) and 'Type' (set to Degraded south western dry spiny forest). A note indicates 'Select all or up to 10'. The 'Subscription Reference Name' field is set to 'Madagascar - All PA's by different forest types'.

The bottom image shows an email message titled 'Alerta de Incendios para Perú - All Departments - 2011/06/10 - Mensaje #11941'. The email is sent from firealert@conservation.org to John Hamdy. The subject is 'Alerta de Incendios para Perú - All Departamento - 2011/06/10'. The attachment is '2011_06_10_mngph000.jpg (649 KB)'. The email body contains a table of fires in Peru and four satellite maps of forest areas in Peru with fire alerts marked.

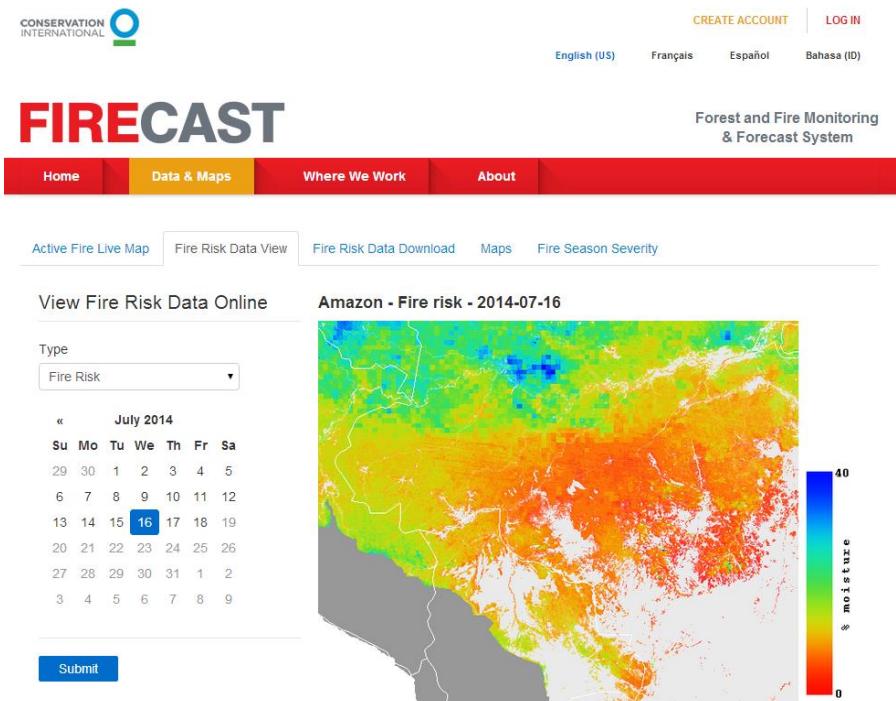
Nombre del Área	Líatitude	Longitud	Fecha	Hora	Sat.
CUSCO	-12.448	-73.873	2011/06/10	1820	A
CUSCO	-12.458	-73.871	2011/06/10	1820	A
CUSCO	-12.454	-73.866	2011/06/10	1820	A
CUSCO	-13.880	-71.991	2011/06/10	1820	A
HUÁNUCO	-9.701	-76.122	2011/06/10	1820	A
JUNIN	-11.268	-75.169	2011/06/10	1530	T
JUNIN	-11.426	-74.453	2011/06/10	1820	A
LORETO	-7.299	-75.092	2011/06/10	1530	T
LORETO	-7.912	-74.774	2011/06/10	1825	A
LORETO	-5.951	-74.533	2011/06/10	1825	A
LORETO	-6.094	-76.259	2011/06/10	1825	A
LORETO	-5.848	-74.604	2011/06/10	1825	A
LORETO	-5.902	-76.112	2011/06/10	1825	A
LORETO	-8.029	-74.888	2011/06/10	1825	A
SAN MARTIN	-7.778	-76.788	2011/06/10	1825	A
UCAYALI	-9.524	-74.203	2011/06/10	1530	T

Le Système de risque d'incendie est une application en ligne utilisant la bioclimatologie satellitaire pour modéliser l'inflammabilité des forêts (Steininger et al., 2013). Le modèle est basé sur la relation entre la teneur en humidité et l'inflammabilité des combustibles sur le sol des forêts (c.-à-d., litière et débris ligneux), et l'humidité des combustibles fluctue avec les événements pluviaux, la température et l'humidité. Les modèles partent de l'hypothèse que les combustibles sont inflammables aux teneurs en humidité de 20 pour cent ou moins, d'après des décennies d'expériences sur le terrain de l'US Forest Service (Service forestier des États-Unis) qui décrivent quantitativement la relation entre l'humidité des

combustibles et le risque d'inflammabilité. Le Système de risque d'incendie a recours à des estimations satellitaires NRT comme données des équations du Système d'évaluation des dangers d'incendie de l'US Forest Service pour l'estimation de la teneur en humidité des combustibles. Les cartes quotidiennes rendant compte de l'inflammabilité des forêts à une résolution de 5 km sont générées en fonction de la teneur en humidité du jour précédent et des conditions climatiques de l'air du jour actuel, et sont distribuées par le biais de FireCast (Figure 7.4).

Les observations satellitaires utilisées dans ce modèle représentent la durée des précipitations provenant de TRMM 3B42RT, la température de l'air près de la surface et l'humidité relative des Profils atmosphériques de MODIS MOD07L2. Le modèle est exécuté toutes les nuits et, à partir des données MODIS et TRMM, produit des cartes des risques d'incendie, de la somme des précipitations journalières, du nombre de jours depuis la dernière précipitation et l'Indice de sécheresse Keetch-Byram couramment utilisé. Les sorties du modèle sont actuellement utilisées par la *Fundación Amigos de la Naturaleza* (Fondation des amis de la nature) en Bolivie, et par le ministère des forêts bolivien pour les communications au niveau des districts et des communautés.

FIGURE 7.4 : EXEMPLE DES SORTIES DU MODELE DE L'INFLAMMABILITE DES FORETS UTILISE DANS UN SYSTEME D'ALERTE.



Les schémas spatiaux de la teneur en humidité pour les combustibles épais, un indicateur utile de risque d'incendie. Les données sont pour le 16 juillet 2014. Les zones variant de jaune à rouge indiquent des valeurs d'humidité de 20 % ou moins, signalant une inflammabilité accrue. La couleur gris clair désigne une région non-forêt (N), gris moyen représente la forêt (F) au-dessus de 500 m ASL (au-dessus du niveau de la mer), et les aires en gris foncé représentent l'eau (W)⁵⁵. Le Système d'alerte de déforestation et de défrichement a utilisé la même méthode que celle du FAST : envoi d'observations NRT d'activité forestière illégale soupçonnée à diverses

⁵⁵ Tiré de Steininger et al. (2013), <http://firecast.conervation.org/>

parties prenantes du pays qui utilisent les informations pour une réponse rapide. Les archives satellitaires Landsat et ASTER ont été évaluées en continu, et au fur et à mesure que de nouvelles données devenaient disponibles les images étaient téléchargées et analysées afin d'obtenir des preuves du défrichement qui se produisait à l'intérieur de 2,8 millions d'hectares d'aires protégées et de sites REDD+ en Indonésie et à Madagascar. Les alertes de déforestation et de défrichement (Figure 7.1) complétaient les alertes d'incendie ; même si les données à haute résolution de Landsat et ASTER sont caractérisées par une latence bien plus grande que l'imagerie MODIS, elles permettent de délimiter les zones déboisées où une activité d'incendie a été détectée par MODIS. Les rapports émis par des homologues sur le terrain ont confirmé que la combinaison des deux systèmes d'alerte, celui signalant les incendies et celui signalant le défrichement, ont permis et guidé nombre de campagnes d'ordre public, conduisant à des arrestations et à la prévention d'activités forestières illicites dans les parcs nationaux.

Un nouveau système intégré de surveillance et de prévision des incendies et des forêts pour une gestion améliorée des forêts dans les tropiques, basé sur la série précédente de systèmes de surveillance NRT, appelé FIRECAST, est actuellement en cours de développement collaboratif par CI, les centres Ames et Goddard de l'Agence nationale des États-Unis pour l'aéronautique et l'espace (NASA), avec le soutien d'une subvention de Wildland Fires de la NASA. Le prototype de Firecast intègre le Système d'alerte d'incendie actuel de CI et le Système de risque d'incendie à un système plus stable et souple dans le nuage. Le modèle de risque d'incendie s'est étendu géographiquement et amélioré dans NEX de la NASA, un environnement super-informatisé, conçu pour la mise au point et l'évaluation de modèles. Une composante de la prévision de la saison des incendies créée par des chercheurs de l'*University of California, Irvine* et la NASA, qui avertit des incendies graves susceptibles de se produire des mois avant que la saison ne commence, a également été inclus dans le système (Chen et al., 2011). Des améliorations plus substantielles seront mises en œuvre au cours des années à venir, y compris : i) de nouveaux produits d'observation de la terre NRT ; ii) une fonctionnalité améliorée du système, notamment la personnalisation aux besoins de l'utilisateur ; iii) l'expansion à de nouvelles géographies et secteurs ; et iv) un espace en ligne pour le partage des données et la collaboration parmi les utilisateurs.

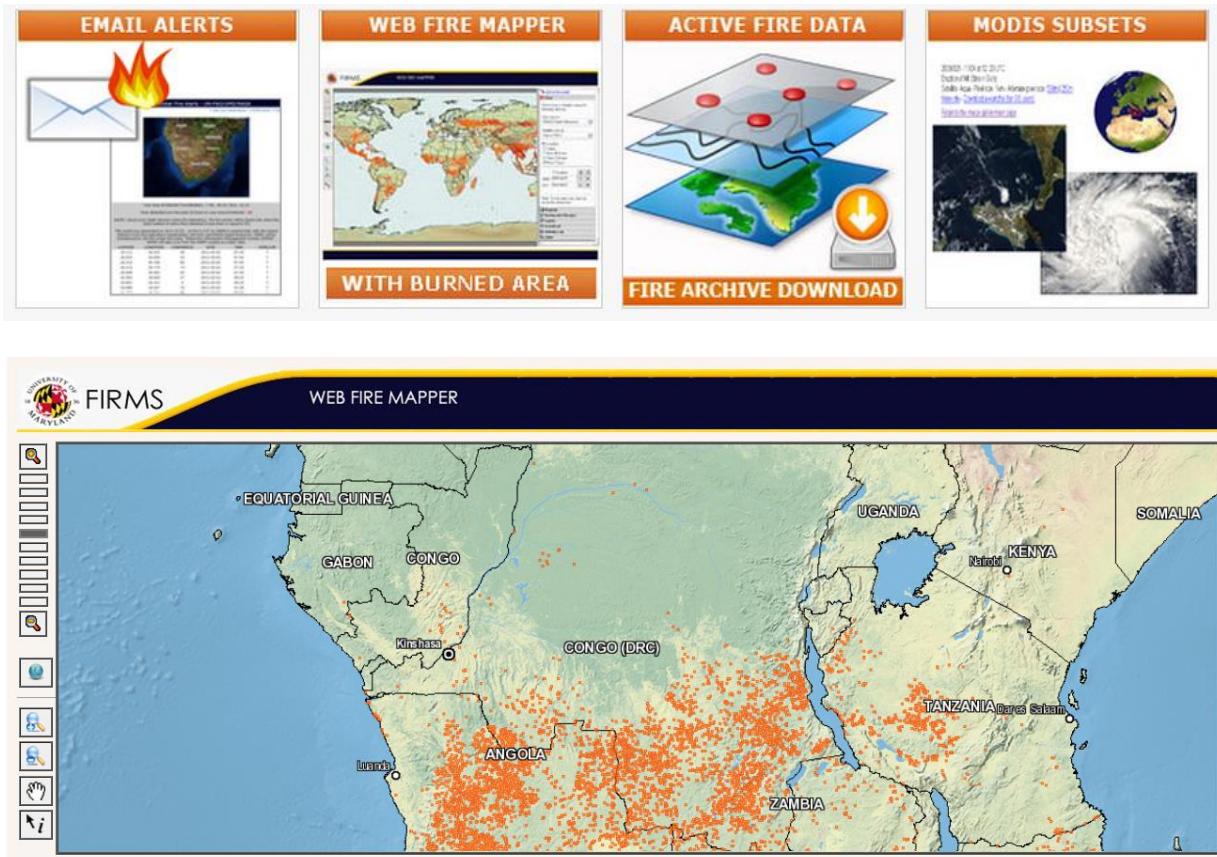
Fire Information for Resource Management System (FIRMS)

Le *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS – Information incendie pour le Système de gestion des ressources) est le système de surveillance des incendies le plus important et ayant le plus d'influence créé à ce jour. Mis au point par l'UMD en conjonction avec le Centre Goddard de la NASA, le FIRMS est désormais hébergé par NASA EOSDIS (Système de données et d'information du Système d'observation de la terre)⁵⁶. Le FIRMS comporte quatre composantes : le Web Fire Mapper, un système de cartographie interactif basé sur Internet, créé en 2001 ; des alertes courriels pour les aires protégées ; un outil de téléchargement des données qui permet aux utilisateurs de télécharger les données MODIS d'incendies actifs d'après des fourchettes de dates ; et l'accès aux sous-ensembles d'images MODIS (Figure 7.5) (Justice et al., 2011 ; Davies et al., 2009). L'application libre Web Fire Mapper permet aux utilisateurs de visualiser et de rechercher les données des feux actifs pour une fourchette de date spécifique, et de visualiser les images MODIS des secteurs brûlés pour toute la terre, mois par mois. Le FIRMS traite le Produit⁵⁷ secteurs brûlés NASA MODIS mensuel de niveau 3 en mosaïque à 500 mètres et le distribue sous forme d'images publiées à des résolutions de 8 km, 4 km ou 2 km.

⁵⁶ (<http://earthdata.nasa.gov/data/nrt-data/firms>)

⁵⁷ MOD45AI: <http://modis-fire.umd.edu>

FIGURE 7.5 : COMPOSANTES DU FIRMS (PHOTO DU HAUT) ET WEB FIRE MAPPER (PHOTO DU BAS).



La composante des alertes par courriels du FIRMS livre des informations MODIS sur les incendies actifs pour des aires protégées spécifiées ou des zones d'intérêt définies par l'utilisateur, et permet aux abonnés de choisir des alertes NRT journalières ou des résumés hebdomadaires. Les abonnés peuvent préciser une région sur laquelle recevoir des notifications en sélectionnant un rectangle sur une carte interactive, ou en sélectionnant un pays ou une aire protégée précis dans des listes déroulantes. Ils peuvent aussi désigner une zone tampon autour de l'aire protégée. Le système d'alerte prend en charge l'option d'inclure une image de carte et un fichier texte avec les coordonnées des incendies en format CSV (valeurs séparées par des virgules). L'image de la carte permet aux utilisateurs de visualiser l'emplacement exact de l'incendie, et le fichier CSV peut être saisi dans un SIG pour être analysé plus avant, ou servir pour constituer une base de données locales sur les incendies. Les données MODIS des incendies actifs sont disponibles par le biais du FIRMS sous une variété de formats de données facilement accessibles, incluant des fichiers texte CSV, des shapefiles (fichiers de formes) d'ESRI, des fichiers KML, des fichiers NASA World Wind et Web Map Service (WMS). La distribution des informations sur les incendies actifs en format vectoriel, comme ESRI Shapefile, a l'avantage de produire un petit fichier et offre l'option de rechercher des informations d'attributs.

Global Fire Information Management System (GFIMS) :

Le *Global Fire Information Management System* (GFIMS – Système mondial de gestion de l'information sur les incendies intègre la télédétection et les technologies SIG pour livrer des informations MODIS sur les emplacements des points chauds/incendies et des secteurs brûlés aux gestionnaires de ressources naturelles et autres parties prenantes dans le monde entier. Le GFIMS est hébergé par le Département

des ressources naturelles (NRD) de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et est basé sur le FIRMS⁵⁸. Le GFIMS est un complément au système d'informations NRT existant qui fournit des données et des services aux projets de surveillance et d'intervention d'urgence au siège et aux bureaux extérieurs de la FAO, à d'autres organisations de l'ONU et au grand public. Le service d'Alertes email d'incendies est le service d'alertes libre par courriel du GFIMS qui avertit les utilisateurs inscrits des incendies actifs identifiés d'après les images MODIS dans des zones d'intérêt précises, et envoie une alerte par courriel directement aux abonnés à partir d'une base de données d'informations relatives aux abonnements, entrées par les utilisateurs (profil d'utilisateur). Les informations relatives à l'abonnement des utilisateurs saisissent leur zone d'intérêt, la fréquence des alertes et les préférences de distribution de courriels. L'alerte email inclut un résumé du nombre d'incendies détectés et un tableau énumérant les incendies avec leurs attributs, en pièce jointe, sous format CSV. Les alertes journalières et hebdomadaires sont envoyées du système GFIMS, alors que les alertes NRT viennent directement de l'installation du MODIS Rapid Response (MRR) pour éviter les retards qui pourraient survenir en transmettant les données des serveurs du MRR à ceux du GFIMS.

PROARCO, DETER et PRODES

L'Institut national de recherche spatiale du Brésil (INPE) a mis au point de nombreux outils de surveillance de la déforestation et des incendies. PROARCO est le système⁵⁹ de surveillance des incendies de l'INPE. C'est un outil de cartographie basé sur Internet qui publie les détections quotidiennes d'incendies actifs provenant de MODIS, AVHRR et GOES. PROARCO est complété par le Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real na Amazônia (DETER-Système de détection de la déforestation en temps réel en Amazonie)⁶⁰. DETER met en ligne une interface de cartographie pour afficher les données antérieures et NRT sur la déforestation et les incendies. DETER envoie aussi des alertes mensuelles/bimensuelles sur la déforestation en Amazonie qui facilitent un contrôle efficace des défrichements de forêts (Figure 7.6). Les alertes DETER sont envoyées à l'Institut de l'environnement et des ressources naturelles du Brésil (IBAMA) et aux agences gouvernementales des États chargées des affaires législatives en matière de forêts.

Les données DETER sont basées sur MODIS, et des événements de déforestation couvrant une superficie supérieure à 25 hectares peuvent être détectés. La faible résolution spatiale utilisée par DETER est compensée par les observations quotidiennes qui sont représentées sous forme d'évaluations mensuelles intégrales en mosaïques de toute l'Amazonie légale. Cependant, certaines zones déboisées ne seront pas détectées en raison de la couverture nuageuse permanente et de la résolution spatiale relativement basse (un inconvénient de tous les systèmes de surveillance de la déforestation NRT basés sur MODIS). DETER est une importante source de données pour le contrôle et la mise en vigueur des lois à cause de la haute résolution temporelle des données. Les deux outils de cartographie sur Internet, DETER et PROARCO, prennent en charge le portugais, l'espagnol et l'anglais. DETER est aussi complété par une surveillance annuelle d'extraction des forêts qui a recours au « Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite » (Projet de surveillance par satellite de la déforestation en Amazonie légale) de l'INPE (PRODES)⁶¹. Le système PRODES est basé sur l'imagerie à haute résolution Landsat et CBERS capable de détecter la déforestation à petite échelle.

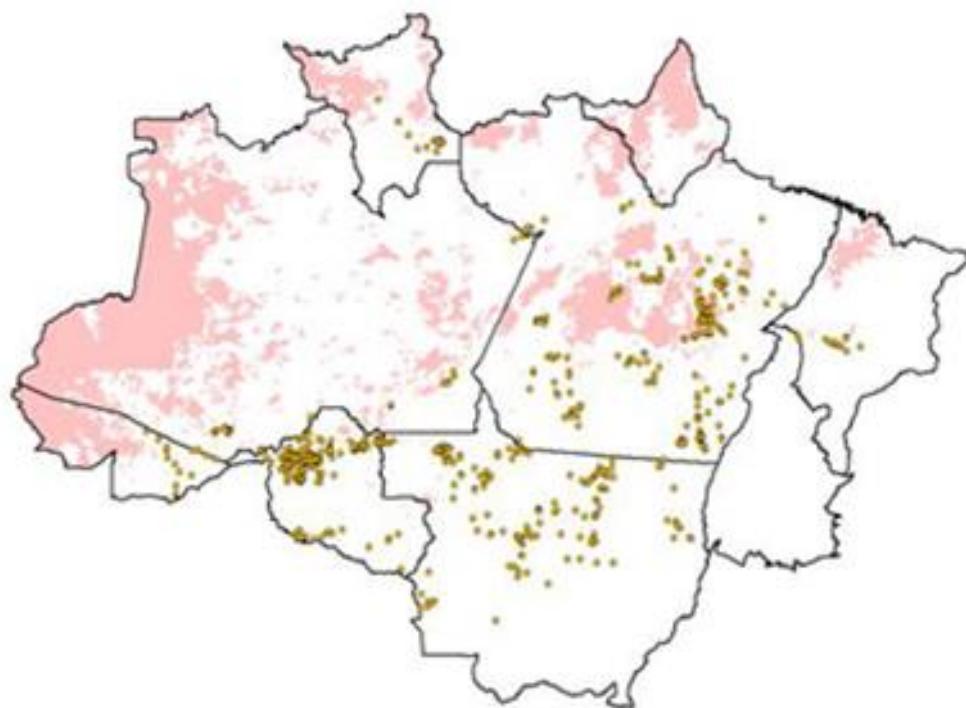
⁵⁸ <http://www.fao.org/nr/gfims/gf-home/en/>

⁵⁹ <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>

⁶⁰ <http://www.obt.inpe.br/deter/indexdeter>

⁶¹ www.obt.inpe.br/prodes

FIGURE 7.6 : LES POINTS JAUNES REPRESENTENT L'EMPLACEMENT DE LA DÉFORESTATION DANS UNE ALERTE ÉMISE PAR DETER.



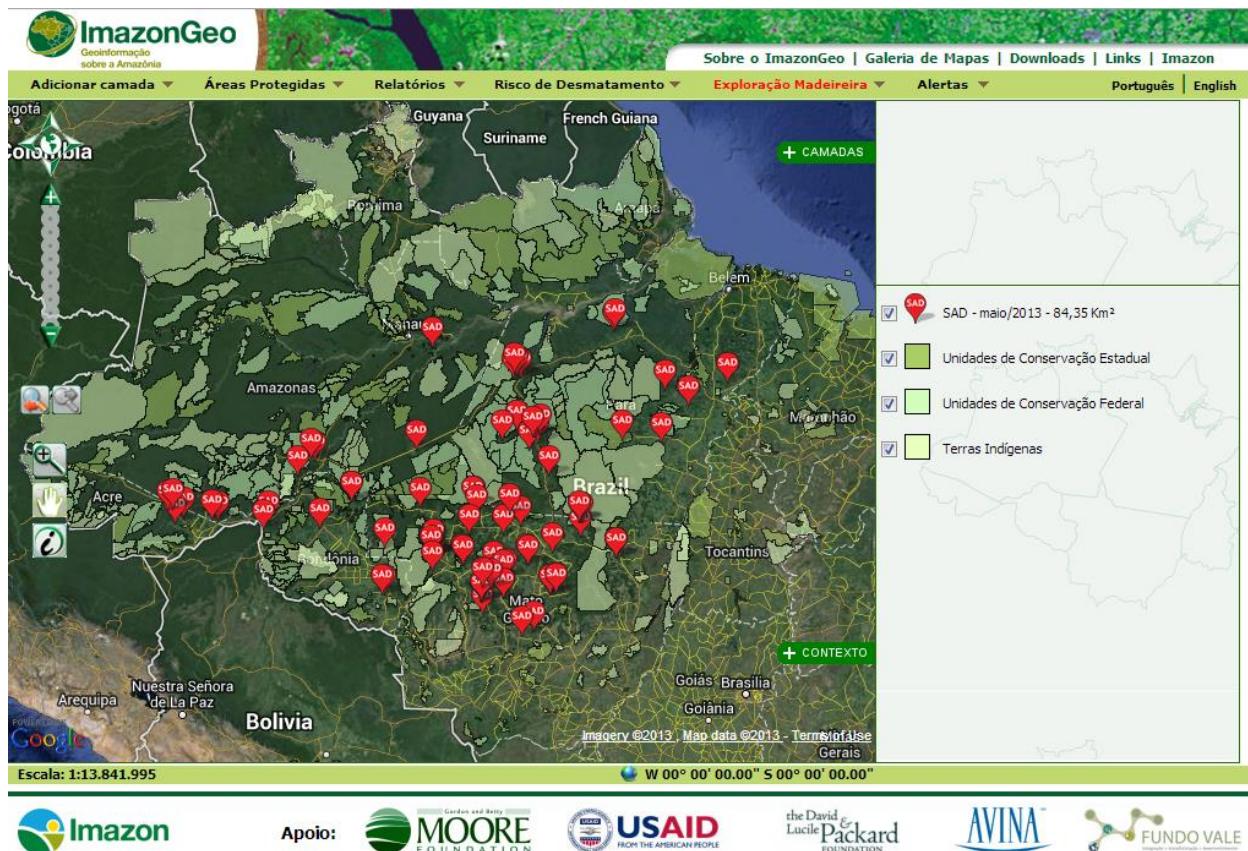
Deforestation Alert System (SAD) d'IMAZON et ImazonGeo

Le *Deforestation Alert System d'IMAZON* (SAD – Système d'alertes pour la déforestation [Sistema de Alertas de Desmatamento]) est un système de surveillance basé sur satellite exécuté par l'Institut des peuples et de l'environnement d'Amazonie (IMAZON), une organisation non gouvernementale (ONG) basée à Belém, Brésil. Le SAD produit des bulletins mensuels et annuels sur la Transparence de la gestion des forêts et des cartes sur la déforestation et la dégradation en Amazonie légale qui peuvent être téléchargés à partir des sites Internet d'IMAZON et d'ImazonGeo (Figure 7.7). ImazonGeo⁶²est un portail Internet interactif distribuant des informations spatiales sur l'état des forêts et des aires protégées, et les menaces qui les guettent en Amazonie brésilienne. Le portail comporte des données sur la déforestation issues de SAD, DETER et PRODES, ainsi que 29 flux de données uniques sur les incendies actifs qui augmentent la probabilité d'acquérir des observations sans nuage des satellites Terra, Aqua GOES et NOAA pour l'Amazonie brésilienne. L'abondance de flux de données sur les incendies actifs est précieuse parce qu'elle présente une couverture temporelle plus étendue et la possibilité de procéder à une validation croisée parmi les différents flux de données. Pour les produits de déforestation/dégradation, l'équipe IMAZON SAD crée une mosaïque temporelle des produits quotidiens MODIS MOD09GQ et MOD09GA, filtre les nuages, calcule l'algorithme de fusion des résolutions entre les bandes multispectrales à 500 m et les bandes visibles à 250 m, et produit une image d'Indice différentiel normalisé fractionné (NDFI) indiquant l'abondance relative de végétation verte, de sols, d'ombre et de composantes de végétation non photosynthétiques qui sont utilisés par IMAZON

⁶² <http://www.imazongeo.org.br>

pour détecter la déforestation et la dégradation dans le temps. Ces données sont téléchargeables en ligne comme shapefiles à partir du site Internet d'ImazonGEO. Outre les cartes, les statistiques et les rapports en ligne, ImazonGeo prend en charge l'envoi d'alertes SAD sous formes de SMS par téléphone portable et par courriel. SAD est actif dans l'État du Mato Grosso depuis août 2006 et en Amazonie depuis avril 2008, et il sert souvent de source de mesure indépendante de confirmation des statistiques sur la déforestation en Amazonie produites par le programme PRODES de l'INPE. ImazonGeo prend en charge le portugais et l'anglais.

FIGURE 7.7 : AMAZONGEO.

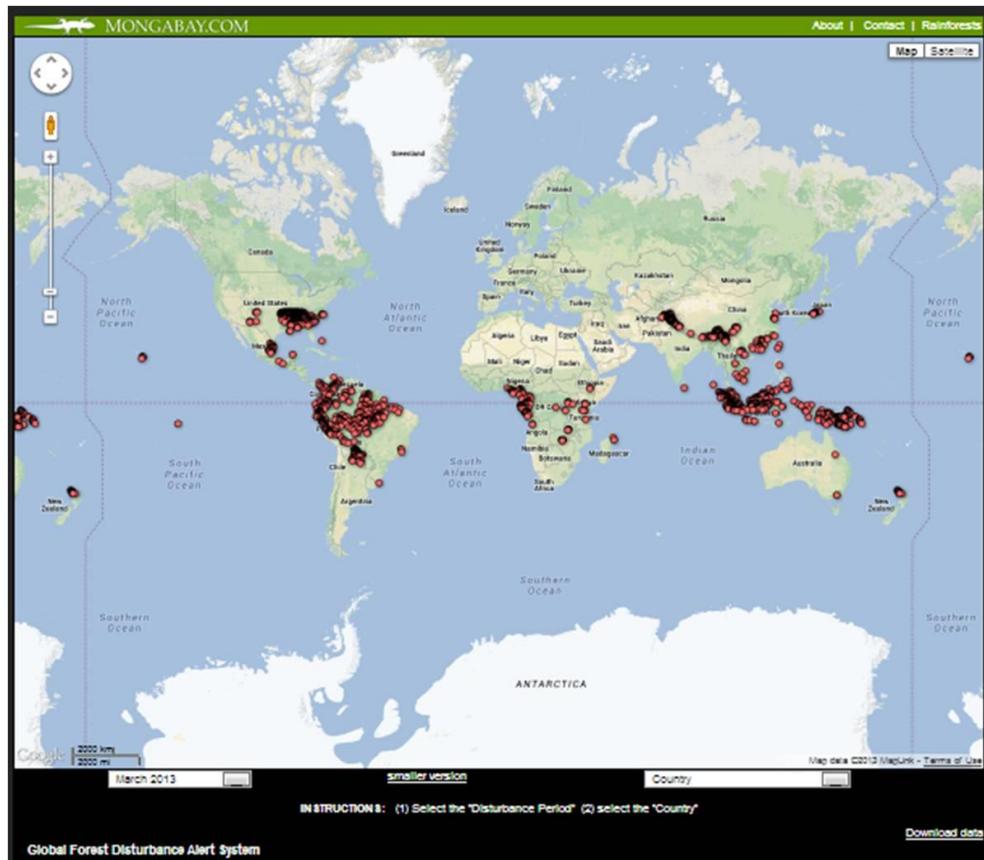


Produits QUICC MODIS sur la déforestation et le Système d'alerte des perturbations forestières mondiales (GloF-DAS)

Des chercheurs du Ames Research Center à la NASA et de California State University (CSU) ont mis au point un produit satellitaire MODIS à une résolution de 5 km appelé le *Quarterly Indicator of Cover Change* (QUICC - Indicateur trimestriel du changement du couvert) pour toutes les régions forestières du globe. Le produit de changement à l'échelle du globe QUICC est basé sur une comparaison trimestrielle de séries temporelles d'images quotidiennes de l'Indice de végétation MODIS chaque année, au même moment (mars, juin, septembre et décembre) pour toutes les régions forestières ou boisées qui ont perdu au moins 40 % de leur couverture de végétation verte pendant l'année précédente.

Les produits QUICC sont distribués par de multiples sources incluant : le portail Internet GloF-DASI⁶³ hébergé par Mongabay.com ; la page Internet Global Forest Watch du WRI et plusieurs autres systèmes de distribution de données tiers (Figure 7.8). Le GloF-DAS est basé sur le produit QUICC de la NASA et fournit des données sur la perturbation des forêts à l'échelle mondiale pour cartographier tous les changements du couvert forestier à grande échelle dans le monde entier (incluant les impacts des incendies) sur une base trimestrielle. L'équipe Ames/CSU de la NASA actualise et distribue ses produits QUICC globaux au GloF-DAS dès que la dernière image de l'indice de végétation MODIS trimestrielle est disponible.

FIGURE 7.8 : GLOF-DAS



[Traduction]

Mars 2013 version plus petite Pays

INSTRUCTIONS : (1) Sélectionner la “Période de perturbations” (2) Sélectionner le “Pays”

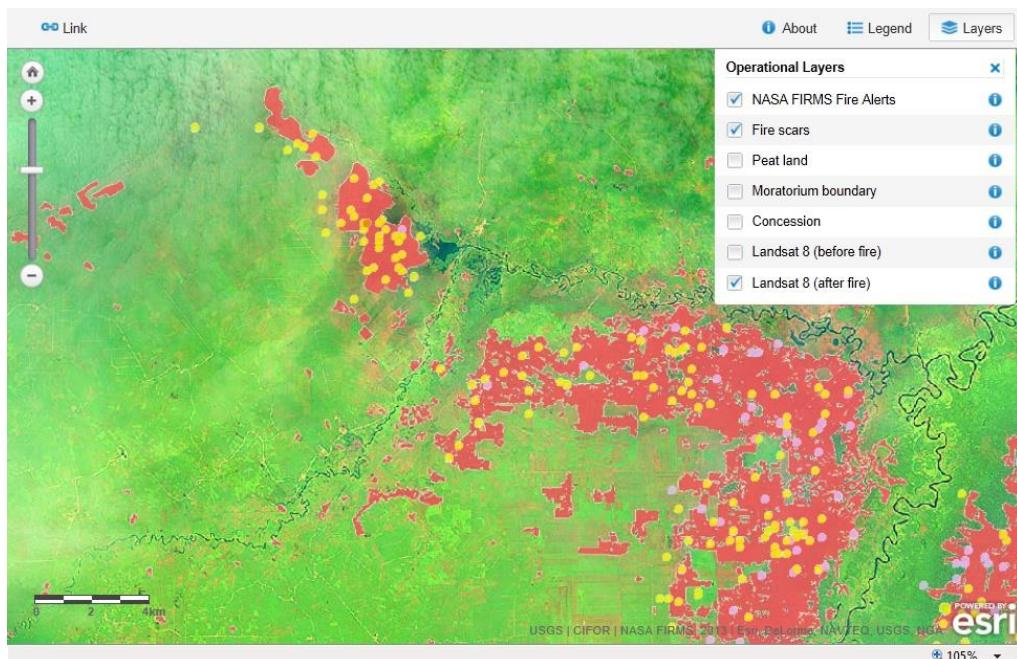
Global Forest Disturbance Alert System (Système d’alerte des perturbations forestières mondiales) Télécharger les données

⁶³ <http://rainforests.mongabay.com/deforestation-tracker/>

Outil interactif des risques d'incendies du CIFOR

Le Centre de recherche forestière international (CIFOR), basé en Indonésie, a créé une application⁶⁴ de cartographie des risques d'incendie basée sur Internet. Cette application permet aux utilisateurs de superposer des données satellitaires NRT sur des emplacements d'incendies actifs du FIRMS et des cicatrices des feux cartographiés par le CIFOR à partir de l'imagerie Landsat 8 la plus récente des tourbières, des limites d'exploitation du bois d'œuvre imposées par le moratoire, des concessions des plantations de bois d'œuvre et de palmiers à huile, et d'images Landsat 8 brutes (avant et après les feux) (Figure 7.9). Ces données sont utiles pour faciliter la mise en vigueur des réglementations environnementales établies par les autorités indonésiennes nationales et provinciales, et comme outil pratique pour la surveillance des chaînes d'approvisionnement des produits de base.

FIGURE 7.9 : OUTIL INTERACTIF DES RISQUES D'INCENDIES DE CIFOR.



Global Forest Watch 2.0 du WRI

L'initiative Global Forest Watch (GFW) du World Resources Institute (WRI) fut établie en 1997 pour développer des informations détaillées sur les ressources forestières et la gestion des forêts dans les pays tempérés et tropicaux par la publication d'atlas et d'une série de rapport sur l'état des forêts de GFW. GFW 2.0 fut lancée en 2011 comme portail général en ligne de réseau social, de cartographie et de distribution de données permettant d'accéder à un éventail de produits NRT antérieurs relatifs aux changements des forêts et des incendies provenant d'une variété de sources internes et externes (Tableau 7.4).

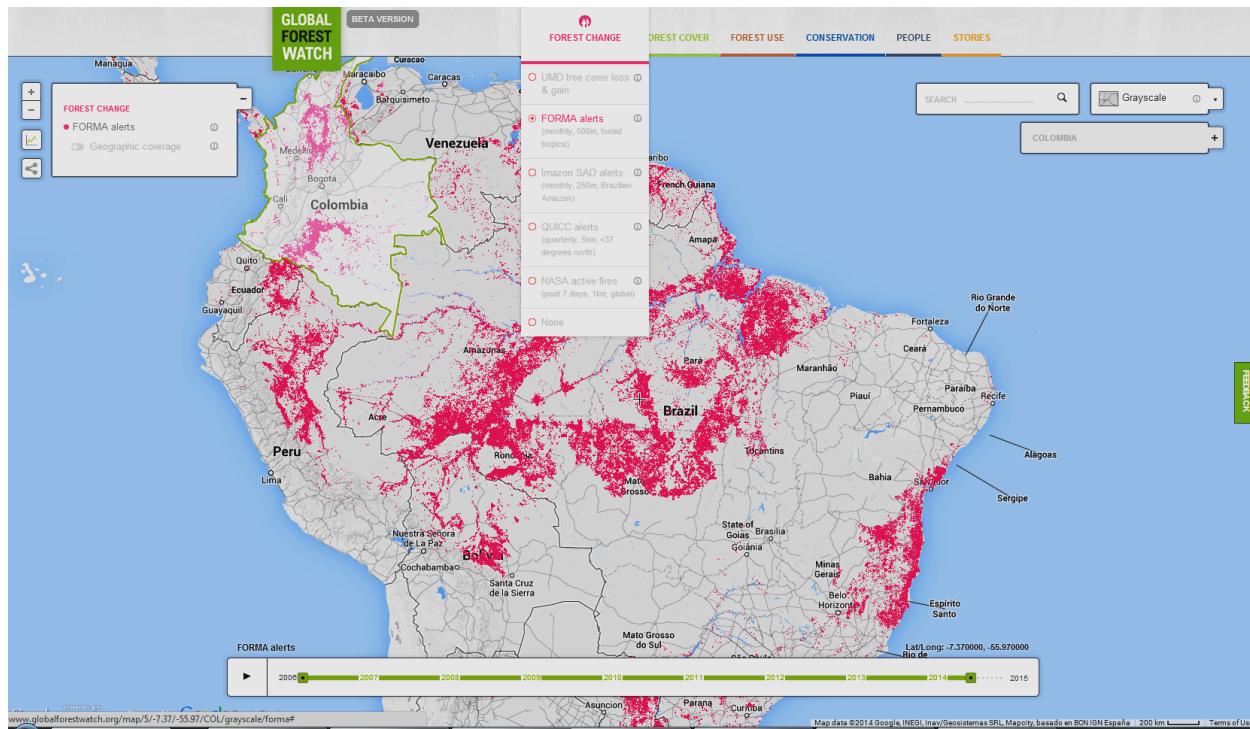
⁶⁴ <http://www.cifor.org/map/fire/>

TABLEAU 7.4 : DONNEES DE SURVEILLANCE FORESTIERE ACCESSIBLES PAR LE PORTAIL DE DONNEES DE GLOBAL FOREST WATCH ET L'INTERFACE DE CARTOGRAPHIE EN LIGNE

Données	Source	Fréquence	Résolution	Étendue géographique
Pertes et gains de couvert forestier	University of Maryland	Annuellement et au terme d'une période de 12 ans	30 m	Mondiale
FORMA - Perte probable de couvert forestier	World Resources Institute	Mensuellement	500 m	Tropiques humides
SAD - Déforestation et dégradation	IMAZON	Mensuellement	250 m	Amazonie brésilienne
QUICC - Perte de couvert de végétation (>40 % par période de temps)	NASA	Base trimestrielle	5 km	Mondiale
Incendies actifs	NASA	Quotidiennement	1 km	Mondiale

Le site Internet de GFW 2.0 – toujours en version beta à la rédaction de ce document– prend en charge sept langues et est divisé en plusieurs pages. Chacune couvre un thème ou un sujet différent y compris : i) des données et des statistiques propres aux pays ; ii) la cartographie en ligne ; iii) le téléchargement de données ; iv) des comptes-rendus ; et v) un blog. La page des pays, par exemple, présente des statistiques pour un pays défini par l'utilisateur sur un nombre de mesures relatives à la forêt. Celles-ci incluent : les emplois et les revenus créés par le secteur forestier ; la législation forestière pertinente ; les stocks et les émissions de carbone ; et les conventions internationales présentant un intérêt. L'interface cartographique affiche chaque ensemble de données de surveillance de chaque forêt sur des périodes définies par l'utilisateur pour des pays individuels, publant des statistiques pour ces périodes et permettant de télécharger les données sélectionnées sous une variété de formats SIG.

FIGURE 7.10 : L'INTERFACE CARTOGRAPHIQUE DE GLOBAL FOREST WATCH EN LIGNE AFFICHANT UN DES CINQ TYPES DE DONNEES DE SURVEILLANCE DES FORETS (FORMA - EVENEMENTS PROBABLES DE DEFORESTATION).



La page de téléchargement des données permet aux utilisateurs de télécharger – ou de s’inscrire pour recevoir des alerte par courriels, le cas échéant – à partir du site Internet des données sources du projet (par ex., NASA FIRMS, ImazonGEO, etc.) ; cette page contient aussi des liens vers un forum de discussion Groupes Google où les utilisateurs peuvent communiquer avec le personnel de GFW pour obtenir de l'aide et des informations techniques, ou pour aborder des questions liées à la conservation et la gestion des forêts dans leurs pays. Les pages des comptes-rendus offre des liens vers des rapports d’infos extérieures relatives aux forêts et à la conservation, et la composante blog est utilisée par le personnel de GFW pour publier des articles en ligne sur des questions comme la surveillance des forêts et la technologie.

GFW a récemment inclus un autre volet au portail. Ce site⁶⁵ porte principalement sur la région d’Asie du Sud-Est et permet à l’utilisateur d’incorporer et d’analyser différentes couches de données qui facilitent la surveillance des feux de forêts, la brume et la qualité de l’air. Ces variables peuvent être analysées sur des périodes temporelles sélectionnées, pour des districts/régions choisis, et par produits de base sélectionné (incluant la pulpe de bois et l’huile de palme).

GFW représente actuellement le site Internet le plus riche en données pour accéder à un éventail de données de surveillance antérieures et NRT sur l’état des ressources forestières à une échelle mondiale (Figure 7.10). Les alertes de GFW ne sont en fait pas des notifications actives envoyées aux utilisateurs, ce sont plutôt des données qui peuvent être visualisées et téléchargées à partir de la carte interactive de

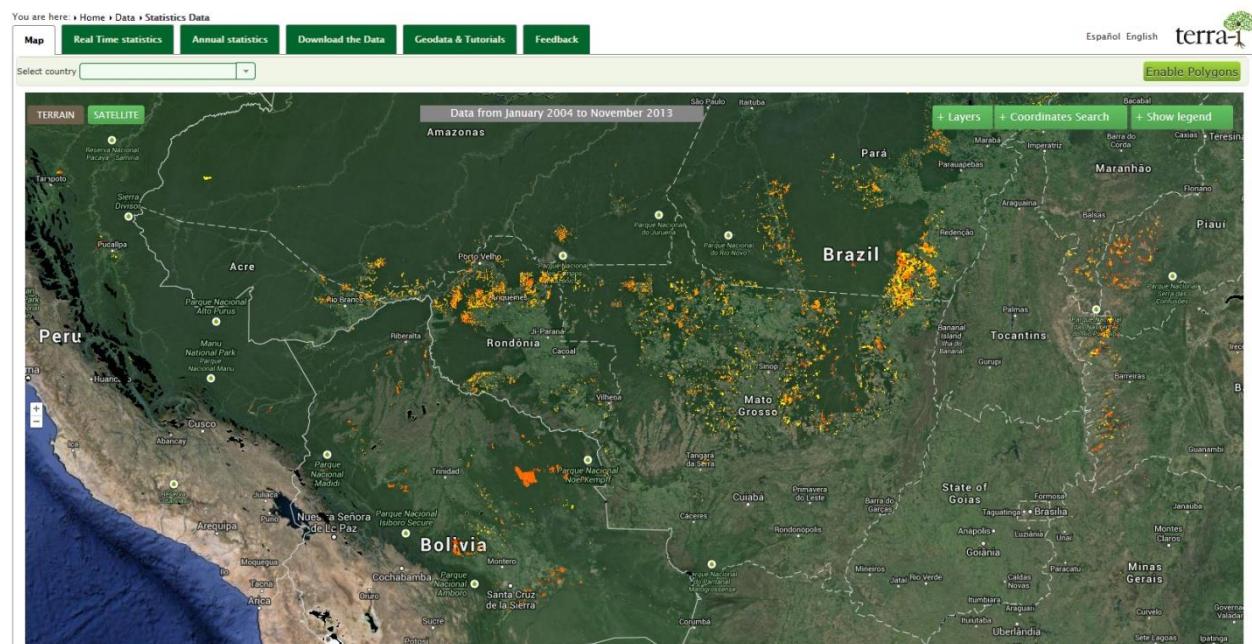
⁶⁵ <http://fires.globalforestwatch.org>

GFW. Pour autant, comme mentionné dans les sections portant sur l'AmazonGeo et le FIRMS, certains fournisseurs de données GFW envoient automatiquement des alertes par courriel ou téléphone portable à partir des sites Internet de leurs projets.

Terra-i

Terra-i⁶⁶ publie en ligne des estimations bimensuelles des changements de la végétation sur l'ensemble du continent d'Amérique latine, en anglais et en espagnol. En utilisant une approche semblable à celle de FORMA, traitée ci-dessus, Terra-i produit des « anomalies de verdure » à une résolution de 250 m à partir d'une série temporelle sur dix ans de composition d'images MODIS NDVI de 16 jours, indiquant où le couvert de végétation est susceptible d'avoir changé en raison de facteurs comme la coupe à blanc, les feux et la construction de barrage. Les données du système (2004-2014) sont accessibles en ligne pour visualisation par interface cartographique (Figure 7.11) et peuvent être téléchargées sous une variété de formats SIG par régions d'intérêt propres aux pays (écorégions, aires protégées, régions autochtones et unités politiques). Les statistiques annuelles et bimensuelles peuvent aussi être affichées sur les changements de la végétation de 2004 à 2014 pour chaque région d'intérêt.

FIGURE 7.11 : INTERFACE CARTOGRAPHIQUE EN LIGNE DE TERRA-I INDIQUANT LES ANOMALIES DE VERDURES NDVI ENTRE 2004 ET 2013



7.3.6 Utilité des systèmes de surveillance NRT

En novembre 2011, CI a mené un sondage auprès d'abonnés pour collecter un feedback des utilisateurs des systèmes de surveillance et de prévision NRT sur l'utilité des systèmes de surveillance des incendies et des forêts dans le contexte des pays en développement. En 2013, le sondage a été élargi pour inclure des entretiens approfondis avec les utilisateurs, ainsi que des évaluations institutionnelles des systèmes

66 <http://www.terra-i.org>

de surveillance NRT en Bolivie, au Pérou et à Madagascar. Les 118 participants représentaient des ONG nationales (28 %), des ONG internationales (22 %), des agences gouvernementales (20 %), des institutions universitaires et des journalistes (20 %), et le secteur privé (10 %). Les résultats du sondage procuraient des informations sur la manière dont différentes institutions intégraient les données NRT à leurs processus décisionnels. Plus de 21 % des personnes interrogées avaient recours aux données pour étayer les mesures de surveillance et de suivi des forêts ; 19 % le faisaient pour la gestion des aires protégées ; 17 % pour favoriser l'élaboration de politiques en matière de conservation et de développement durable ; 13 % utilisaient les données pour la recherche ; 12 % s'en servaient à des fins d'éducation et de formation ; et pour 3 % des répondants, les données étaient utiles dans le cadre d'activités liées au secteur de la santé publique. Les données sur les incendies étaient perçues comme de hautes valeurs intrinsèques, avec 73 % des personnes interrogées indiquant que les alertes d'incendie étaient utiles dans le cadre de leur travail ou de leur recherche. Par ailleurs, les participants disaient que les informations NRT de prévision des risques d'incendie saisonniers étaient des considérations précieuses pour leurs processus décisionnels. Les résultats du sondage ont confirmé nombre de rapports anecdotiques de la part d'utilisateurs de Madagascar, d'Indonésie, du Pérou et de Bolivie sur la façon dont les données de surveillance des forêts et des incendies contribuaient aux objectifs de conservation et de gestion, permettant de guider la stratégie, de déclencher les réponses officielles à la déforestation et à la dégradation, contribuant à conforter la sensibilisation et permettre le contrôle et la prévention des incendies.

À Madagascar, par exemple, une série de réunions dans le cadre d'une évaluation à mi-parcours de projet pour l'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID), révèlèrent que les données de surveillance des incendies servaient pour un grand éventail d'applications. Celles-ci incluaient la suppression des incendies actifs, les ateliers portant sur le contrôle et la prévention des incendies, l'établissement de priorités pour la gestion des ressources basé sur l'intensité des incendies et la vulnérabilité écologique, l'amélioration de la gestion des aires protégées et des plantations forestières, et l'étude de l'influence du changement climatique sur la fréquence des incendies.

7.3.7 Questions clés

En plus des considérations techniques associées aux données de surveillance NRT des forêts (par ex., le besoin d'imagerie exempte de nuage avec un minimum de latence ou une résolution spatiale adéquate), plusieurs autres questions clés méritent d'être étudiées pour garantir qu'un système de surveillance aborde de manière appropriée les besoins et les obstacles potentiels auxquels les utilisateurs finaux font face lorsqu'ils accèdent aux données NRT. Alors que les pays intègrent la surveillance NRT au NFMS, ils devront évaluer l'utilité des systèmes de surveillance NRT pour leurs besoins en termes de demandes de bandes passantes, d'options pour les données utilisateurs, de systèmes de transmissions de données par notifications push par opposition aux systèmes d'accès manuel aux données et à l'engagement et à l'appropriation au niveau local.

Demandes de bandes passantes

L'accès à Internet à larges bandes dans de nombreux pays reste restreint, surtout en dehors des grands centres urbains. Il est donc essentiel que les systèmes de distribution de données NRT soient optimisés afin que les utilisateurs puissent avoir accès aux notifications (par ex., alertes par courriels) sur les menaces concernant les forêts en temps utile. Les portails Internet riches en données, dotés d'une fonctionnalité solide, comme la cartographie interactive, peuvent fonctionner trop lentement pour être utilisés directement par les institutions fonctionnant avec des connexions Internet à bandes passantes étroites. Nombre d'utilisateurs des données de surveillance passent aussi de longues périodes dans des lieux reculés sur le terrain sans avoir accès à des ordinateurs et dans des endroits où les communications se limitent aux téléphones portables. L'envoi d'alertes NRT à ces utilisateurs se fait plus

facilement par SMS, courriels, ou – pour ceux qui ont des smart phones – par des notifications basées sur Internet à bandes passantes étroites et de simples applications de cartographie.

Données utilisateurs

Fournir des informations précises sur la géolocalisation de menaces pour les forêts peut s'avérer extrêmement avantageux pour les utilisateurs répondant concrètement à des activités forestières illicites, comme l'exploitation illégale du bois ou le défrichement illicite. En outre, les systèmes de surveillance et de livraison de données NRT qui personnalisent les analyses et les notifications subséquentes sur les activités illégales selon les domaines d'intérêt géographique des utilisateurs finaux (par ex., les régions de projets REDD+, les aires de conservation, les unités de gestion administrative, les types de végétation) sont susceptibles d'accroître grandement la valeur des données NRT dans le contexte du processus décisionnel et des réponses. Le filtrage des informations en éliminant celles qui ne sont pas essentielles et le ciblage unique des domaines qui présentent un intérêt pour un utilisateur donné réduiront les volumes de données transférées (important pour les utilisateurs qui accèdent aux données par le biais de connexion à bandes passantes étroites ou par téléphones portables), diminueront la fréquence des alertes envoyées aux utilisateurs et augmenteront la probabilité que les alertes recevront l'attention requise lorsqu'elles seront transmises.

Systèmes manuels d'accès aux données par opposition aux systèmes automatisés de transmission de données push

Les systèmes manuels d'accès aux données incluent les portails électroniques de recherche et de téléchargement de données et les pages Internet de cartographie interactive qui permettent de rechercher et d'afficher les données de surveillance NRT sur un fond de carte. Les systèmes manuels d'accès de données requièrent que les utilisateurs finaux se connectent à un site Internet et cherchent les informations par le biais d'un navigateur. L'utilisateur final explore les données de manière interactive sur de vastes zones géographiques, mais ces systèmes exigent que l'utilisateur accède au site Internet chaque fois qu'il veut rechercher les dernières informations, résultant en décalages de temps importants entre la publication des données en ligne et l'accès manuel à celles-ci – si les utilisateurs sont capables de se connecter.

Une évolution importante en matière de surveillance NRT a été la mise en place de systèmes de transmission de données automatisés par notification push. Un système d'alerte qui génère et envoie automatiquement un courriel ou une notification texte – avec une carte ou des fichiers shapefile/KML en pièces jointes – aux utilisateurs sans qu'ils doivent, pour autant, se connecter à un site Internet. Ainsi les données sont disponibles avec le moindre effort et livrées avec une latence minimale. Les systèmes de livraison automatisés, gratuits sur abonnement, permettent aussi aux utilisateurs de définir des alertes personnalisées qui ciblent des domaines d'intérêt spécifiques, comme le décrit la section « Données utilisateurs » ci-dessus.

Les systèmes manuels d'accès de données et les systèmes de livraison de données automatisés par notification devraient être considérés comme complémentaires l'un de l'autre : l'un procure un accès interactif à de multiples flux de données à travers de vastes régions géographiques, tandis que l'autre permet d'accéder aux données NRT avec une latence et un effort minimes de la part de l'utilisateur. Certains systèmes de surveillance NRT, comme le FIRMS et Firecast, offrent les deux.

Confiance, engagement et appropriation au niveau local

L'un des majeurs obstacles à l'adoption et à l'utilisation courantes des données de surveillance NRT par les agences gouvernementales des pays hôtes participant à la MNV de la REDD+ n'est pas de nature technique. Il concerne plutôt la confiance et l'appropriation des données. Les gouvernements préfèrent souvent contrôler la production des données et l'accès aux informations, surtout si la dissémination

publique comporte des ramifications juridiques ou financières, et ils se méfient des systèmes et des données provenant d'entités étrangères au-delà de la juridiction d'un pays. Les agences gouvernementales peuvent interdire l'utilisation officielle de données de surveillance NRT générées et fournies par des sources non officielles, et peuvent ignorer ou supprimer le recours aux données de ce genre qu'ils reçoivent. Pour éliminer ces obstacles éventuels et avoir l'engagement officiel des agences gouvernementales au regard des données NRT, il est important d'établir dès que possible, des relations de travail de confiance avec les homologues choisis par le gouvernement et d'aborder les préoccupations qu'ils peuvent avoir (par ex., en matière d'exactitude des données). Par ailleurs, les concepteurs et les gestionnaires des systèmes de surveillance NRT peuvent juger utile d'envisager d'accorder la maîtrise des systèmes aux gouvernements, par exemple, en intégrant la fonctionnalité des données NRT en flux continu d'une page Internet de cartographie interactive au site Internet d'une agence du gouvernement, ou en modifiant le site Internet et/ou le système d'alertes et les courriels associés pour y héberger le logo de l'agence gouvernementale en question.

7.3.8 Conclusion

Un nombre toujours croissant de systèmes de surveillance NRT des forêts sur les incendies actifs, le risque d'incendie et la déforestation à grande échelle font leur apparition chaque année, et certains systèmes actuels évoluent pour intégrer davantage de flux de données et proposer un éventail plus large de services, incluant le réseautage social et l'échange de données par terminaux mobiles. Tandis que plus d'options sont disponibles pour les données satellitaires, et que les acquisitions qui leur sont associées deviennent meilleur marché, de nouvelles possibilité existent pour les systèmes NRT pouvant être incorporées aux systèmes d'alertes. En outre, les systèmes NRT représentent une composante utile pour un système MNV. Même si ces systèmes peuvent ne pas contribuer directement à la notification requise, ils donnent un premier aperçu solide et augmentent la possibilité pour les pays et les programmes d'améliorer leurs capacités en matière de gestion forestière adaptive et d'application des lois.

7.3.9 Références

- Chen, Y., J. T. Randerson, D. C. Morton, R. S. DeFries, G. J. Collatz, P. S. Kasibhatla, L. Giglio, Y. Jin, M. E. Marlier. 2011. Forecasting fire season severity in South America using sea surface temperature anomalies. *Science* 334: 787-791.
- Davies, D.K., S. Ilavajhala, M. M. Wong, and C. O. Justice. 2009. Fire Information for Resource Management System: Archiving and Distributing MODIS Active Fire Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47 (1):72-79. doi:10.1109/TGRS.2008.2002076
- Giglio, L., Descloignes, I., Justice, C. O. and Kaufman, Y. 2003. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment* 87:273-282. doi: 10.1016/S0034-4257(03)00184-6.
- Justice, C. O., L. Giglio, et al. 2011. MODIS-Derived Global Fire Products. In: Land Remote Sensing and Global Environmental Change. B. Ramachandran, C. O. Justice and M. J. Abrams, Springer, eds. New York. 11: 661-679. doi:10.1007/978-1-4419-6749-7_29
- Musinsky, J., A. Cano, J. C. Ledezma, E. Mendoza, A. Rasolohery, K. Tabor, E. Ermayanti. 2013. Assessing the Use of the FIRECAST Near Real-Time Monitoring System as a Tool for Decision Support. Final Report to NASA Earth Science Applied Sciences Program.
- NASA. 2010. NASA Earth Science Applied Sciences Program 2010 Annual Report, p. 16.

- O'Neal, J. 2005. The Near Real Time Processing Effort. Crosslink Newsletter, Winter 2005.
- Read, J.M. 2003. Spatial Analyses of Logging Impacts in Amazonia Using Remotely Sensed Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 69(3): 275-282.
- Read, J.M., David B. Clark, Eduardo M. Venticinque, and Marcelo P. Moreira 2003. Application of merged 1-m and 4-m resolution satellite data to research and management in tropical forests, *Journal of Applied Ecology* 40: 592-600.
- Steininger, M.K., K. Tabor, J. Small, C. Pinto, J. Soliz, E. Chaves. 2013. A satellite model of forest flammability. *Environmental Management* 52: 136-150.

U.S. Agency for International Development
1300 Pennsylvania Avenue, NW
Washington, DC 20523
Tel: (202) 712-0000
Fax: (202) 216-3524
www.usaid.gov