

Changement d'utilisation des terres forestières mondiales 1990–2005



Photographies de couverture:

Gauche: Pruche occidentale, forêt naturelle de *Tsuga heterophylla*, Alaska (B. Ciesla)

Centre: Composition RGB (Bandes 5, 4 et 3) de Landsat 7, pour un échantillon de 20 km par 20 km situé à 72° Ouest et 38° Sud, Chili (U.S. Geological Survey)

Droite: Forêt coupée pour l'agriculture, Thaïlande (FAO/14639/K. Boldt)

Changement d'utilisation des terres forestières mondiales 1990–2005

ÉTUDE
FAO:
FORÊTS

169

par

**Erik J. Lindquist,
Rémi D'Annunzio,
Adam Gerrand,
Kenneth MacDicken,
Frédéric Achard,
René Beuchle,
Andreas Brink,
Hugh D. Eva,
Philippe Mayaux,
Jesús San-Miguel-Ayanz,
Hans-Jürgen Stibig**

Citation recommandée: **FAO et CCR. 2012. *Changement d'utilisation des terres forestières mondiales 1990-2005***, par E.J. Lindquist, R. D'Annunzio, A. Gerrand, K. MacDicken, F. Achard, R. Beuchle, A. Brink, H.D. Eva, P. Mayaux, J. San-Miguel-Ayanz, H.-J. Stibig. Étude FAO: Forêts No 169, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et Centre commun de recherche de la Commission européenne, Rome, FAO.

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

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

ISBN 978-92-5-207399-4

© FAO 2013

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

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

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

Table des matières

Remerciements	vii
Avant-propos	viii
Acronymes et abréviations	ix
Résumé exécutif	x
1. Introduction	1
Enquête par télédétection de FRA 2010	1
2. Méthodes et matériels	3
Occupation des sols et utilisation des terres	3
Plan d'échantillonnage systématique	3
Sources des images satellite	4
Prétraitement des images	4
Classification automatisée de l'occupation des sols	5
Modèles de classification	8
Classification de l'utilisation des terres	9
Conversion de l'occupation des sols en utilisation des terres	9
Interprétation, validation et correction des classes d'occupation des sols et d'utilisation des terres par les experts	10
3. Analyse des données	13
Pas de données	13
Réglage pour pondérer la latitude et la superficie	13
Agrégation pour l'analyse par région et domaine climatique	15
Gains et pertes de superficie forestière	15
Annualisation des changements de superficie forestière	15
Erreur	16
4. Résultats et discussion	17
La superficie d'utilisation des terres forestières a diminué entre 1990 et 2005	18
Pertes et gains de forêt au niveau mondial	18
Différences régionales dans les pertes et gains de forêt	18
Différences dans les taux de changement annuels par région et domaine	21
Comparaison avec d'autres études de la FAO	21
Causes du changement d'utilisation des terres	27
Évaluation de la précision	28
5. Conclusion	29
Intégration de l'imagerie satellitaire à basse résolution pour faciliter la classification	29
Importance de la révision de la classification	29
Utilité des images Landsat pour une surveillance mondiale	30
Mise en place de réseaux mondiaux	30

Références bibliographiques	31
Annexe 1. Méthodologies de révision des données spécifiques à certains pays	35
Annexe 2. Sites d'enquête traités ou analysés	37
Annexe 3. Personnes ayant contribué à l'examen et la révision des données	39
Annexe 4. Détails des calculs	41

Figures

1	Les 15 779 points de la grille d'échantillonnage utilisés dans l'enquête, avec une densité réduite au-delà de 60° de latitude nord et sud	3
2	Exemple d'une combinaison d'images prises à trois dates différentes permettant d'obtenir une image composite avec des segments qui capturent les changements de réflectance pour chaque période	6
3	Organigramme global du traitement des données réalisé par la FAO	7
4	Classes d'occupation des sols et d'utilisation des terres et leurs codes numériques	10
5	Outil de validation du CCR montrant les images Landsat de chaque période de l'enquête (à gauche) et les classes d'utilisation des terres de la FAO (au centre)	11
6	13 066 sites ont été finalement utilisés dans l'analyse RSS 2010	13
7	Régions (a) et domaines climatiques (b) utilisés pour l'agrégation et l'analyse	14
8	Distribution des dates des images satellite utilisées pour chaque période de l'enquête	16
9	Superficie forestière par région, 1990, 2000 et 2005	19
10	Superficie forestière par domaine, 1990, 2000 et 2005	19
11	Gains et pertes bruts et changements nets de superficie forestière, par région FRA, 1990-2000 et 2000-2005	20
12	Gains et pertes bruts et changements nets de superficie forestière, par domaine de la FAO, 1990-2000 et 2000-2005	20
13	Répartition des points d'échantillonnage pantropicaux, RSS 2000	22
14	Superficie forestière pantropicale pour 1990 et 2000, selon les estimations RSS 2000 et RSS 2010	22
15	Changement net annuel de superficie forestière pantropicale entre 1990 et 2000 selon les estimations de RSS 2000 et RSS 2010	23
16	Superficie forestière pantropicale en 1980, 1990, 2000 et 2005	24
17	Comparaison des superficies forestières par région, selon FRA 2010 et RSS 2010	24
18	Relation entre la proportion de domaine climatique sec par région et la différence proportionnelle entre les estimations de superficie forestière de FRA 2010 et RSS 2010 pour cette région	25
19	Changement net de superficie forestière selon le RSS 2010 et FRA 2010	26

Cuadros

1	Modèle de labellisation d'occupation des sols avec une UCM de 5 ha (niveau 2), basé sur le pourcentage de composition des segments de niveau 1 sous-jacents, par ordre décroissant de priorité	7
2	Superficie moyenne de forêt (000 ha \pm intervalle de confiance) par région et domaine climatique, 1990, 2000 et 2005	15
3	Importance des changements nets annuels et des gains et pertes bruts annuels pour les régions et les domaines	17
4	Valeurs de p pour la pente de la ligne formée par un modèle linéaire général reliant le changement annualisé net, les gains et les pertes bruts avec la période d'enquête par région et domaine	17
5	Test ANOVA pour le changement net annuel de superficie forestière, par domaine et année	18

6	Résultats REML concernant le changement net annuel par domaine et période d'enquête (1990-2000 et 2000-2005)	18
7	Changement net annuel moyen en superficie forestière et intervalles de confiance de 95 pour cent entre les périodes d'enquête pour les régions FRA et les domaines de la FAO	19

Remerciements

La FAO et le Centre commun de recherche (CCR) de la Commission européenne ont conjointement préparé ce document sur l'enquête par télédétection (ETD) de l'évaluation des ressources forestières mondiales (FRA) de 2010. Ils tiennent à exprimer leurs remerciements pour l'aide et la contribution de nombreuses organisations, pays, donateurs, et autres partenaires et experts.

C'est la Commission européenne qui a fourni la contribution financière majeure pour l'enquête par télédétection de FRA 2010 pour la période 2009-11. Les autres partenaires financiers sont l'Administration nationale pour l'aéronautique et l'espace (NASA), le Centre Heinz, et les gouvernements de l'Australie et de la Finlande.

Les gouvernements de l'Australie, du Brésil, de la France, de la Norvège et des États-Unis d'Amérique sont également remerciés pour leurs contributions extrabudgétaires ou détachements de personnes.

Plus de 200 forestiers et experts en télédétection ont collaboré à ce rapport, à la fois directement et indirectement, ils sont énumérés en Annexe 3. Cette collaboration a été essentielle à la réussite de l'enquête par télédétection de FRA 2010 et a été grandement appréciée.

Les auteurs tiennent également à remercier les personnes de la FAO suivantes pour leurs contributions: Mette Løyche Wilkie, Renato Cumani, Antonio Di Gregorio, Emma Foti, Monica Garzuglia, Stefano Giaccio, Örjan Jonsson, John Latham, Antonio Martucci, Marisalee Palermo, Anssi Pekkarinnen et Ilaria Rosati. Plusieurs consultants de la FAO ont également contribué à ce document: Ralph Ridder a donné des conseils sur le plan d'échantillonnage, Marieke Sandker a examiné des milliers d'échantillons de télédétection et participé à la gestion de la base de données, et Susan Iremonger a mis à jour les cartes des domaines climatiques.

Les auteurs veulent aussi remercier les membres du CCR et de son partenaire, l'Université de Louvain-La-Neuve pour leur contribution: Catherine Bodart, Silvia Carboni, Pierre Defourny, François Donnay, Céline Ernst, Désirée Johansson, Pieter Kempeneers, Ouns Kissiyar, Andrea Lupi, Rastislav Raši, Roman Seliger, Dario Simonetti, Fernando Sedano, Lucie Seebach, Peter Strobl, Astrid Verheggen, Peter Vogt, Michael Vollmar et Carlos de Wasseige.

Tom Loveland et le personnel de l'United States Geological Survey ont contribué à l'obtention de grandes quantités de données Landsat nécessaires à l'enquête par télédétection de FRA 2010. Matt Hansen, Peter Potapov et Anil Kommareddy (Université d'État du Dakota du Sud) ont participé au pré-traitement des données Landsat utilisées par la FAO. Qu'ils soient tous remerciés.

Avant-propos

Les forêts du monde sont essentielles pour la subsistance de l'homme. Elles sont de plus en plus reconnues pour la vaste gamme de produits et de services écosystémiques essentiels qu'elles fournissent. Des informations exactes et à jour sur l'étendue des forêts du monde, et la façon dont elles évoluent, n'ont donc jamais été aussi importantes.

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) recueille des données et publie des inventaires sur les forêts mondiales depuis plus de 60 ans. Ses évaluations des ressources forestières (FRA) rassemblent, analysent et compilent les données fournies par les pays membres de la FAO sur une large gamme de variables relatives aux forêts et présentent ses résultats tous les cinq ans. Notamment sur le changement de superficie forestière et la dynamique de perte de forêt (suite à la déforestation et, dans une moindre mesure, en raison de causes naturelles) et les gains (liés au boisement et à l'expansion naturelle des forêts, sur des terres agricoles abandonnées par exemple). De nombreux pays, cependant, n'ont pas suffisamment de données ni séries de mesures comparables à partir desquelles faire des évaluations fiables de l'évolution des changements de forêt.

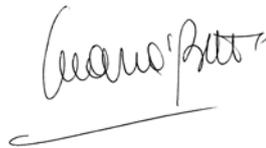
Avec le développement rapide, au cours des 40 dernières années, de la surveillance par satellite au niveau mondial, telle que la longue série chronologique de données acquises par le satellite Landsat, de meilleures données existent – comme jamais on n'a pu en bénéficier auparavant – pour réaliser une étude approfondie du changement de superficie forestière à l'échelle mondiale. Il est essentiel d'examiner de manière plus détaillée la superficie forestière et la façon dont elle a évolué ces dernières années.

Ce rapport sur l'Enquête par télédétection de FRA 2010 est le premier de son genre à présenter des estimations systématiques de l'utilisation et du changement des terres forestières mondiales. Il est le résultat de nombreuses années de planification et de trois années de travail détaillé effectué par le personnel de la FAO et le Centre commun de recherche (CCR) de la Commission européenne, assistés d'experts techniques provenant de plus de 100 pays. Dès ses débuts, l'objectif ambitieux de l'enquête par télédétection de FRA 2010 a été d'utiliser les données de télédétection pour obtenir des estimations mondiales exhaustives de la superficie forestière et des changements dans le couvert forestier et l'utilisation des terres forestières entre 1990 et 2005.

Il a été dit que « nous ne pouvons pas gérer ce que nous ne pouvons pas mesurer ». Nous sommes ravis de ce partenariat qui s'est développé entre la FAO, le CCR et les pays membres de la FAO dans le but de s'assurer que les décisions futures sur les forêts sont fondées sur des informations fiables. Ce rapport constitue une avancée dans cette direction. Nous remercions les auteurs et toutes les personnes qui y ont contribué et recommandons la lecture de ce rapport à tous ceux qui veulent connaître les changements au niveau des forêts mondiales.



Eduardo Rojas-Briales
Assistant Directeur-général
Département des forêts de la FAO



Maria Betti
Directeur
Institut pour l'environnement
et la durabilité
CCR

Acronymes et abréviations

ANOVA	analyse de la variance
CCR	Centre commun de recherche de la Commission européenne
EOSD	Earth Observation for Sustainable Development of Forests (Canada)
ETD	Enquête par télédétection de l'évaluation des ressources forestières mondiales
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FRA	Évaluation des ressources forestières mondiales (FAO)
GIEC	Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat
GLS	Landsat Global Land Survey (United States Geological Survey)
ha	hectare(s)
IFN	Inventaire forestier national (du Canada)
km	kilomètre(s)
µm	micromètre
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NLCD	National Land Cover Dataset (États-Unis d'Amérique)
OTDD	Observation de la Terre pour le développement durable des forêts
REML	maximum de vraisemblance restreinte
UCM	unité de cartographie minimum
VCF	Vegetation Continuous Fields
WRS	Worldwide Reference System (Système de référence mondial)

Résumé exécutif

Ce rapport présente les principales conclusions sur l'utilisation des terres forestières et les changements d'affectation entre 1990 et 2005 de l'Enquête par télédétection de l'Évaluation des ressources forestières mondiale 2010 (FRA 2010) de la FAO. Cette enquête a fait l'objet d'un partenariat entre la FAO, ses pays membres et le Centre commun de recherche (CCR) de la Commission européenne. Il s'agit du premier rapport du genre à présenter des estimations systématiques de l'utilisation des terres forestières mondiales et de ses évolutions.

UN ÉCHANTILLONNAGE SYSTÉMATIQUE POUR DES RÉSULTATS STATISTIQUEMENT FIABLES ET EXHAUSTIFS AU NIVEAU MONDIAL

L'enquête est basée sur un échantillonnage systématique d'images satellite Landsat pour les années 1990, 2000 et 2005 situées à l'intersection de chaque degré de longitude et de latitude. Ainsi, 15 779 sites d'échantillonnage ont été traités pour l'occupation des sols et l'utilisation des terres au niveau mondial. Le nombre définitif de sites échantillons analysés est de 13 066 après l'élimination des sites aux données statistiques manquantes, aux valeurs aberrantes et suite à l'examen et la révision des données pour chaque pays (voir Annexe 1). La zone étudiée au niveau de chaque site d'échantillonnage est de 10 km par 10 km, fournissant une densité d'échantillonnage d'environ 1 pour cent de la surface émergée du globe.

INVENTAIRE DE L'UTILISATION DES TERRES FORESTIÈRES

Ce rapport s'intéresse à l'utilisation des terres forestières et non à l'occupation des sols. L'utilisation des terres forestières est définie en tant que zone à couvert forestier ou lorsque la gestion ou des processus naturels vont finalement rétablir le couvert forestier et que l'utilisation prédominante est l'exploitation forestière. Dans certains cas, l'utilisation des terres forestières peut inclure des terres temporairement sans arbre comme durant les cycles d'agriculture itinérante, de plantations forestières et de gestion de forêt équienne. Cette approche est conforme à la définition de la forêt utilisée dans les rapports nationaux du FRA et similaire aux classes utilisées dans les rapports nationaux au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques.

SUPERFICIE FORESTIÈRE

En 2005, l'enquête a estimé la superficie forestière mondiale totale à 3,8 milliards d'hectares, soit 30 pour cent de la surface émergée du globe.

LES PERTES ANNUELLES MONDIALES DE SUPERFICIES FORESTIÈRES SONT PLUS IMPORTANTES ENTRE 2000-2005 QU'ENTRE 1990-2000

Dans l'ensemble, il y a eu une diminution nette de la superficie forestière mondiale de 1,7 pour cent entre 1990 et 2005, avec un taux de variation annuel de 0,11 pour cent. Cela équivaut à un passage annuel d'utilisation des terres forestières à d'autres utilisations des terres de 3 millions d'hectares par an entre 1990 et 2000 et de 6 millions d'hectares par an entre 2000 et 2005.

IL EXISTE DES DIFFÉRENCES RÉGIONALES AU NIVEAU DES PERTES ET GAINS DE FORÊT

De fortes disparités régionales ont été enregistrées dans les taux nets de changement de superficie forestière; seules l'Asie et l'Amérique du Nord ont vu leur superficie de forêt s'accroître tandis que toutes les autres régions ont enregistré des pertes nettes. L'Amérique

du Sud a enregistré la plus grande perte nette de forêt de quelques 3,3 millions d'hectares par an entre 1990 et 2005. L'Afrique a enregistré la deuxième plus grande perte nette de forêt – 1,6 million d'hectares par an – au cours de la même période. L'Europe, y compris la Fédération de Russie, a enregistré une perte nette de 0,5 million d'hectares par an alors que l'Océanie a perdu un peu moins de 0,1 million d'hectares par an. L'Amérique du Nord, au contraire, a connu des gains nets de superficie forestière de 0,2 million d'hectares par an, et l'Asie a enregistré un gain net de 1,4 million d'hectares par an entre 1990 et 2005.

LA PLUS FORTE DISPARITION DE FORÊT A EU LIEU DANS LES RÉGIONS TROPICALES

Pour cette enquête, les forêts ont été classées selon quatre domaines climatiques: boréal, subtropical, tempéré et tropical. Des gains significatifs de superficie forestière ont été enregistrés pour les forêts boréales (0,9 million d'hectares par an) et subtropicales (1,1 million d'hectares par an) entre 1990 et 2005. Même gain net de superficie pour le domaine tempéré de 0,9 million d'hectares par an au cours de la même période.

En revanche, le domaine tropical a subi une perte nette de 6,8 millions d'hectares par an entre 1990 et 2005. Cette réduction nette de l'utilisation des terres forestières représente près de 2,5 fois la superficie forestière nette acquise dans les trois autres domaines climatiques confondus.

1. Introduction

Les forêts couvrent environ 30 pour cent de la surface émergée de la Terre. A toutes les échelles spatiales, du local au global, les arbres et les forêts jouent un rôle essentiel dans les moyens de subsistance des populations humaines ainsi que dans le bon fonctionnement des écosystèmes. Dans de nombreuses communautés locales dans le monde, les personnes dépendent chaque jour des forêts pour vivre, que cela soit pour la collecte du bois de chauffage, la récolte des produits forestiers ligneux et non ligneux et la gestion communautaire de leurs forêts. Les forêts fournissent également du bois à grande échelle pour l'industrie forestière, un habitat pour plus de la moitié des espèces terrestres de la planète, de l'eau potable et d'autres services écosystémiques fondamentaux.

Comprendre la situation et l'évolution dans le temps des ressources forestières de valeur à l'échelle mondiale est important pour le bien-être humain et le bon fonctionnement des écosystèmes. Ainsi, les changements d'occupation des sols et d'utilisation des terres peuvent avoir une incidence sur les climats régionaux et mondiaux en termes d'émission ou de piégeage du carbone (Pan *et al.*, 2011) et peuvent altérer les propriétés de réflexion globale de la surface de la Terre (Feddema *et al.*, 2005; Avissar et Werth, 2005). Il est probable que, d'ici à 2100, les changements d'utilisation des terres – principalement dû à la déforestation – auront eu un impact plus grand sur la biodiversité mondiale que le changement climatique (Sala, 2000).

La FAO analyse et compile des données sur l'état des forêts dans le monde dans l'Évaluation des ressources forestières (FRA). Publié tous les 5-10 ans, le rapport du FRA reflète les principaux sujets de préoccupation qui prévalent au moment de l'inventaire des forêts. En réponse aux besoins qui ont fait suite à la Seconde Guerre mondiale, les premiers FRA ont mis l'accent sur les stocks de bois, tandis que les éditions les plus récentes, notamment FRA 2010 (FAO, 2010), ont abordé des sujets plus actuels comme la biodiversité des forêts, les stocks de carbone dans la forêt et les avantages sociaux des forêts.

Le FRA est une source d'information importante pour les efforts mondiaux visant à la gestion durable des forêts, la réduction de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et la poursuite d'autres initiatives internationales. Selon les directives en matière d'inventaire national de gaz à effet de serre publiées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (Paustian, Ravindranath et van Amstel, 2006), la FAO est la principale source de données sur les activités et les facteurs d'émission pour les forêts et les autres catégories d'utilisation des terres dans les calculs de niveau 1. Les directives du GIEC signalent que lorsque des données nationales plus détaillées ne sont pas disponibles, des informations peuvent être obtenues par le biais de sources de données internationales comme le FRA.

ENQUÊTE PAR TÉLÉDÉTECTION DE FRA 2010

L'enquête par télédétection de FRA 2010 est l'aboutissement d'un partenariat entre la FAO, ses pays membres et le Centre commun de recherche (CCR) de la Commission européenne. Son objectif est d'obtenir des informations globales cohérentes sur l'étendue et l'évolution de la couverture forestière et de l'utilisation des terres forestières entre 1990 et 2005 au niveau régional, des domaines climatiques et mondial. Cette étude présente les résultats de la composante «utilisation des terres forestières mondiales» de l'enquête.

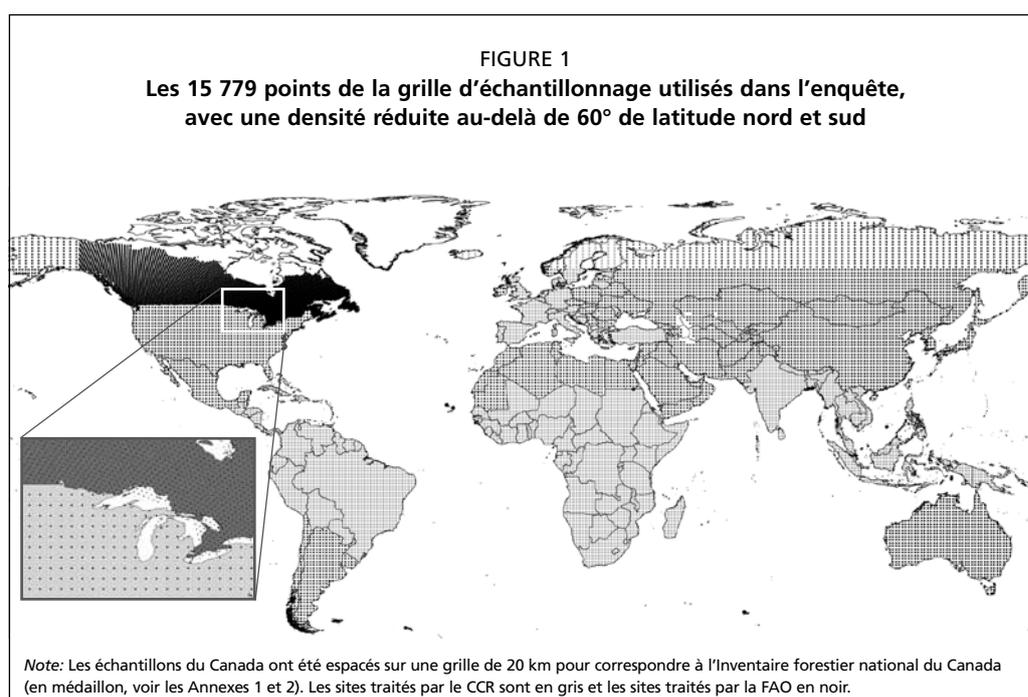
2. Méthodes et matériels

OCCUPATION DES SOLS ET UTILISATION DES TERRES

Ce rapport présente des statistiques mondiales sur l'utilisation des terres forestières qui proviennent d'une classification de l'occupation des sols et de l'interprétation d'images par des experts. L'occupation des sols se réfère aux caractéristiques biophysiques de la surface de la Terre et peut être détectée directement à partir des images aériennes ou des satellites. L'utilisation des terres sous-entend une dimension humaine ou un objectif d'exploitation de la terre (Lambin *et al.*, 2001). L'utilisation des terres peut être déduite des images de télédétection, mais doit généralement être vérifiée par un expert local ou par le biais de données recueillies sur le terrain. Des informations précises sur l'utilisation des terres sont essentielles pour comprendre les causes de changement de couverture forestière et élaborer des politiques et des stratégies efficaces pour ralentir et inverser les pertes de forêt.

PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE SYSTÉMATIQUE

L'enquête a utilisé un échantillonnage systématique d'extraits d'images satellitaires de 10 km par 10 km à chaque intersection de 1 degré de latitude et de longitude (Mayaux *et al.*, 2005; Ridder, 2007). À l'échelle mondiale, cela équivaut à un échantillon de 1 pour cent de la surface de la Terre émergée. La densité d'échantillonnage a été réduite au-delà de 60 degrés de latitude nord et sud, afin d'inclure uniquement les degrés pairs de longitude et d'éviter un «poids» croissant des échantillons aux latitudes élevées lié à la forme de la Terre. Aucun site situé à une latitude supérieure à 75 degrés Nord ou Sud n'a été utilisé. Pour le Canada, la grille a été modifiée afin d'utiliser celle de 20 km de l'Inventaire forestier national, constituée de points photo inférieurs à 4 km² (Gillis, Omule et Brierley, 2005). La grille d'échantillonnage finale était composée de 15 779 points couvrant la terre entière (Figure 1).



Dans un certain nombre d'études nationales, régionales et mondiales (par exemple, Hansen *et al.*, 2008; Stehman, Sohl et Loveland, 2005; Potapov *et al.*, 2008; Eva *et al.*, 2010), les approches par échantillonnage ont permis d'obtenir des résultats sur les changements de superficie forestière avec une précision acceptable et connue. Dans les précédentes enquêtes par télédétection, une large série d'échantillons d'images satellitaires sur de vastes régions, a permis de réaliser de bonnes estimations des paramètres à l'échelle régionale (> 100 000 hectares) et continentale (Czaplewski, 2002).

L'échantillonnage systématique a été choisi pour quatre raisons principales (Ridder, 2007): il semble exister des tendances au niveau de l'occupation des sols à l'échelle régionale et continentale et aucune hypothèse *a priori* sur l'intensité de changement de superficie forestière n'a été nécessaire; la présentation de la grille de latitude-longitude n'est pas politiquement biaisée et elle est facile à comprendre; les unités d'échantillonnage peuvent être facilement identifiées sur les cartes; et enfin, les évaluations forestières nationales validées par la FAO sont généralement élaborées à partir de la même grille.

SOURCES DES IMAGES SATELLITE

Les images provenant du Landsat Global Land Survey (GLS) du United States Geological Survey (USGS) ont fourni la plupart des informations pour la classification et l'interprétation (Gutman *et al.*, 2008). Le capteur Landsat permet de couvrir l'ensemble de la Terre avec une longue série temporelle d'images, et des caractéristiques spatiales et spectrales appropriées pour la détection de changements du couvert forestier. Les données Landsat sont référencées à la surface de la Terre par une grille de colonnes et de lignes, appelé Système de référence mondial (WRS). Le GLS est une base spatialement exhaustive constituée des meilleures images Landsat pour chaque colonne/ligne du WRS couvrant la majeure partie de la surface de la Terre acquises en 1975, 1990, 2000 et 2005.

Pour chaque site d'échantillonnage, des séries de données du GLS1990, GLS2000 et GLS2005 de bandes optiques de 1 à 5 et 7 de Landsat ont été compilées. Celles-ci ont été intégrées dans un cadre de 20 km par 20 km centré autour de chaque intersection latitude/longitude pour créer des sous-ensembles d'images. La zone centrale de 10 km par 10 km de ces extraits a été utilisée pour les calculs de surface et les analyses statistiques. Pour les données de GLS prises dans des régions à couverture nuageuse ou qui ne correspondaient pas en termes de saison, d'autres images ont été recherchées dans les archives Landsat ou les stations terrestres régionales (pour plus de détails, voir Beuchle *et al.*, 2011; Potapov *et al.*, 2010; Seebach *et al.*, 2010).

Pour les domaines boréal, tempéré et subtropical, les données du GLS ont été considérées comme les meilleures données existantes. Si plusieurs données GLS sont disponibles pour un site et une date donnés, l'image GLS avec la couverture nuageuse la moins dense est retenue pour la classification (Lindquist *et al.*, soumis).

PRÉTRAITEMENT DES IMAGES

Les images ont été prétraitées pour corriger les différences radiométriques causées par des changements dans la qualité de l'air ou les caractéristiques du capteur entre les dates d'acquisition des images pour le même site. La normalisation de l'image a pour effet de standardiser par site les valeurs des nombres numériques relatives à des couvertures forestières denses et permet une application plus efficace des algorithmes de classification automatique (Toivonen *et al.*, 2006; Potapov *et al.*, 2010; Hansen *et al.*, 2008). Potapov *et al.* (2010) décrivent les méthodes de prétraitement utilisées par l'équipe de la FAO pour les zones non tropicales. Bodart *et al.* (2011) décrivent les méthodes de prétraitement utilisées par l'équipe du CCR pour les sites de l'Afrique tropicale et subsaharienne.

CLASSIFICATION AUTOMATISÉE DE L'OCCUPATION DES SOLS

La FAO et le CCR ont tous deux réalisés des classifications automatisées de l'occupation des sols des images prétraitées. L'équipe du CCR s'est chargée des sites des régions tropicales, de l'Afrique subsaharienne (Beuchle *et al.*, 2011) et de l'Europe occidentale (Seebach *et al.*, 2010) dans le cadre de ses projets en cours TREES-3, MONDE et FOREST (CCR, 2010; voir Raši *et al.*, 2011 pour plus de détails sur la classification de l'occupation des sols du CCR). L'équipe de la FAO a traité tous les autres sites (Figure 1). Même si les méthodes de traitement utilisées par les deux équipes ne sont pas strictement identiques, le traitement global et, surtout, les classifications finales sont comparables. Les méthodes de traitement ont utilisé les composantes communes suivantes:

- l'acquisition de données;
- le prétraitement des données et la normalisation des images;
- la segmentation des images;
- la classification des images.

La segmentation automatisée des polygones d'occupation des sols et la pré-classification des types d'occupation des sols ont eu deux objectifs majeurs: créer une série de données spatialement et temporellement cohérentes et éviter la délimitation manuelle, ce qui facilite la révision visuelle des labels d'occupation des sols et d'utilisation des terres.

La méthodologie de classification de l'occupation des sols de la FAO-CCR suit quatre étapes principales:

- la segmentation des images au niveau 1, sans unité cartographique minimale (UCM) et niveau 2 (UCM d'environ 5 ha);
- la collecte de données de sites représentatifs pour une classification supervisée;
- la construction de modèles et la classification de l'occupation des sols des objets de niveau 1;
- l'attribution de classification d'occupation des sols d'objets de niveau 2.

Toutes les fonctions de segmentation et de classification supervisées ont été réalisées à l'aide du logiciel de segmentation et de traitement d'image eCognition®¹.

La segmentation d'images consiste à diviser une image en regroupant les pixels similaires en objets (ou segments ou polygones) à partir de la similarité spectrale et les différences spatiales. Les critères de création d'objets à partir de pixels individuels dans eCognition peuvent être contrôlés par l'opérateur en spécifiant les valeurs pour une série de paramètres comme la taille, la forme et le degré de similarité à obtenir dans la segmentation. Ces valeurs affectent le regroupement et conditionnent la forme et la taille globale des objets créés (Baatz et Schappe, 2000).

Une routine de segmentation multi-date a utilisé des bandes d'images Landsat provenant de trois périodes d'enquête afin de créer une seule couche contenant des objets basés sur l'information spectrale de chaque période (Figure 2). La segmentation d'images a été réalisée en deux parties. La FAO a utilisé une méthode similaire aux segmentations décrites par Raši *et al.* (2011), en utilisant des paramètres qui ont permis la création de petits objets de forme irrégulière sur la base des valeurs de réflectance spectrale des bandes 3, 4 et 5 (0,63 à 1,75 μm) de Landsat. Ces bandes ont été choisies pour leur capacité à éliminer les différences de réflectance de surface causées par les changements de type de végétation (Desclée, Bogaert et Defourny, 2006; Duveiller *et al.*, 2008). La première segmentation (niveau 1 par exemple) a créé de très petits objets allant de la taille d'un pixel Landsat unique à plus de 100 ha et variant inversement avec l'hétérogénéité spectrale de l'image Landsat correspondante.

L'image la plus récente (2005) a été segmentée en premier. Les objets créés ont été utilisés pour contraindre la segmentation de l'image pour 2000 et, à leur tour, ces objets ont contraint la segmentation de l'image de 1990. Pour les tropiques, la segmentation a

¹ www.ecognition.com/products/ecognition-developer.

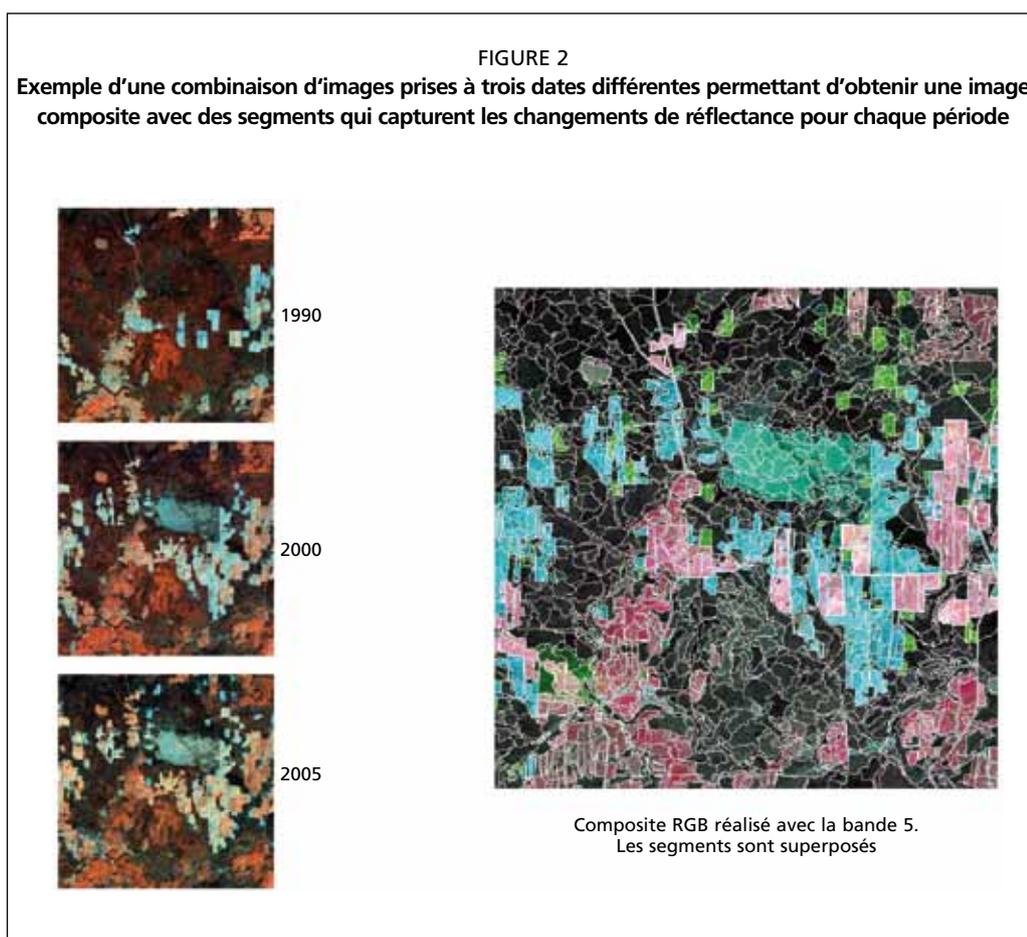


TABLEAU 1

Modèle de labellisation d'occupation des sols avec une UCM de 5 ha (niveau 2), basé sur le pourcentage de composition des segments de niveau 1 sous-jacents, par ordre décroissant de priorité

Niveau 1	composition (%)	Label d'occupation du sol de niveau 2
Couvert forestier	≥ 30	Couvert forestier
Autre terre boisée	≥ 70	Autre terre boisée
Autre occupation du sol	≥ 70	Autre occupation du sol
Eau	≥ 70	Eau

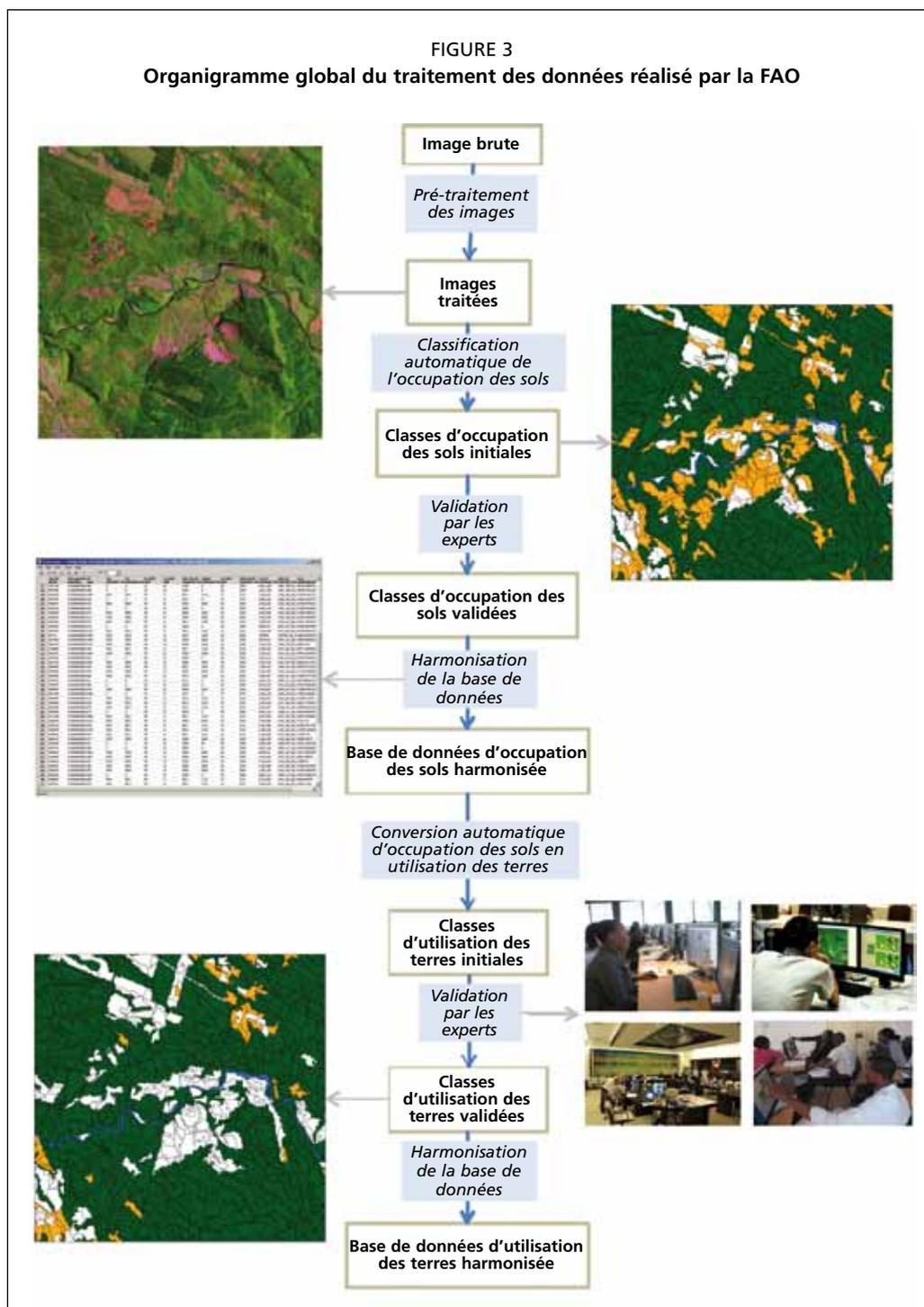
d'abord été appliquée aux deux images de 1990 et 2000, puis les objets dissous de 2000 ont été utilisés pour contraindre la segmentation de l'image pour 2005.

L'UCM des segments de niveau 2 recherchée était de 5 ha (Ridder, 2007). L'UCM souhaitée a été obtenue par l'agrégation des segments de niveau 1, inférieurs à 5 ha, avec des objets adjacents ayant une réflectance moyenne dans la bande 5 la plus similaire. La réflectance en infrarouge d'ondes courtes a été utilisée en raison de son efficacité dans les applications de cartographie forestière (Horler et Ahern, 1986; Hoffhine et Sader, 2002). La classification de l'occupation des sols a été effectuée sur les segments de niveau 1 spectralement homogènes. Les segments de niveau 2 se sont vus attribuer des labels de classe en fonction du pourcentage de composition des segments de niveau 1 (Tableau 1).

Vu le grand nombre d'échantillons et la complexité de classifier chaque site, la meilleure technique de classification pour traiter les données a été la classification supervisée automatisée. La méthodologie générale de classification (présentée dans l'organigramme global en Figure 3) se présente comme suit:

- Pour chaque site et date, les occupations des sols ont été classées selon les classes suivantes: *Couvert arboré*, *Couvert d'arbustes*, *Autre couvert* (comprenant *Herbacées* et *Absence de végétation*, qui ont été regroupées), *Eau* et *Pas de données*. Ces classes correspondent globalement aux directives de bonnes pratiques d'utilisation des terres du GIEC (Paustian, Ravindranath et van Amstel, 2006), lorsqu'elles sont finalement converties en labels d'utilisation des terres.
- Les images de 2000 ont été classées en premier. Lorsqu'il existait de faibles probabilités de détecter des changements entre les enquêtes, le label de classe pour les objets de la couche d'objets de l'image pour 2000 a été transféré aux couches d'objets de l'image pour 1990 et 2005.

FIGURE 3
Organigramme global du traitement des données réalisé par la FAO



- Les objets considérés comme ayant une probabilité relativement élevée de changement entre 1990 et 2000 et entre 2000 et 2005 ont été classés séparément en utilisant les données d'entraînement sélectionnées automatiquement dans les objets qui n'ont pas changé durant la même période.
- Les objets d'UCM de 5 ha ont reçu des labels de classe en fonction de la proportion d'objets de niveau 1 labellisés qu'ils contenaient.

MODÈLES DE CLASSIFICATION

Les très nombreuses caractéristiques biophysiques de la couverture forestière au niveau mondial constituent un défi pour la collecte des données d'entraînement. Ainsi, les conifères à feuilles persistantes denses et sombres ont des caractéristiques différentes des conifères à larges feuilles persistantes, qui diffèrent, à leur tour, des caractéristiques des feuillus à feuilles caduques. Les diverses caractéristiques biophysiques, et les changements de saison et de conditions d'éclairage en fonction de l'angle du soleil et de la position des arbres sur la terre se combinent pour affecter les propriétés de réflectance spectrale de la couverture forestière et rendent difficile de créer des modèles génériques de réflectance qui peuvent classer avec précision la couverture forestière sous toutes ses formes dans le monde. La méthode de classification de la FAO a cherché à rendre compte de cette variation en appliquant une méthode simple pour créer un modèle de classification de la couverture forestière pour chaque unité et période d'échantillonnage. Pour chaque site d'échantillonnage, donc, trois différents modèles de classification d'occupation des sols ont été créés et appliqués, un pour chaque période.

Pour les sites des domaines boréal, tempéré et subtropical, des labels d'entraînement pour chaque classe d'occupation des sols ont été assignés aux objets d'image de niveau 1 en utilisant des produits coïncidant pour l'année 2000 d'occupation des sols issus du spectroradiomètre à résolution modérée MODIS (VCF) (Hansen *et al.*, 2003) et du GlobCover 2005 (Arino *et al.*, 2008). Les labels de d'entraînement pour les masses d'eau ont été attribués en fonction de la proportion par objet individuel de pixels d'eau du masque global de MODIS (Carroll *et al.*, 2009). Les données de GlobCover ont été utilisées pour faciliter la classification de l'occupation des sols dominée par les arbustes.

Des classificateurs de réseaux de neurones artificiels ont été utilisés pour effectuer les classifications d'occupation des sols pour les sites d'échantillonnage traités par la FAO. Pour chaque site, un réseau a été formé et ensuite appliqué à tous les objets de l'image de l'année 2000. Les objets dont les caractéristiques spectrales en 1990 et 2005 étaient identiques ou similaires à celles de 2000 ont automatiquement reçu le label d'occupation des sols de 2000. Si un changement spectral important a été détecté entre 1990 et 2000 ou entre 2000 et 2005, les objets de 1990 et de 2005 ont reçu des labels basés sur des modèles de classification de 1990 et 2005 créés individuellement. Les méthodes sont détaillées dans Lindquist *et al.* (Soumis).

Pour les tropiques, la classification de l'occupation des sols de niveau 1 a été basée sur une bibliothèque spectrale supervisée (Raši *et al.*, 2011). Les signatures spectrales ont été recueillies à partir d'un ensemble commun de zones d'entraînement représentant les principales classes d'occupation des sols sous les tropiques. A cet effet, les données Landsat ETM+ pré-transformées pour l'année 2000 et pour tous les sites d'échantillonnage d'une sous-région donnée ont été utilisées. Pour chaque classe principale d'occupation des sols, plusieurs sous-classes ont été identifiées, représentant des variations spectrales dues à l'état du site ou sous-type d'occupation des sols. Pour Couvert *Arboré*, par exemple, les sous-classes identifiées ont été forêts denses de conifères, forêts dégradées de conifères, forêts sèches à feuilles caduques, mangroves et forêt marécageuse. Pour chaque sous-classe, plusieurs formations ont été sélectionnées. Le nombre de pixels utilisés à la fin pour établir la signature spectrale d'une sous-classe est généralement supérieur à 1 000. Des statistiques de signature spectrale (moyennes

et écarts-types) ont été calculées au niveau des sous-classes. Pour l'Asie du Sud et du Sud-Est, par exemple, 73 signatures spectrales ont été établies comme intrants dans la classification numérique des quatre principales catégories d'occupation des sols. Une classification générique supervisée des objets de segmentation de niveau 1 a été réalisée de manière uniforme pour tous les sites d'échantillonnage, à partir des fonctions d'appartenance établies en fonction de la signature spectrale de chaque sous-classe pour les bandes spectrales 3, 4 et 5 de Landsat. Les fonctions d'appartenance ont été définies comme une approximation de la distribution aléatoire de la classe. Ces fonctions d'appartenance ont ensuite été appliquées à l'imagerie des trois années, à savoir en étendant les signatures spectrales pour 1990 et 2005. Les sous-classes résultant de la classification supervisée n'ont pas été cartographiées en tant que catégories thématiques distinctes d'occupation des sols mais ont contribué à la cartographie des quatre principales classes d'occupation des sols.

Le résultat de la classification supervisée obtenue pour les objets de niveau 1 a servi de données directes pour l'agrégation thématique réalisée au niveau de la segmentation de niveau 2 (avec une UCM de 5 ha). La labellisation des objets de niveau 2 a été réalisée avec une liste séquentielle de critères de classification (Tableau 1). Dans le but de surveiller les forêts, l'accent a été mis sur la couverture forestière et les proportions de couverture forestière dans les objets de niveau 2. Pour les sites tropicaux, une classe *Mosaïque de couvert arboré* a été introduite pour les objets contenant un couvert forestier partiel au niveau 2: par exemple, une unité de cartographie contenant 40 pour cent de couvert arboré (= superficie totale d'objets agrégés de forêt de niveau 1) est toujours labellisée en *Mosaïque de couvert arboré*. Les objets de niveau 2 ont été les seuls labels d'objet d'image pris en considération pour l'examen et la révision des experts décrits dans les sections suivantes.

CLASSIFICATION DE L'UTILISATION DES TERRES

Les classifications d'utilisation des terres ont été formulées à partir des définitions de la FAO sur la forêt (FAO, 2010), notamment:

- *Forêt* – Terres occupant une superficie de plus de 0,5 hectare avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à 5 m et un couvert arboré de plus de 10 pour cent, ou avec des arbres capables d'atteindre ces seuils *in situ*. Sont exclues les terres à vocation agricole ou urbaine prédominante.
- *Autre terre boisée* – Terres n'entrant pas dans la catégorie *forêt*, couvrant une superficie de plus de 0,5 hectare avec des arbres atteignant une hauteur supérieure à 5 m et un couvert arboré de 5-10 pour cent, ou des arbres capables d'atteindre ces seuils *in situ*, ou un couvert mixte d'arbustes, arbrisseaux et arbres supérieur à 10 pour cent. Sont exclues les terres à vocation agricole ou urbaine prédominante.
- *Autre terre* – Toute terre n'entrant pas dans la catégorie *forêt* ou *autre terre boisée*.

CONVERSION DE L'OCCUPATION DES SOLS EN UTILISATION DES TERRES

La conversion de la classe *occupation des sols* en classe *utilisation des terres* s'est faite en deux étapes. On a tout d'abord converti automatiquement les classes d'occupation des sols en labels préliminaires d'utilisation des terres (Figure 4). Cette conversion automatique est valable pour la majorité des polygones de la série de données. Cependant, la quantification précise des réels changements d'utilisation des terres est complexe. La véritable utilisation des terres d'une zone donnée doit être examinée dans un contexte écologique qui consiste à déterminer non seulement la végétation présente au moment de l'acquisition des images satellite, mais aussi quelle sera la réaction du couvert végétal et sa reconstitution future (grâce à la régénération, au reboisement ou déboisement par ex.) (Kurz, 2010).

Au niveau opérationnel, les définitions de la FAO ont dû être interprétées par les experts pour fournir le contexte nécessaire à la catégorisation précise de l'utilisation des terres, en particulier lorsqu'il existe des exceptions aux règles automatisées. Voici plusieurs types d'exceptions (voir aussi la figure 4):

- Les classes d'occupation des sols *Couvert arboré* et *Mosaïque de couvert arboré* ont été converties en classe d'utilisation des terres *Forêt*. Les experts ont cherché des exceptions où les utilisations des terres étaient en milieu urbain (par ex. les arbres dans les parcs ou les jardins autour des maisons) ou de nature agricole (vergers par ex.). Les zones urbaines avec des arbres ou des vergers, les plantations de palmiers à huile, les terres agricoles avec des arbres et les espaces d'agroforesterie ont été identifiés et manuellement recodés en tant que *Autre utilisation des terres avec couvert arboré*.
- La classe *Couvert d'arbustes* a été convertie en classe d'utilisation des terres *Autre terre boisée*. Les experts ont cherché des exceptions comme les forêts qui ont repoussé mais où les arbres n'ont pas encore atteint les 5 m, et ont recodé ces zones en *Forêt*.
- La classe *Autre couvert* a été convertie en *Autre utilisation des terres*. Les experts ont également cherché des exceptions telles que les surfaces temporairement déboisées qui pouvaient ne pas avoir d'arbre au moment de l'image, mais qui sont susceptibles de se régénérer ou d'être replantées; dans ce cas, elles ont été recodées comme *Forêt*.

INTERPRÉTATION, VALIDATION ET CORRECTION DES CLASSES D'OCCUPATION DES SOLS ET D'UTILISATION DES TERRES PAR LES EXPERTS

L'affectation définitive des labels d'occupation des sols et d'utilisation des terres a été réalisée par des forestiers nationaux ou des experts en télédétection. Les contrôles visuels ont été effectués sur l'ensemble des images des trois périodes d'enquête pour examiner et réviser les labels d'occupation des sols et d'utilisation des terres attribués automatiquement. Le CCR a développé une application informatique autonome à cet effet (Simonetti, Beuchle et Eva, 2011). Cet outil a pour objectif de fournir une interface conviviale, avec une série de fonctions faciles à utiliser pour la navigation et l'évaluation

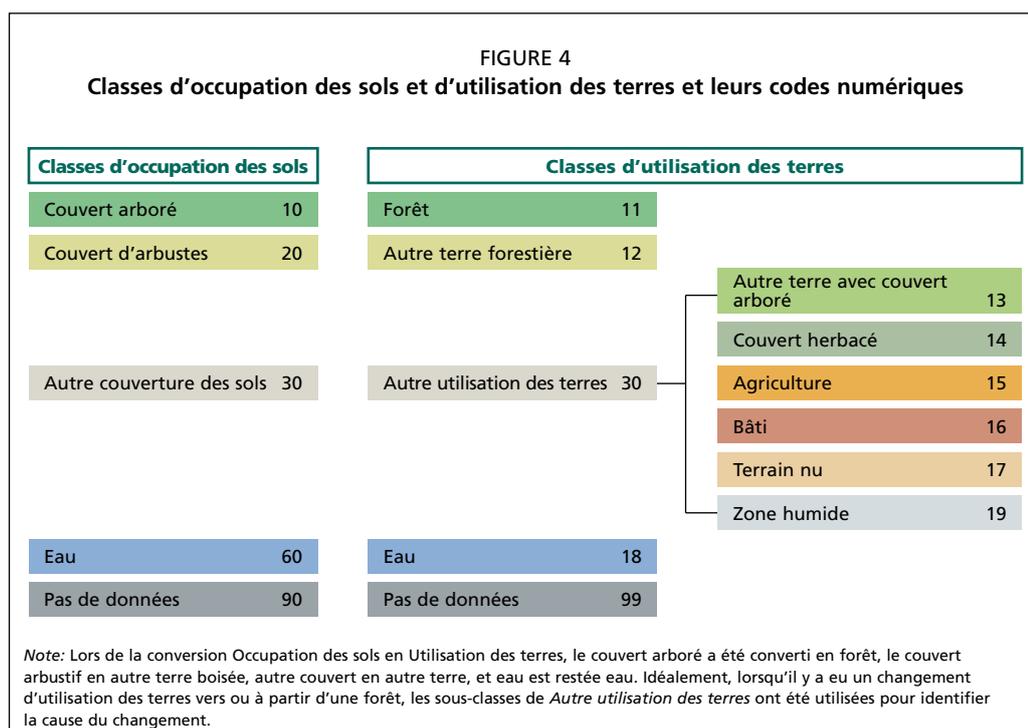
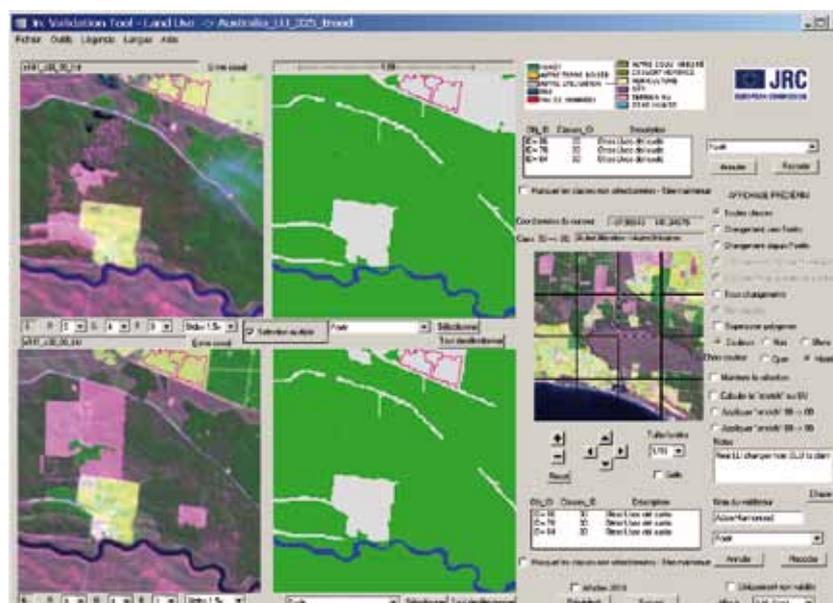


FIGURE 5
Outil de validation du CCR montrant les images Landsat de chaque période de l'enquête (à gauche) et les classes d'utilisation des terres de la FAO (au centre)



des séries d'images satellitaires et des cartes d'occupation des sols/utilisation des terres, mais également pour mieux recoder certaines surfaces lorsque, selon les experts, des modifications étaient nécessaires (Figure 5).

Le contrôle visuel et l'affinage des résultats de la classification numérique des objets de niveau 2 ont été effectués en trois étapes:

- Les erreurs évidentes de classification automatique ont tout d'abord été corrigées.
- Les résultats de la cartographie ont été révisés par des experts nationaux lors d'ateliers régionaux ce qui a permis d'accroître les connaissances sur les forêts au niveau local pour améliorer l'interprétation. Dix-neuf ateliers régionaux ont été organisés entre septembre 2009 et juillet 2011 durant lesquels 204 experts nationaux venus de 107 pays (Annexe 3) sont intervenus.
- Dans une dernière phase d'harmonisation régionale, des interprètes d'images expérimentés ont effectué un criblage final afin de détecter les erreurs oubliées ou réintroduites et ont contrôlé la cohérence des interprétations pour la région, afin de réaliser les dernières corrections nécessaires.

Le travail de révision de la classification a été facilité par les images satellite à très haute résolution, Google Earth™, les images du projet Degree Confluence², de Panoramio™ et des cartes de végétation disponibles. Les connaissances des experts ont également été primordiales au niveau local. La phase de contrôle visuel et d'affinement est une phase cruciale pour corriger les erreurs de classification et évaluer les changements.

² www.confluence.org.

3. Analyse des données

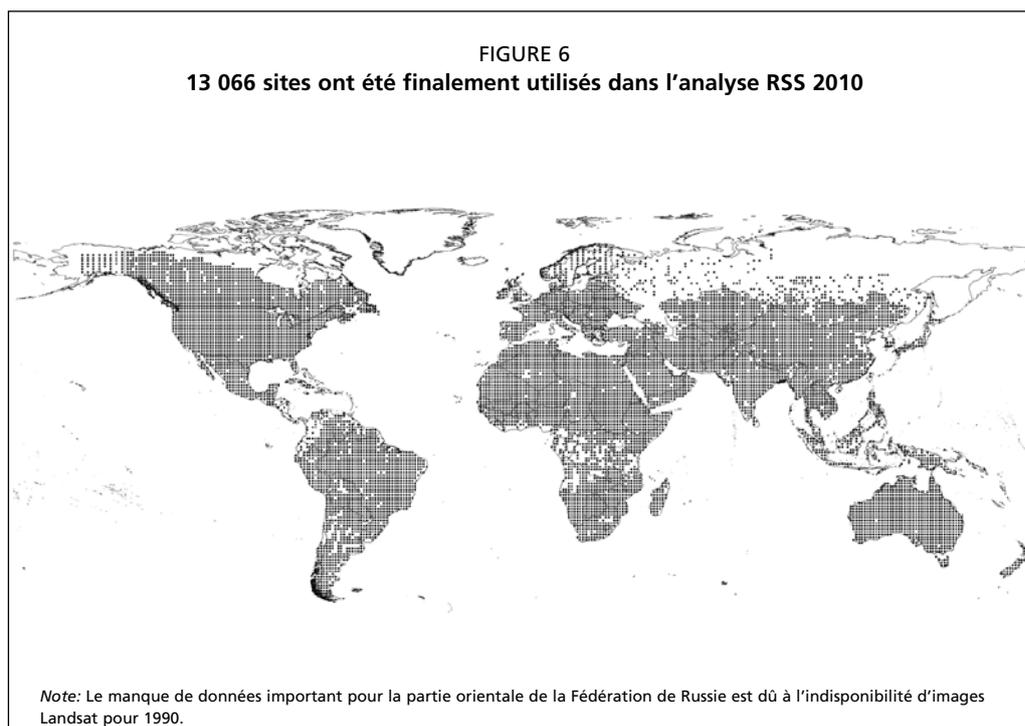
Tous les calculs utilisés dans ce rapport sont présentés en Annexe 4.

PAS DE DONNÉES

Les zones masquées par des nuages ou le manque de données en raison d'une couverture satellitaire médiocre ou les images de mauvaise qualité ont été codées en «pas de données» à la fois dans les polygones d'occupation des sols et d'utilisation des terres. Les images affectées par les nuages et l'ombre sont les plus répandues dans les régions tropicales (Ju et Roy, 2008; Asner, 2001); environ 9 pour cent des 4 016 sites d'échantillonnage tropicaux n'ont pas de données pour 2005. Lorsque cela est possible, les surfaces masquées par des nuages ou de l'ombre ont été recodées manuellement suite à une revue des mêmes sites en utilisant des images enregistrées à des dates ultérieures ou précédentes, ou grâce aux bases de données nationales, Google Earth® ou aux connaissances locales.

Les zones sans donnée ont été considérées comme une perte d'information non biaisée. Lorsqu'une zone n'a pas pu être classifiée en utilisant les méthodes ci-dessus, la classification «pas de donnée» pour une période de temps est attribuée comme label d'occupation des sols et d'utilisation des terres dans toutes les autres périodes au cours de l'analyse afin de s'assurer que seules les zones avec des données fiables pour toutes les périodes d'enquête ont été analysées. Les sites sans image Landsat pour l'une des périodes ont été retirés de l'analyse; 13 066 sites ont finalement été traités après l'abandon de tous les sites aux données manquantes (Figure 6 et Annexe 2).

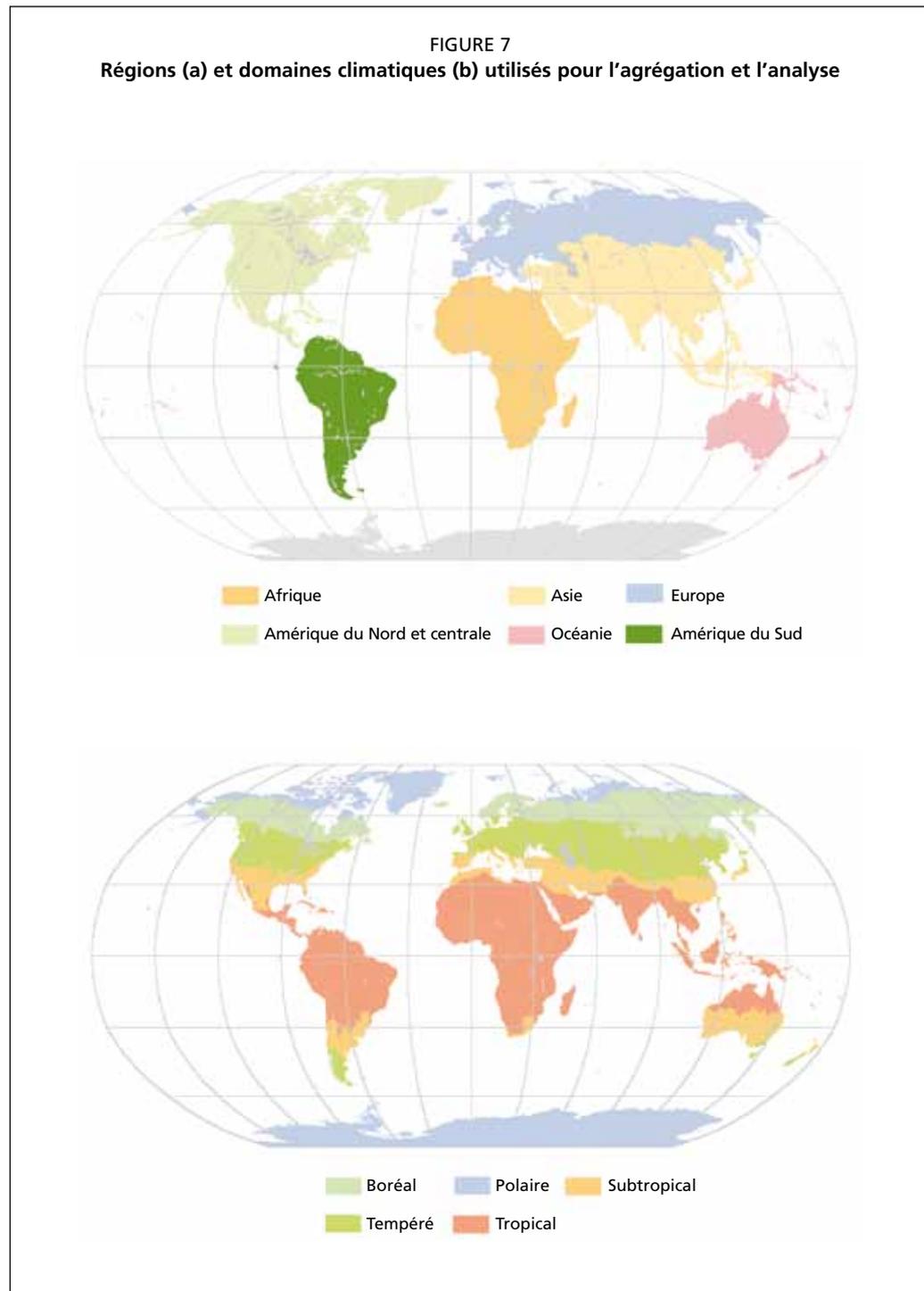
La proportion de gains et de pertes bruts de forêt a été calculée par rapport à la superficie totale de tous les objets d'image viables, ou de «surface terrestre valide». La surface terrestre valide pour chaque site comprend tous les objets non classés comme «eau» ou «pas de donnée» (Annexe 4, équation 1).



RÉGLAGE POUR PONDÉRER LA LATITUDE ET LA SUPERFICIE

En raison de la forme de la Terre, la surface réelle représentée par un échantillon de la grille diminue avec la latitude. Les analyses de la superficie forestière et de changement de superficie forestière doivent en tenir compte en appliquant une correction de mesures de surface (Annexe 4, équation 2).

Les sites ont également reçu une pondération équivalente à la proportion de la superficie totale représentée par le site. Les pondérations de la latitude et de la superficie ont été intégrées dans les analyses (Annexe 4, équation 3).



AGRÉGATION POUR L'ANALYSE PAR RÉGION ET DOMAINE CLIMATIQUE

Les classifications d'utilisation des terres ont été regroupées par parcelle et agrégées par région FRA et domaine climatique de la FAO (Figure 7) (FAO, 2012). Chaque site a été affecté à la région FRA et au domaine de la FAO où la majeure partie de la surface du site se situe. Les données ont été analysées à l'aide des logiciels statistiques R (2.12.2) et Systat (Version 13).

GAINS ET PERTES DE SUPERFICIE FORESTIÈRE

La superficie forestière totale a été déterminée en utilisant l'estimateur direct de Horvitz-Thompson selon Eva *et al.* (2010) – qui est le calcul de la proportion moyenne de forêt (Annexe 4, équation 4) sur tous les sites d'échantillonnage d'une région ou d'un domaine et en multipliant ce chiffre par la superficie totale de terre de la région. La superficie forestière de chaque site a été calculée à la date nominale d'acquisition de l'image: c'est-à-dire sans prendre la date d'acquisition réelle en compte. La superficie forestière totale mondiale a été calculée en additionnant la superficie forestière totale par région du fait que les intervalles de confiance pour les totaux régionaux étaient plus faibles que pour les domaines climatiques (Tableau 2). Une approche similaire a été utilisée pour calculer les gains et pertes bruts et nets de superficie forestière. Tous les calculs ont été effectués en utilisant la projection de carte équivalente de Mollweide.

ANNUALISATION DES CHANGEMENTS DE SUPERFICIE FORESTIÈRE

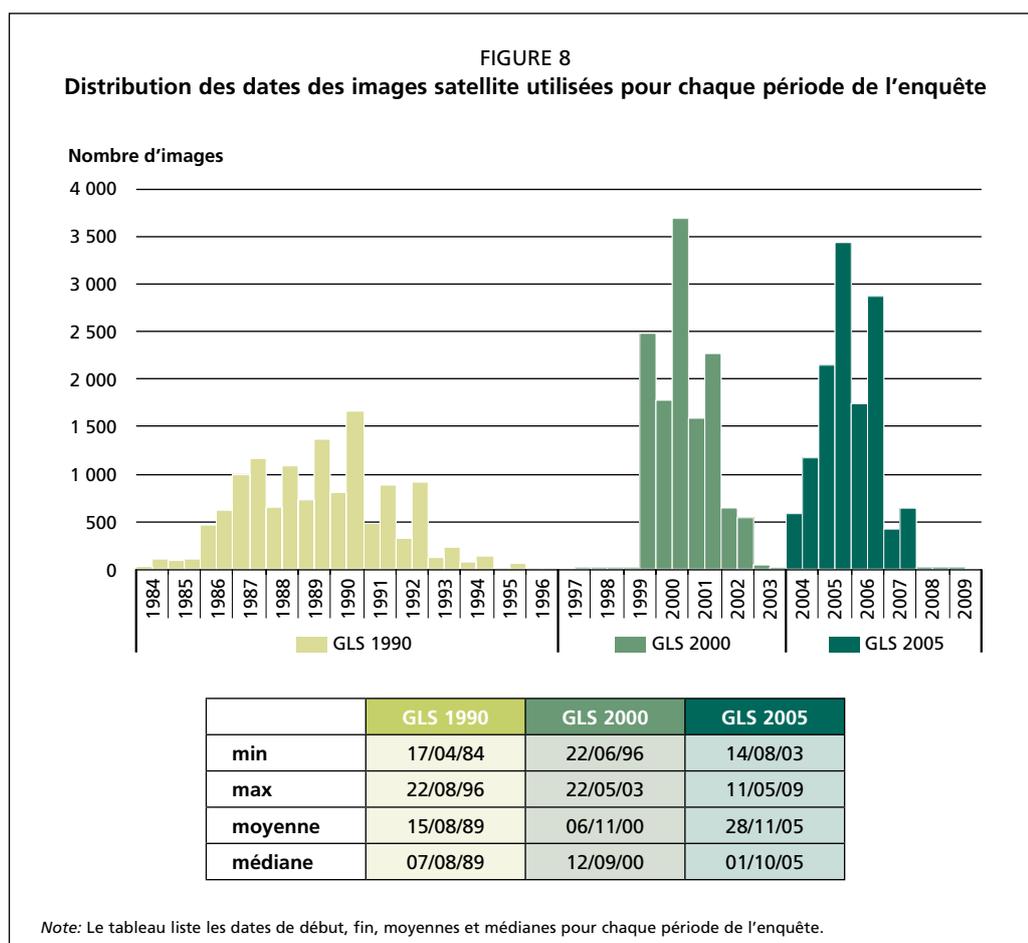
Les images satellite utilisées dans l'enquête, bien qu'elles représentent nominalement 1990, 2000 et 2005, ont été acquises sur un espace de temps plus large autour de l'année cible (Figure 8). Les changements ont été calculés comme changements moyens annuels, à partir de la série de dates représentée par la date d'acquisition des images pour chaque site (Annexe 4, équation 5).

TABLEAU 2

Superficie moyenne de forêt (000 ha ± intervalle de confiance) par région et domaine climatique, 1990, 2000 et 2005

Région	n	Superficie de forêt (000 ha)					
		1990		2000		2005	
Afrique	2 322	520 000	± 7%	510 000	± 7%	490 000	± 8%
Asie	2 863	500 000	± 7%	510 000	± 7%	510 000	± 7%
Europe	907	1 080 000	± 5%	1 070 000	± 5%	1 070 000	± 5%
Amérique du Nord et centrale	4 833	790 000	± 3%	800 000	± 3%	800 000	± 3%
Océanie	769	120 000	± 14%	120 000	± 14%	120 000	± 14%
Amérique du Sud	1 372	860 000	± 5%	820 000	± 5%	800 000	± 5%
Monde	13 066	3 860 000	± 2%	3 820 000	± 2%	3 790 000	± 2%
Domaine climatique	n	1990		2000		2005	
Boréal	3 092	1 180 000	± 3%	1 190 000	± 3%	1 200 000	± 3%
Subtropical	1 958	320 000	± 8%	330 000	± 8%	330 000	± 8%
Tempéré	3 831	560 000	± 5%	570 000	± 5%	570 000	± 5%
Tropical	4 185	1 730 000	± 4%	1 670 000	± 4%	1 620 000	± 4%

Note: n = nombre de sites d'échantillonnage. La somme des superficies forestières de toutes les régions a été utilisée comme superficie forestière mondiale totale.

**ERREUR**

La précision statistique de toutes les estimations est présentée comme la valeur de l'intervalle de confiance à 95 pour cent exprimée en pourcentage de la moyenne (Annexe 4, équations 6-8). Les erreurs signalées sont des erreurs d'échantillonnage uniquement et ne tiennent pas compte des erreurs de classification ni d'autres sources d'erreur.

4. Résultats et discussion

La signification statistique des gains et des pertes bruts annualisés pondérés de superficie forestière et du changement net de superficie forestière a été testée pour les régions et les domaines climatiques en utilisant plusieurs analyses:

- le test de Welch (bilatéral) pour indiquer si les gains, les pertes et le changement net sont différents de 0 (Tableau 3);
- les modèles linéaires généraux pour calculer la pente et la significativité de l'ordonnée à l'origine et de la pente de la régression (Tableau 4);

TABEAU 3
Importance des changements nets annuels et des gains et pertes bruts annuels pour les régions et les domaines

	Changement significatif, 1990–2000			Changement significatif, 2000–2005		
	net	gain	perte	net	gain	perte
Domaine						
Boréal	*	*	*	*	*	*
Subtropical	*	*	*	*	*	*
Tempéré	*	*	*	*	*	*
Tropical	*	*	*	*	*	*
Région						
Afrique	*	*	*	*	*	*
Asie	*	*	*	*	*	*
Europe		*	*		*	*
Amérique du Nord et centrale	*	*	*		*	*
Océanie	*	*	*		*	*
Amérique du Sud	*	*	*	*	*	*
Monde	*	*	*	*	*	*

Note: * indique une valeur significativement différente de 0 ($p < 0,05$) en utilisant le test de Welch.

TABEAU 4
Valeurs de p pour la pente de la ligne formée par un modèle linéaire général reliant le changement annualisé net, les gains et les pertes bruts avec la période d'enquête par région et domaine

	net		gain	perte
Domaine				
Boréal	0.167		0.000	0.001
Subtropical	0.895		0.178	0.009
Tempéré	0.018	↑	0.003	0.417
Tropical	0.000	↓	0.664	0.000
Région				
Afrique	0.000	↓	0.787	0.000
Asie	0.515		0.014	0.122
Europe	0.133		0.646	0.030
Amérique du Nord et centrale	0.027	↑	0.000	0.339
Océanie	0.595		0.438	0.780
Amérique du Sud	0.001	↓	0.928	0.000
Monde	0.001	↓	0.000	0.000

Note: Les différences significatives ($p < 0,05$) entre les périodes d'enquête sont en vert. Pour le changement net, la direction de la flèche indique s'il y a perte (↓) ou gain (↑) net de superficie forestière.

- l'analyse de variance (ANOVA) pour détecter les interactions entre les domaines climatiques et l'année (Tableau 5);
- l'analyse du maximum de vraisemblance restreinte (REML) en tant qu'outil fiable pour évaluer les différences et les interactions en supposant des variances inégales des populations de l'échantillon (Tableau 6).

LA SUPERFICIE D'UTILISATION DES TERRES FORESTIÈRES A DIMINUÉ ENTRE 1990 ET 2005

La figure 9 présente la superficie forestière estimée par région en 1990, 2000 et 2005, et la figure 10 la superficie forestière estimée par domaine pour les mêmes années. La superficie forestière totale en 2005 était de 3,8 milliards d'hectares, soit environ 30 pour cent de la surface émergée du globe. Il y a eu une réduction nette de la superficie forestière mondiale entre 1990 et 2005 de 66,4 millions d'hectares, soit 1,7 pour cent.

PERTES ET GAINS DE FORÊT AU NIVEAU MONDIAL

Au niveau mondial, la réduction brute d'utilisation des terres forestières se chiffre à 9,5 millions d'hectares par an entre 1990 et 2000 et à 13,5 millions d'hectares par an entre 2000 et 2005. Cette réduction a été partiellement compensée par des gains de superficie forestière grâce au boisement et à l'expansion naturelle des forêts de 6,8 millions d'hectares par an entre 1990 et 2000 et 7,3 millions d'hectares par an entre 2000 et 2005. Ainsi, le taux de perte de forêt annuel net a augmenté de façon significative ($p < 0,05$), passant de 2,7 millions d'hectares entre 1990 et 2000 à 6,3 millions d'hectares entre 2000 et 2005 (Tableau 7). Les figures 11 et 12 montrent ces changements par zone géographique et climatique.

DIFFÉRENCES RÉGIONALES DANS LES PERTES ET GAINS DE FORÊT

En Amérique du Sud, une conversion significative des forêts en autres utilisations des terres a eu lieu dans les deux périodes d'enquête: 2,8 millions d'hectares par an entre 1990 et 2000 et 4,3 millions d'hectares par an entre 2000 et 2005. L'Afrique a enregistré des pertes annuelles nettes de superficies forestières statistiquement significatives de 1,1 million d'hectares entre 1990 et 2000 et 2,7 millions d'hectares entre 2000 et 2005.

TABLEAU 5

Test ANOVA pour le changement net annuel de superficie forestière, par domaine et année

Source	Type III SS	df	Carrés moyens	Ratio F	Valeur p
Domaine climatique	1.096	3	0.365	237.686	0.000
Année	0.053	1	0.053	34.678	0.000
Domaine climatique * Année	0.164	3	0.055	35.499	0.000
Erreur	40.162	26 124	0.002		

TABLEAU 6

Résultats REML concernant le changement net annuel par domaine et période d'enquête (1990-2000 et 2000-2005)

Effet	Niveau	Estimation	Erreur standard	df	t	Valeur p
Domaine climatique	Boréal	0.003	0.002	26 123	1.083	0.279
	Subtropical	0.002	0.002	26 123	0.962	0.336
	Tempéré	0.002	0.002	26 123	0.81	0.418
	Tropical	-0.007	0.002	26 123	-2.879	0.004
Année		0.000	0.000	26 123	0.346	0.729
Domaine climatique * année	Année * Boréal	0.000	0.000	26 123	7.217	0.000
	Année * Subtropical	0.000	0.000	26 123	1.638	0.101
	Année * Tempéré	0.000	0.000	26 123	1.667	0.095
	Année * Tropical	0.000	0.000	26 123	-3.069	0.002

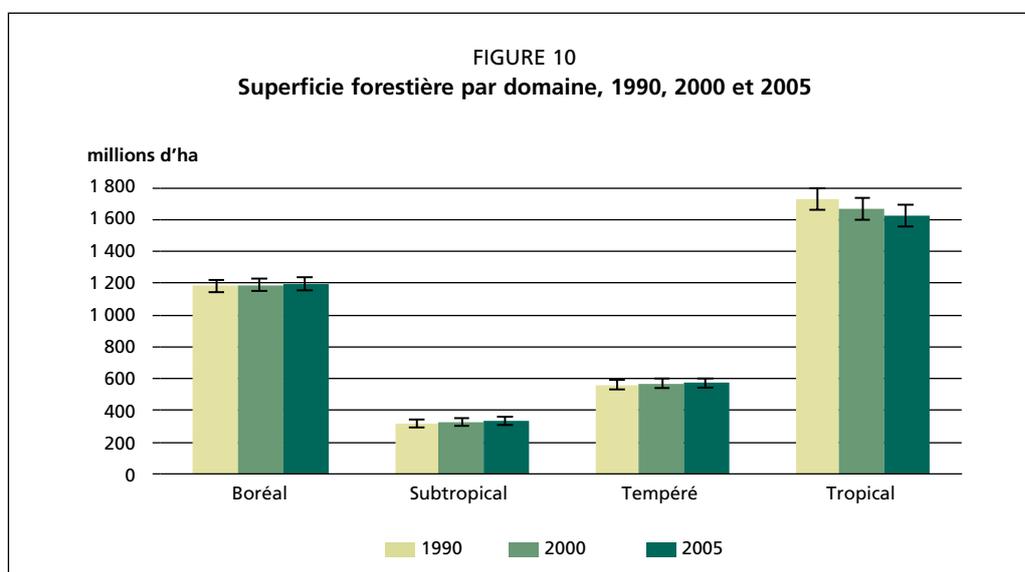
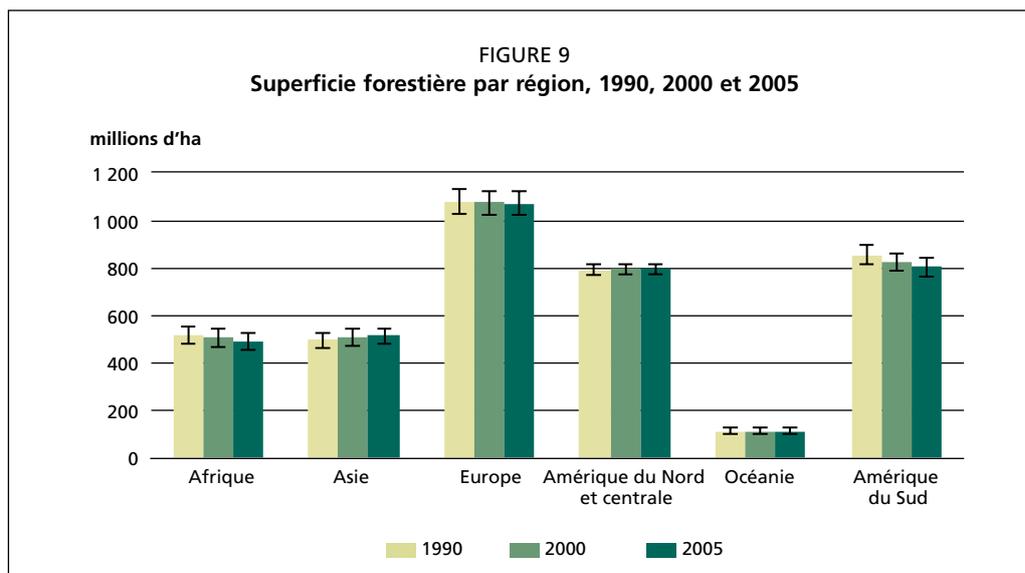


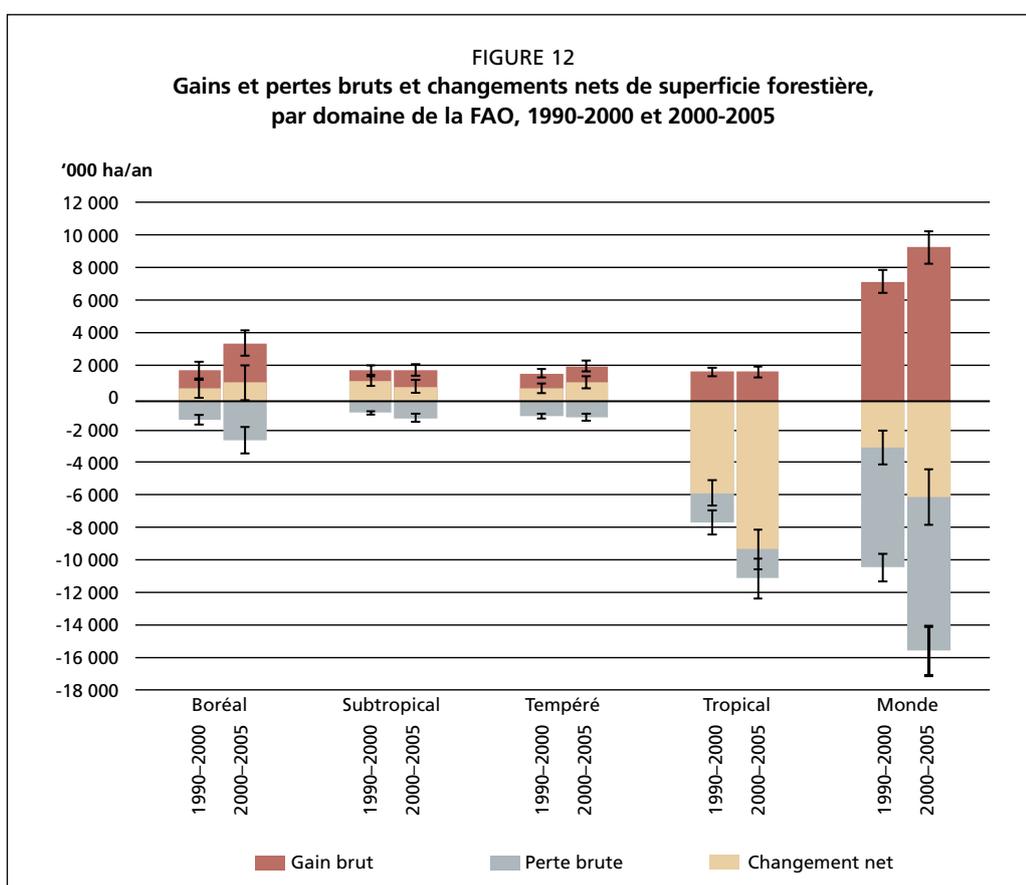
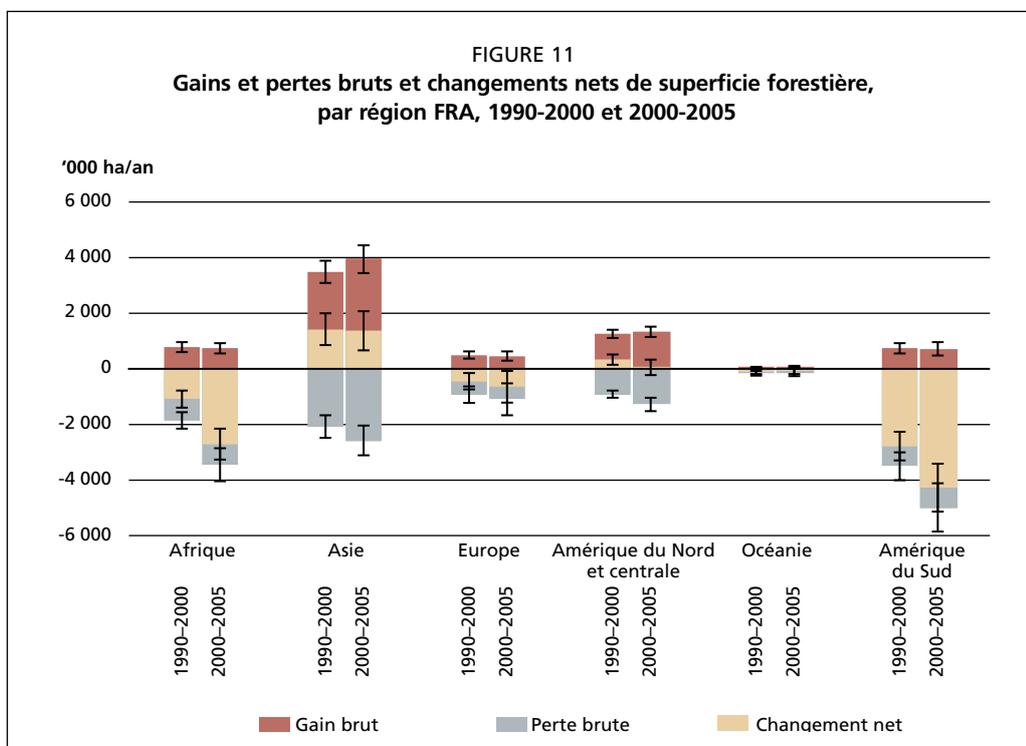
TABLEAU 7

Changement net annuel moyen en superficie forestière et intervalles de confiance de 95 pour cent entre les périodes d'enquête pour les régions FRA et les domaines de la FAO

Région	Changement net moyen ('000 ha)		Intervalle de confiance à 95% ('000 ha)		Intervalle de confiance (%)	
	1990-2000	2000-2005	1990-2000	2000-2005	1990-2000	2000-2005
Région						
Afrique	-1 091	-2 712	306	560	28	21
Asie	1 419	1 367	564	703	40	51
Europe	-437	-638	303	578	69	91
Amérique du Nord et centrale	323	55	190	287	59	522
Océanie	-101	-61	87	136	86	224
Amérique du Sud	-2 779	-4 275	516	863	19	20
Total	-2 666	-6 264	902	1 410	34	23
Domaine climatique						
Boréal	776	1 153	565	1 088	73	94
Subtropical	1 212	902	295	380	24	42
Tempéré	787	1 152	288	364	37	32
Tropical	-5 648	-9 111	775	1 238	14	14
Total	-2 873	-5 904	1 044	1 730	36	29

Note: Le changement net global a été calculé en additionnant les estimations pour les régions FRA.

L'Europe, y compris la Fédération de Russie, a enregistré une perte nette annuelle de superficie forestière statistiquement significative de 0,4 million d'hectares entre 1990 et 2000 et 0,6 million d'hectares entre 2000 et 2005. L'Océanie a enregistré d'importantes pertes nettes annuelles de forêts de 0,1 million d'hectares entre 1990 et 2000 mais, par



contre, aucun changement significatif de superficie forestière entre 2000 et 2005. Il y a eu un gain net annuel moyen significatif de superficie forestière en Amérique du Nord entre 1990 et 2000 de 0,3 million d'hectares, sans changement net significatif entre 2000 et 2005. En Asie, des gains nets annuels moyens de superficie forestière significatifs ont été enregistrés de 1,4 million d'hectares entre 1990 et 2000 et 1,4 million d'hectares entre 2000 et 2005.

C'est dans le domaine tropical que la perte nette de forêt a été la plus élevée pour les deux périodes: 5,6 millions d'hectares par an entre 1990 et 2000 et 9,1 millions d'hectares par an entre 2000 et 2005.

Le domaine tempéré a enregistré des gains nets annuels de superficie forestière significatifs de 0,8 million d'hectares entre 1990 et 2000 et 1,2 million d'hectares entre 2000 et 2005.

Dans le domaine boréal, des gains nets annuels de superficie forestière significatifs ont été enregistrés de 0,8 million d'hectares entre 1990 et 2000 et 1,2 million d'hectares entre 2000 et 2005. Le coefficient élevé de variation dans ces estimations de changement de superficie forestière, cependant, indique qu'il existe un large éventail d'estimations de changement de superficie de forêt pouvant être dû à des problèmes de classification de l'utilisation des terres et du couvert végétal dans cette zone.

Le domaine subtropical a enregistré des gains nets annuels de superficie forestière significatifs de 1,2 million d'hectares entre 1990 et 2000 et 0,9 million d'hectares entre 2000 et 2005.

DIFFÉRENCES DANS LES TAUX DE CHANGEMENT ANNUELS PAR RÉGION ET DOMAINE

Il y a eu une interaction significative entre les domaines et l'année (Tableau 5), ce qui signifie que les différences entre les périodes d'enquête n'étaient pas les mêmes pour tous les types de domaine. Ces différences de taux de changement net de forêt entre les périodes sont significatives dans les domaines boréal et tropical et non significatives dans les domaines subtropical et tempéré (Tableau 6). Le seul domaine qui a enregistré une diminution nette était celui des tropiques, où le changement net annuel est passé d'une perte de 5,6 millions d'ha en 1990-2000 à une perte de 9,1 millions d'ha en 2000-2005.

L'analyse REML du Tableau 6 autorise les corrélations spatiale et temporelle et une variance inégale entre les populations et est plus fiable que l'ANOVA pour l'analyse des données d'enquête. L'analyse REML est utilisée pour diminuer les chances de commettre une erreur de Type 1 lorsque l'on détermine la signification statistique de certains résultats (Picquelle et Mier, 2011).

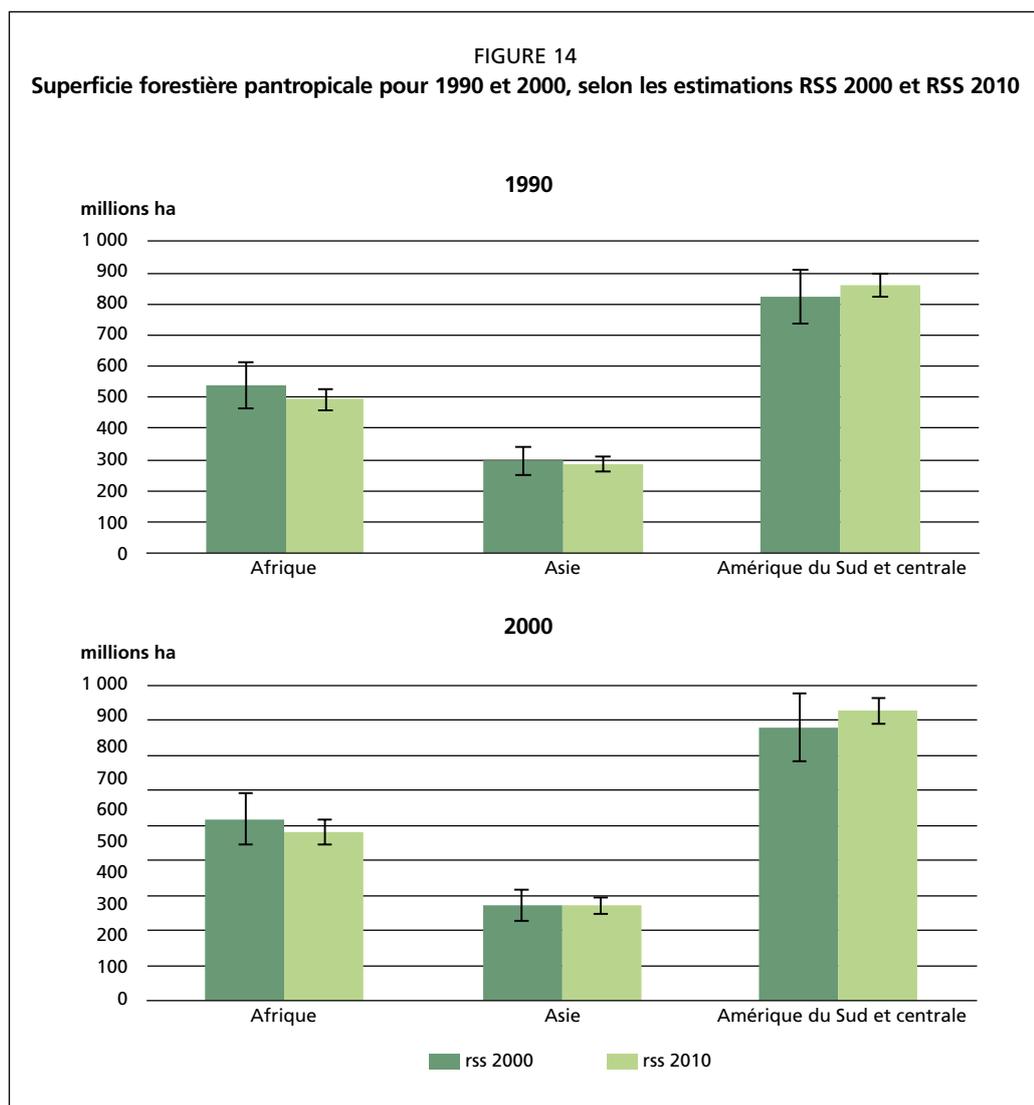
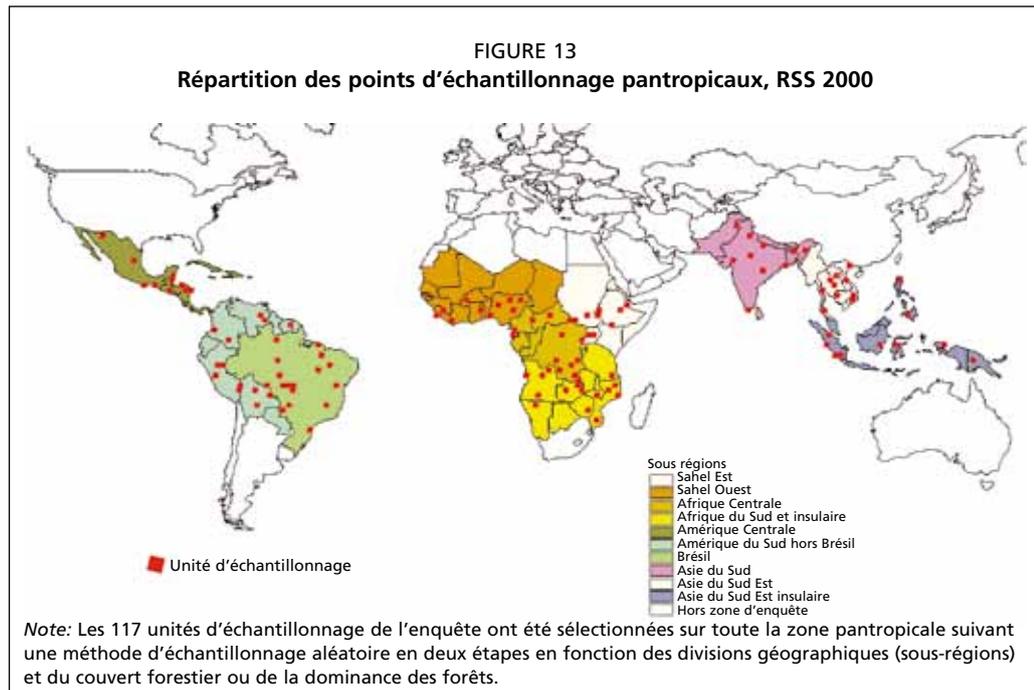
Durant ces dernières décennies, les tropiques ont été considérés comme la principale source de pertes nettes de forêt. Cette étude confirme cette tendance et le fait que la plupart des pertes ont eu lieu en Afrique et en Amérique du Sud (Tableau 7).

COMPARAISON AVEC D'AUTRES ÉTUDES DE LA FAO

Le paragraphe suivant compare les estimations de superficie forestière et de changement de superficie forestière calculées dans ce projet avec celles issues des précédentes enquêtes par télédétection pantropicales de la FAO et celles présentées dans les données tabulaires du FRA 2010 (utilisant les données fournies par les pays).

Comparaison avec les données de télédétection pantropicales de FRA 2000

La FAO (2001) a réalisé une enquête à partir d'une étude par télédétection de la superficie forestière dans les tropiques pour les années 1990 et 2000; la référence à cette enquête se fera sous le nom de RSS 2000. Les données du RSS 2010 ont été compilées en utilisant les mêmes limites géographiques que celles utilisées dans le RSS 2000 (Figure 13), et les estimations de surface forestière, de perte brute et changement net de superficie forestière pour les années 1990 et 2000 ont été comparées (Figure 14).



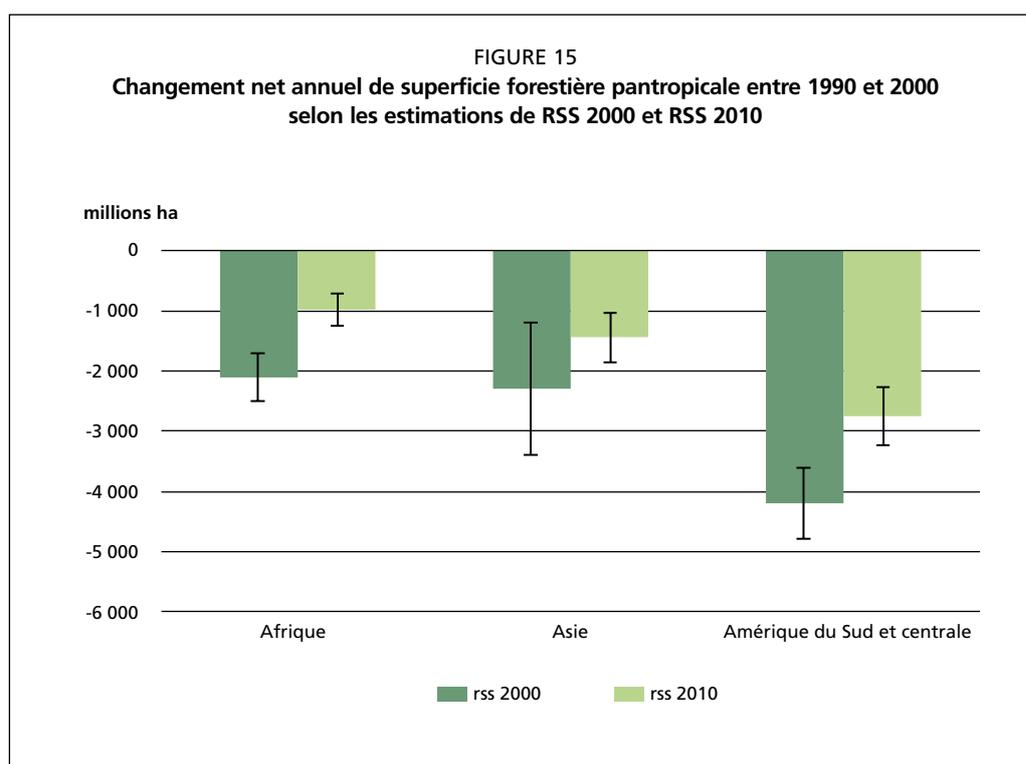
Les estimations de superficie forestière totale et de perte brute pour la période 1990-2000 n'ont pas été significativement différentes ($p < 0,05$) entre les deux enquêtes. La différence entre les estimations de changement net de superficie forestière n'est pas significative en Asie et en Amérique du Sud et centrale entre les deux enquêtes, par opposition à celles d'Afrique significativement différentes ($p < 0,05$) (Figure 15). Le RSS 2000 a ciblé la superficie de couverture forestière et n'a pas pris en compte les échantillons de non-forêt, ce qui peut expliquer pourquoi les estimations de perte nette de forêt sont généralement plus élevées dans le RSS 2000 que le RSS 2010.

Le RSS 2000 se composait de 117 scènes Landsat complètes (représentant une superficie totale d'échantillonnage de 250 millions d'hectares) et, dans la surface qui coïncide avec les deux enquêtes, le RSS 2010 a inventorié 3 631 sites d'échantillonnage (représentant une superficie totale d'échantillonnage de 36 millions d'hectares). L'augmentation du nombre d'échantillons dans le RSS 2010 a permis d'améliorer la précision des estimations par rapport au RSS 2000.

La figure 16 montre une chronologie complète des estimations de superficie forestière tropicale, par région, pour 1980, 1990, 2000 et 2005 provenant des enquêtes par télédétection du FRA. Les estimations pour 1980 ont été calculées à partir du RSS 2000 et les estimations pour 1990, 2000 et 2005 ont été tirées du RSS 2010.

Comparaison avec les tableaux d'inventaire de FRA 2010

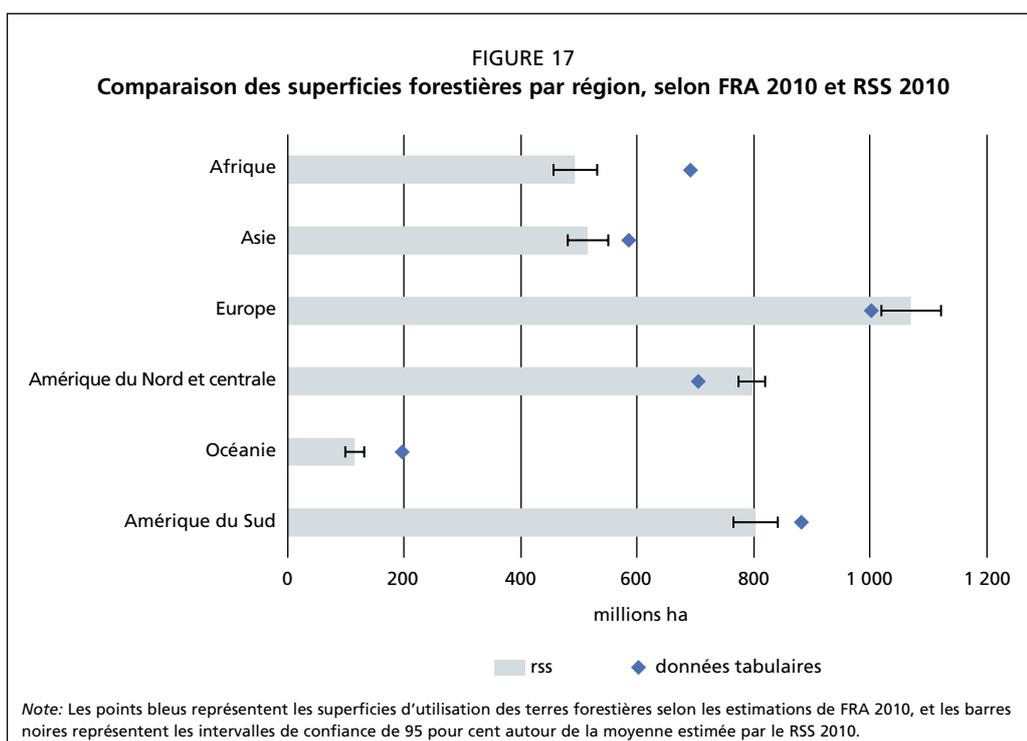
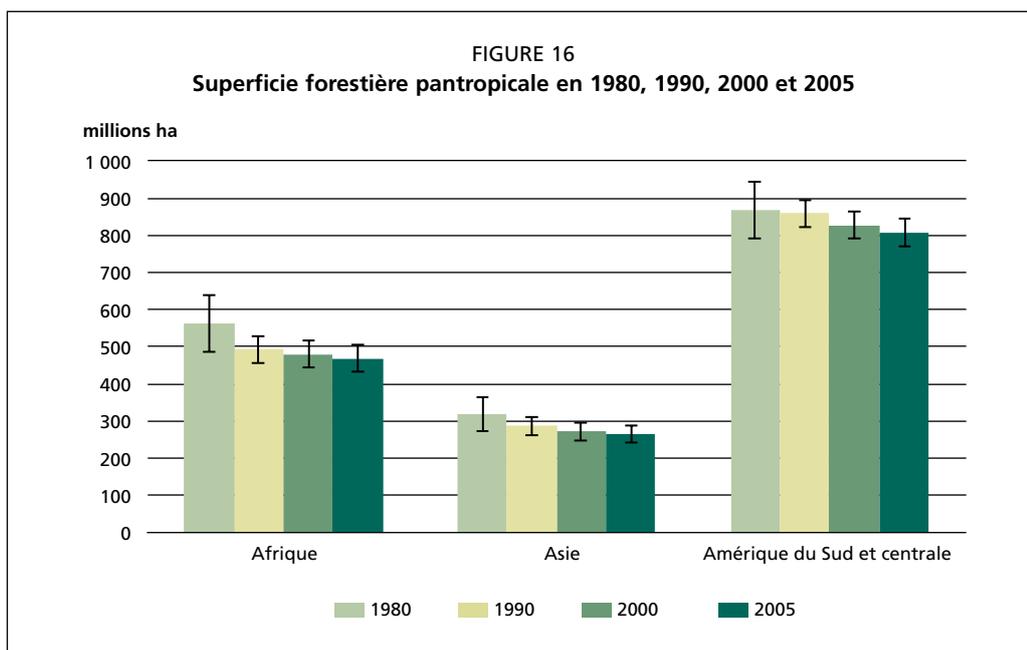
Les estimations de superficie forestière et de taux de changement de RSS 2010 diffèrent de celles présentées dans les tableaux du FRA 2010, à la fois en termes de superficie forestière que de changement annuel de superficie forestière. Les différences entre «l'état» (par ex. la superficie forestière) et la «tendance» (par ex. le changement de superficie forestière) d'utilisation des terres forestières sont complexes. Dans le paragraphe suivant, les différences d'inventaires entre le RSS 2010 et les données tabulaires du FRA 2010 (appelées FRA 2010 ci-après) sont examinées en rapport à plusieurs critères essentiels, notamment la définition de la forêt, les méthodes d'inventaire des deux enquêtes et la qualité globale de l'information reportée.



Différences de superficie forestière

L'estimation de la superficie forestière en Afrique en 2000 est d'environ 200 millions d'hectares (29 pour cent) plus élevée dans FRA 2010 que dans le RSS 2010 (Figure 17). En pourcentage, la plus grande différence est pour l'Océanie, où la superficie forestière estimée en 2000 était de 41 pour cent (81 millions d'ha) plus élevée dans FRA 2010 que dans le RSS 2010. Des différences similaires de superficie forestière ont été observées pour les estimations de 1990 et 2005.

Les différences d'estimations de superficie forestière entre cette étude et FRA 2010 sont probablement dues à des différences de méthode d'enquête et d'inventaire et d'un problème de télédétection découlant de la définition de la forêt. Les méthodes utilisées pour calculer les estimations de FRA 2010 varient selon les pays et incluent l'utilisation

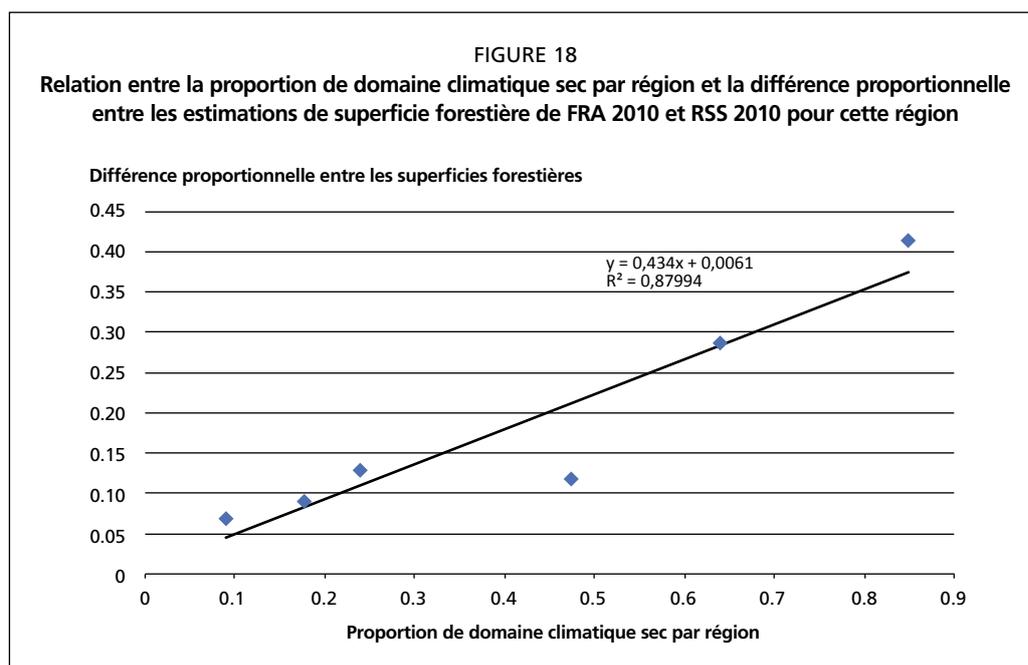


des inventaires forestiers nationaux, des études de télédétection et des avis d'experts. Les questionnaires de FRA 2010 adressés aux pays suivent un modèle standard afin d'améliorer la cohérence entre les données des pays, cependant, les pays inventorient leurs forêts de manière encore inégale conduisant à des incohérences au niveau de l'analyse de l'état et de la tendance. Par exemple, certains pays n'ont pas soumis à FRA des questionnaires complets pour FRA 2010. Pour ces pays, l'état et les tendances de superficie forestière ont été obtenus à partir de sources de données secondaires ou d'inventaires anciens (FAO, 2001). Selon la fréquence et le niveau d'inventaire, les estimations peuvent être obsolètes et de précision inconnue (Matthews, 2001).

L'Afrique possède actuellement les données les plus anciennes de toutes les régions FRA (Ö. Jonsson, Communication personnelle, 2012). L'utilisation d'informations périmées, qui ont nécessité une extrapolation, parfois depuis des décennies, pour produire des estimations pour FRA 2010, contribue à la variation observée entre les estimations de superficie forestière dans les deux études.

La définition de la forêt utilisée à la fois dans FRA 2010 et RSS 2010 se caractérise par un couvert arboré (> 10 pour cent), difficile à détecter en utilisant des images satellite à moyenne résolution spatiale et à délimiter avec précision sur le terrain en autre chose que le niveau de la parcelle. Une surface forestière avec un couvert arboré inférieur à 20 pour cent peut ne pas être détectée de manière fiable à partir d'images satellite à moyenne résolution spatiale telles que les images Landsat. Des études en cours cherchent à déterminer les seuils de pourcentage de couvert arboré classés comme forêt dans le RSS 2010 grâce à l'incorporation d'images à haute résolution spatiale pour certains sites. Une caractérisation plus cohérente des sites de faible couverture forestière pourrait réduire la différence entre les deux méthodes.

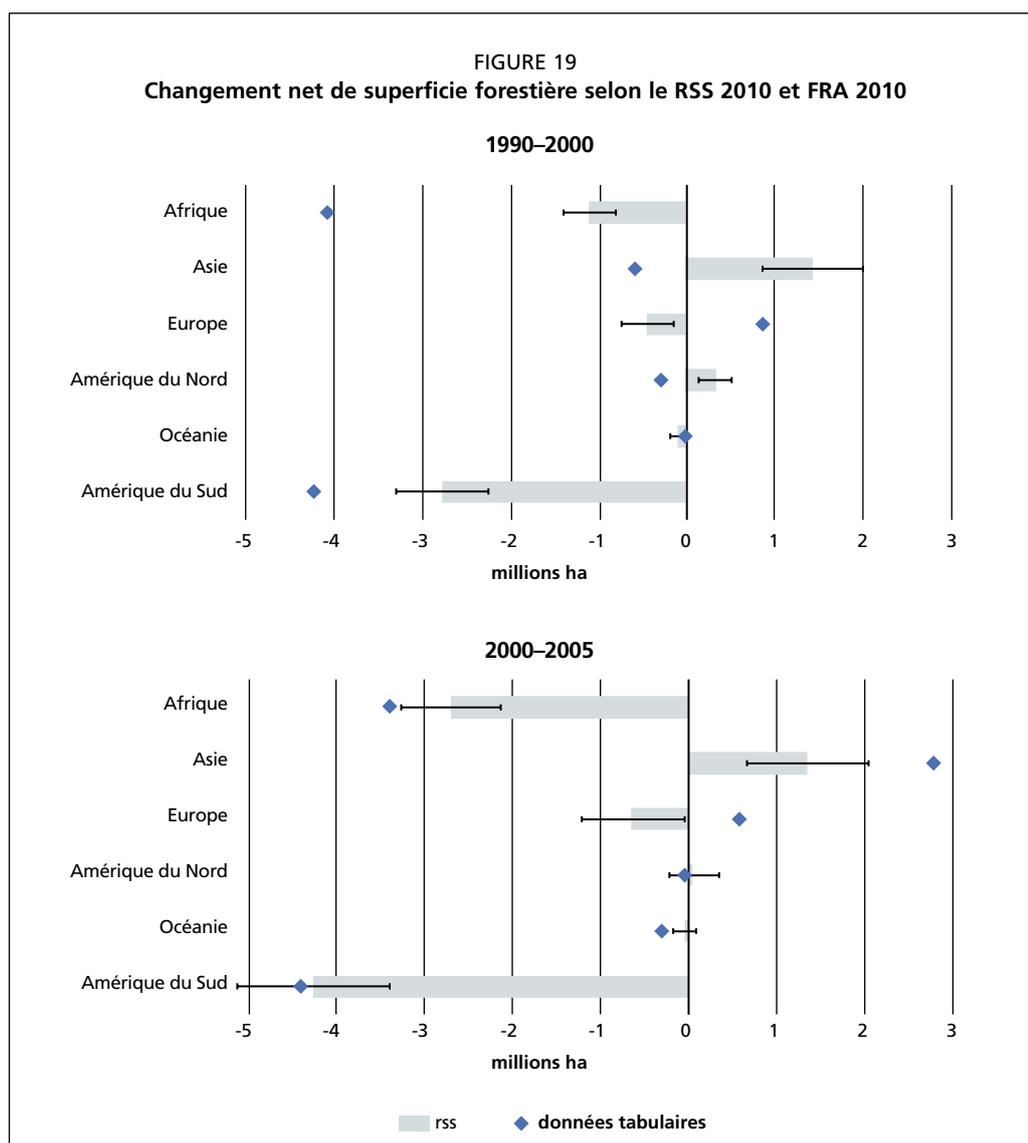
Pour tester la théorie selon laquelle la difficulté à délimiter les forêts à faible couvert arboré (généralement dans les zones de forêts plus sèches) contribue à créer des différences d'estimation de superficie forestière entre le FRA 2010 et le RSS 2010, la proportion de zone écologique sèche par région a été reliée à la différence absolue dans les estimations de superficie forestière. La figure 18 montre un degré élevé de corrélation entre la superficie de terre aride et les différences d'estimations de superficie forestière entre FRA 2010 et RSS 2010; l'incertitude au niveau des estimations de superficie de terre forestière aride peut donc contribuer aux différences d'estimations de superficie forestière.



Différences dans le changement net de superficie forestière

Les estimations de changement net de superficie forestière du RSS 2010 diffèrent de celles de FRA 2010. Le changement net global est beaucoup plus faible dans cette étude (66,4 millions d'ha) que dans FRA 2010 (107,4 millions d'ha). L'ampleur du taux annuel de changement était également différente. Les résultats du RSS 2010 indiquent que le taux annuel de perte nette de superficie forestière serait passé d'environ 3 millions d'hectares pour la période 1990-2000 à 6 millions d'hectares pour la période 2000-2005. FRA 2010, d'autre part, indique une réduction du taux annuel de perte nette de forêt qui serait passé de 8,3 millions d'hectares en 1990-2000 à 4,8 millions d'hectares en 2000-2005.

Les différences d'estimations de changement net entre les deux enquêtes sont dues en grande partie aux incertitudes au niveau des superficies forestières et des changements en Afrique, Asie et Amérique du Sud (Figure 19). Durant la période 1990-2005, le RSS 2010 rend compte d'une perte nette de superficie forestière en Afrique et en Amérique du Sud et d'une augmentation nette de superficie forestière en Asie supérieures aux deux périodes par rapport au FRA 2010. Le RSS 2010 indique une augmentation nette de superficie forestière en Asie dans les deux périodes, alors que FRA 2010 présente une perte nette de superficie forestière entre 1990 et 2000 et un accroissement net entre 2000 et 2005.



Il est à noter que FRA 2010 n'aborde pas spécifiquement la perte de forêt en tant que variable distincte et séparée, les estimations de changement de forêt proviennent plutôt de la différence entre les estimations de superficie forestière au fil du temps. Ainsi, les erreurs d'inventaire de superficie forestière conduisent à des erreurs amplifiées pour les estimations de changement de superficie forestière.

CAUSES DU CHANGEMENT D'UTILISATION DES TERRES

Le type ou la cause du changement d'utilisation des terres n'ont pas été évalués dans cette étude comme prévu initialement. L'attribution par des experts nationaux de types d'utilisation des terres à des classes plus détaillées s'est révélée difficile dans le temps imparti lors des ateliers d'examen et de révision des données. Ainsi, alors que la conversion de l'utilisation des terres forestières à d'autres utilisations des terres, et vice versa, peuvent être analysées facilement, les résultats de RSS 2010 ne précisent pas si les pertes de forêt sont attribuables à certaines utilisations spécifiques (pâturage ou cultures par ex.). De même, les gains de superficie forestière pourraient être dus à une expansion naturelle ou à des forêts plantées.

La littérature scientifique existante peut être utilisée pour mieux comprendre les causes de changement d'affectation des terres forestières. Les résultats de l'enquête ont réaffirmé que les zones tropicales enregistrent la plus forte perte nette forestière mondiale. Gibbs *et al.* (2010) ont ré-analysé les données de RSS 2000 et estimé que l'accroissement net total de superficie agricole entre 1980 et 2000 dans les tropiques a dépassé les 100 millions d'hectares, alors que près de 80 pour cent provenaient de l'utilisation de terres intactes auparavant ou perturbées. Compte tenu de la demande soutenue et croissante en produits agricoles à des fins alimentaires et énergétiques, il est probable que la conversion des forêts des régions tropicales à d'autres utilisations pour la période 2000-2005 soit également principalement due à l'expansion de l'agriculture (Lambin et Meyfroidt, 2011).

Les résultats du RSS 2010 indiquent que la superficie forestière a augmenté dans le domaine tempéré, probablement en raison de l'augmentation des plantations forestières en Asie tempérée. Liu et Tian (2010) notent une forte augmentation (51,8 millions d'hectares) des superficies forestières en Chine en raison du développement des plantations, un processus qui a commencé dans les années 50 et se poursuit aujourd'hui. FRA 2010 a confirmé en partie ces données sur la Chine, signalant une augmentation de superficie forestière d'environ 2,5 millions d'hectares par an – sur un total de 49,7 millions d'hectares – entre 1990 et 2010.

Les résultats du RSS 2010 montrent également une augmentation de la superficie forestière dans le domaine boréal, même si cette augmentation est une surprise et est plus difficile à expliquer. Cette augmentation peut être due à la repousse de la forêt qui a eu lieu sur de grandes surfaces de terres agricoles abandonnées depuis l'effondrement de l'ancienne Union soviétique: Kuemmerle *et al.* (2010) par exemple, estiment le taux d'expansion naturelle sur les terres agricoles abandonnées en Ukraine depuis 2000, à 8 600 hectares par an. Des taux similaires d'expansion naturelle des forêts peuvent être enregistrés sur près de 26 millions d'hectares de terres agricoles abandonnées de la Fédération de Russie, la Biélorussie et le Kazakhstan (Lambin et Meyfroidt, 2011).

Une autre explication possible de l'augmentation de superficie forestière détectée dans le domaine boréal pourrait provenir d'une identification erronée des zones brûlées en tant qu'utilisation des terres non forestières pour la période initiale. Au Canada, une révision largement automatisée des classifications d'occupation des sols a été réalisée en utilisant l'immense base nationale de données sur les feux de forêt du Canada (Stocks *et al.*, 2002) pour identifier les zones brûlées et reclasser *Autre occupation des sols* en *Utilisation des terres forestières* lorsqu'un incendie a été considéré comme étant la cause de disparition des forêts. La base nationale de données sur les feux de forêt du Canada enregistre les feux de plus de 200 hectares et couvre environ 97 pour cent de la superficie

totale brûlée annuellement au Canada (Stocks *et al.*, 2002). L'erreur de labellisation des petits feux en tant qu'utilisation des terres non forestières ou autres disparités entre la détection d'occupation des sols du RSS 2010 et la base nationale de données sur les feux de forêt du Canada pourraient avoir contribué à une augmentation artificielle de la surface d'utilisation des terres forestières comme zones brûlées régénérées.

ÉVALUATION DE LA PRÉCISION

Une évaluation formelle de la précision de la classification d'utilisation des terres n'a pas été effectuée dans le cadre de cette étude. Il est difficile de trouver des sources d'images de plus grande résolution spatiale, de résolution temporelle appropriée ou d'une plus grande fiabilité, en particulier à l'échelle mondiale, contre lesquelles vérifier les labels d'utilisation des terres classés automatiquement et révisés par les experts. Une comparaison des labels d'occupation des sols classés automatiquement avant et après la révision des experts indique un accord global de 77-81 pour cent (Lindquist *et al.*, soumis). Les comparaisons des classifications d'occupation des sols révisées par les experts avec des images satellite de haute résolution pour les sites sélectionnés en Fédération de Russie, ont indiqué que les révisions des experts pouvaient permettre d'obtenir un système de classification dichotomique forêt/autre terre d'une précision de près de 100 pour cent (Bartolev, 2012 données non publiées).

On s'attend, dans la plupart des cas, à ce que l'occupation des sols reflète l'utilisation des terres sous-jacente; le degré de précision obtenu grâce aux méthodes utilisées devrait donc fournir une idée de la précision des estimations globales. Toutefois, les exceptions concernant la généralisation de l'équivalence occupation des sols/utilisation des terres sont importantes et significatives. Il faudra donc s'efforcer à l'avenir de fournir des efforts supplémentaires pour élaborer une méthode d'évaluation de la précision de la classification de l'utilisation des terres.

5. Conclusion

Cette enquête est la première du genre à mesurer, de façon systématique, les pertes et les gains en termes d'utilisation des terres forestières entre 1990 et 2005 à des niveaux d'agrégation à l'échelle mondiale, régionale, des domaines climatiques et des zones écologiques. Les résultats présentés dans ce document indiquent que c'est dans le domaine climatique tropical que la conversion des forêts à d'autres usages est la plus forte et avant tout en Amérique du Sud. Les autres domaines ont été remarquablement stables au niveau du changement net d'utilisation des terres forestières sur la période 1990-2005.

Le plan d'échantillonnage systématique a permis d'estimer les gains et les pertes bruts ainsi que les changements nets de surface forestière avec un intervalle de confiance associé. L'examen et la révision des données réalisés par les forestiers dans les pays et les experts en télédétection ont permis de corriger les erreurs de classification et d'identifier les utilisations de terres non discernables par les seules sources d'images de télédétection; il a également fourni un meilleur contexte écologique pour la surveillance du couvert forestier et des changements d'utilisation des terres forestières au niveau mondial.

INTÉGRATION DE L'IMAGERIE SATELLITAIRE À BASSE RÉOLUTION POUR FACILITER LA CLASSIFICATION

L'étude a profité de l'utilisation de séries de bases de données mondiales à basse résolution spatiale pour à la fois normaliser et classifier les échantillons Landsat de résolution spatiale relativement fine. Bien que l'imagerie spatiale satellitaire à basse résolution soit souvent inadaptée en tant qu'unique source de données pour détecter les changements, plusieurs études ont montré l'efficacité d'utiliser ces données pour sélectionner les données d'entraînement pour les classifications d'occupation des sols à des résolutions spatiales plus fines. Par exemple, Hansen *et al.* (2008) ont montré l'utilité d'utiliser des données à basse résolution spatiale provenant des images MODIS/VCF pour délimiter les sites d'entraînement potentiels pour une classification en forêt/non-forêt en Afrique centrale. Des méthodes similaires ont également été appliquées avec succès en Amazonie brésilienne (Broich *et al.*, 2009), Indonésie (Broich *et al.*, 2011), et dans la région boréale de la Fédération de Russie (Potapov *et al.*, 2008; Potapov, Turubanova et Hansen, 2011).

IMPORTANCE DE LA RÉVISION DE LA CLASSIFICATION

Le contrôle visuel et la correction ont constitué une partie importante du processus de classification de l'occupation des sols et de l'utilisation des terres et a eu un grand impact sur les résultats finaux. Une comparaison des premiers résultats de la classification automatisée de l'occupation des sols pour les tropiques avec ceux qui ont suivi les révisions, indique qu'environ 20 pour cent des labels de polygones ont été révisés par les experts nationaux (Raši *et al.*, 2011). Des résultats similaires ont été obtenus pour les sites des zones boréale, tempérée et subtropicale (Lindquist *et al.*, soumis). L'affinement visuel a également eu un effet notable sur les estimations de surface et de changement de surface forestière: pour l'Asie du Sud, par exemple, le taux net de changement de couvert forestier (perte) de 1990-2000 a été évalué à 0,9 pour cent avant et à 1,6 pour cent après contrôle visuel (Raši *et al.*, 2011).

UTILITÉ DES IMAGES LANDSAT POUR UNE SURVEILLANCE MONDIALE

Les méthodes de classification et de détection des changements d'occupation des sols qui utilisent les données de capteurs Landsat actuels sont essentielles pour enregistrer les changements d'occupation des sols avant l'apparition de nouvelles générations de capteurs. Le programme Landsat possède les plus longues séries chronologiques continues d'observations satellite similaires de la Terre qui constituent une composante essentielle pour l'analyse du changement d'occupation des sols et d'utilisation des terres depuis les années 70. Landsat 7, le tout dernier satellite, a été lancé en 1999 mais a subi une panne mécanique en mai 2003 créant un manque de données dans la ligne de balayage perpendiculaire à la trajectoire couvrant 23 pour cent de chaque image (Williams, Goward et Arvidson, 2006). Les méthodes d'échantillonnage, comme celles décrites dans cette étude, sont parfaitement adaptées pour les images Landsat actuellement disponibles et doivent être utilisées pour exploiter les grandes quantités d'informations gratuites disponibles dans les archives Landsat (Woodcock *et al.*, 2008).

MISE EN PLACE DE RÉSEAUX MONDIAUX

Le projet a créé deux réseaux mondiaux très importants. L'un était la grille d'enquête mondiale, qui sera mise à jour avec les données de 2010 dans le cadre du prochain FRA (à paraître en 2015). Le second réseau, peut-être plus important, est notamment constitué par les nombreux experts nationaux ayant participé à l'enquête et qui restent des points de contact et des sources importantes en matière d'expertise sur la télédétection et l'utilisation des terres forestières dans les différents pays membres de la FAO.

Références bibliographiques

- Arino, O., Bicheron, P., Achard, F., Latham, J., Witt, R. et Weber, J.L. 2008. The most detailed portrait of Earth. *ESA Bulletin* (Agence spatiale européenne), 136: 24–31.
- Asner, G. P. 2001. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. *Environmental Studies*, 22(18), 3855–3862. DOI:10.1080/01431160010006926.
- Avissar, R. et Werth, D. 2005. Global hydroclimatological teleconnections resulting from tropical deforestation. *J. Hydrometeorology*, 6(2): 134–145. DOI: 10.1175/JHM406.1.
- Baatz, M. et Schappe, A. 2000. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In J. Strobl, T. Blaschke et G. Griesebner, eds. *Angewandte geographische informations-verarbeitung XII*. Karlsruhe, Allemagne, Verlag. pp. 12– 23.
- Bartolev, S. 2012. Unpublished data on accuracy of FRA RSS land cover classification compared to high spatial resolution satellite imagery.
- Beuchle, R., Eva, H.D., Stibig, H.-J., Bodart, C., Brink, A., Mayaux, P., Johansson, D., Achard, F. et Belward, A. 2011. A satellite data set for tropical forest change assessment, *Int. J. Remote Sens.* DOI: 10.1080/01431161.2011.611186.
- Bodart, C., Eva, H.D., Beuchle, R., Raši, R., Simonetti, D., Stibig, H.-J., Brink, A., Lindquist, E. et Achard, F. 2011. Pre-processing of a sample of multi-scene and multi-date Landsat imagery used to monitor forest cover changes over the tropics. *ISPRS J. Photogram. Remote Sens.* 66: 555–563.
- Broich, M., Hansen, M.C., Potapov, P., Adusei, B., Lindquist, E. et Stehman, S.V. 2011. Time-series analysis of multi-resolution optical imagery for quantifying forest cover loss in Sumatra and Kalimantan, Indonesia. *Int. J. Appl. Earth Obs. and Geoinformation*, 13(2): 277–291. DOI: 10.1016/j.jag.2010.11.004.
- Broich, M., Stehman, S.V., Hansen, M.C., Potapov, P. et Shimabukuro, Y.E. 2009. A comparison of sampling designs for estimating deforestation from Landsat imagery: a case study of the Brazilian Legal Amazon. *Remote Sens. Environment*, 113(11): 2448–2454. DOI: 10.1016/j.rse.2009.07.011.
- Carroll, M.L., Townshend, J.R., DiMiceli, C.M., Noojipady, P. et Sohlberg, R. 2009. A new global raster water mask at 250 m resolution. *Int. J. Digital Earth*, 2(4): 291–308. DOI: 10.1080/17538940902951401.
- Czaplewski, R. 2002. *FRA 2000: On sampling for estimating global tropical deforestation*. Forest Resources Assessment Programme, Document de travail 60, Rome, FAO.
- Desclée, B., Bogaert, P., Defourny, P. 2006. Forest change detection by statistical object-based method. *Remote Sens. Environment*, 102: 1–11.
- Duveiller, G., Defourny, P., Desclée, B. et Mayaux, P. 2008. Deforestation in Central Africa – estimates at regional national and landscape levels by advanced processing of systematically distributed Landsat extracts. *Remote Sens. Environment*, 112: 1969–1981.
- Eva H., Carboni S., Achard F., Stach N., Durieux L., Faure J-F. et Mollicone D. 2010. Monitoring forest areas from continental to territorial levels using a sample of medium spatial resolution satellite imagery. *ISPRS J. Photogram. Remote Sens.*, 65: 191–197.
- FAO. 2001. *Evaluation des ressources forestières mondiales 2000*, rapport principal, Études FAO: Forêt FAO 140. Rome.
- FAO. 2010. *Evaluation des ressources forestières mondiales 2010*, rapport principal, Études FAO: Forêt FAO 163. Rome.
- FAO. 2012. Global ecological zones for FAO forest reporting: 2010 Update. FRA working paper 179. Rome.

- Feddema, J.J., Oleson, K.W., Bonan, G.B., Mearns, L.O., Buja, L.E., Meehl, G.A. et Washington, W.M. 2005. The importance of land-cover change in simulating future climates. *Science*, 310(5754): 1674–8. DOI: 10.1126/science.1118160.
- Gibbs, H.K., Ruesch, A.S., Achard, F., Clayton, M., Holmgren, P., Ramankutty, N. et Foley J.A. 2010. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 107: 16732–16737.
- Gillis, M.D., Omule, A.Y. et Brierley, T. 2005. Monitoring Canada's forests: the national forest inventory. *Forestry*, 81.
- Gutman, G., Byrnes, R., Masek, J., Covington, S., Justice, C., Franks, S. et Kurtz, R. 2008. Towards monitoring land cover and land use changes at a global scale: the global land survey 2005. *Photogram. Eng. and Remote Sens.*, 74: 6–10.
- Hansen, M.C., DeFries, R.S., Townshend, J.R.G., Carroll, M., Dimiceli, C. et Sohlberg, R.A. 2003. Global percent tree cover at a spatial resolution of 500 meters: first results of the MODIS Vegetation Continuous Fields algorithm. *Earth Interactions*, 7(10).
- Hansen, M.C., Roy, D., Lindquist, E., Adusei, B., Justice, C. et Altstatt, A. 2008. A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin. *Remote Sens. of Environment*, 112: 2495–2513.
- Hoffhine, E. et Sader, S.A. 2002. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sens. Env.*, 80, 385–396.
- Homer, C., Huang, C., Yang, L., Wylie, B. et Coan, M. 2004. Development of a 2001 national land-cover database for the United States. *Photogram. Eng. and Remote Sens.*, 70(7): 829–840.
- Horler, D.N.H., et Ahern, F.J. 1986. Forestry information content of Thematic Mapper data. *Int. J. Remote Sens.*, 7(3): 405–428. DOI: 10.1080/01431168608954695.
- JRC. 2010. P. Kennedy, ed., *Science for the environment*, Luxembourg, Joint Research Centre (disponible sur <http://ies.jrc.ec.europa.eu/>).
- Ju, J. et Roy D.P. 2008. The availability of cloud-free Landsat ETM+ data over the conterminous United States and globally. *Remote Sens. Env.*, 112(3): 1196–1211. DOI: 10.1016/j.rse.2007.08.011.
- Kuemmerle, T., Olofsson, P., Chaskovskyy, O., Baumann, M., Ostapowicz, K., Woodcock, C.E., Houghton, R.A., Hostert, P., Keeton, W.S. et Radeloff, V.C. 2011. Post-Soviet farmland abandonment, forest recovery, and carbon sequestration in western Ukraine. *Global Change Biology*, 17(3), 1335–1349. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02333.x.
- Kurz, W.A. 2010. An ecosystem context for global gross forest cover loss estimates. *Proc. Nat. Acad. Sc. USA*, 107(20): 9025–6. DOI:10.1073/pnas.1004508107.
- Lambin, E., Turner, B., Geist, H., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., Coomes, O., Dirzo, R., Fischer, G. et Folke, C. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Env. Change*, 11(4): 261–269. DOI: 10.1016/S0959-3780(01)00007-3.
- Lambin, E. F., et Meyfroidt, P. 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(9), 3465–72. DOI: 10.1073/pnas.1100480108.
- Lindquist, E.J., D'Annunzio, R., MacDicken, K., Hansen, M.C., Bodart, C., Raši, R., Achard, F. et Gerrand, A. Submitted. Object-based land cover and land use classification for a global systematic sample of Landsat from 1990–2000–2005: the FAO methods for the FRA-2010 Remote Sensing Survey. Submitted to IEEE JSTARS, 2012.
- Liu, M., et Tian, H. 2010. China's land cover and land use change from 1700 to 2005: Estimations from high-resolution satellite data and historical archives. *Global Biogeochemical Cycles*, 24(3). DOI:10.1029/2009GB003687.
- Matthews, E. 2001. *Understanding the FRA 2000*, World Resources Institute Forest Briefing No. 1 (disponible sur <http://pdf.wri.org/fra2000.pdf>).

- Mayaux P., Holmgren, P., Achard, F., Eva, H.D., Stibig, H.-J. et Branthomme, A. 2005. Tropical forest cover change in the 1990's and options for future monitoring. *Phil. Trans. B*, 360: 373–384.
- Pan Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S.L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala, S.W., McGuire, D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. et Hayes, D. 2011. Large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333: 988–993.
- Paustian, K., Ravindranath, N.H. et van Amstel, A. 2006. Forest land. In H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara et K. Tanabe, eds. *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*, Volume 4. Hayama, Japon, Institute for Global Environmental Strategies (aussi disponible sur www.ipcc-nggip.iges.or.jp).
- Picquelle, S.J. et Mier, K.L. 2011. A practical guide to statistical methods for comparing means from two-stage sampling. *Fisheries Research* 107(1–3): 1–13. DOI: 10.1016/j.fishres.2010.09.009.
- Potapov, P., Hansen, M., Stehman, S., Loveland, T. et Pittman, K. 2008. Combining MODIS and Landsat imagery to estimate and map boreal forest cover loss. *Remote Sens. Env.*, 112(9): 3708–3719. DOI:10.1016/j.rse.2008.05.006.
- Potapov, P., Hansen, M.C., Gerrand, A.M., Lindquist, E.J., Pittman, K., Turubanova, S. et Loyche-Wilkie, M. 2010. The global Landsat imagery database for the FAO FRA remote sensing survey. *Int. J. Digital Earth*, 4(1): 2–21.
- Potapov, P., Turubanova, S., et Hansen, M.C. 2011. Regional-scale boreal forest cover and change mapping using Landsat data composites for European Russia. *Remote Sens. Env.*, 115(2): 548–561. Doi: 10.1016/j.rse.2010.10.001.
- Raši, R., Bodart, C., Stibig, H.-J., Eva, H.D., Beuchle, R., Carboni, S., Simonetti, D. et Achard, F. 2011. An automated approach for segmenting and classifying a large sample of multi-date Landsat-type imagery for pan-tropical forest monitoring, *Remote Sens. Env.*, 115 (12):3659–3669. DOI: 10.1016/j.rse.2011.09.004.
- Ridder, R. 2007. *Global Forest Resources Assessment 2010: options and recommendations for a global remote sensing survey of forests*. Forest Resources Assessment Programme, Document de travail 141, Rome, FAO, <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai074e/ai074e00.pdf>.
- Sala, O.E. 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287(5459): 1770–1774. DOI:10.1126/science.287.5459.1770.
- Seebach, L., Strobl, P., Vogt, P., San-Miguel-Ayanz, J., Kempeneers, P., Sedano, F. et Gerrand, A. 2010. *Pilot study in Europe for the Global Forest Remote Sensing Survey*, JRC Technical Reports, EUR 24488 EN. Luxembourg, Office des publications de l'Union européenne (aussi disponible sur <http://forest.jrc.ec.europa.eu/publications>).
- Simonetti, D., Beuchle, R. et Eva, H.D. 2011. *User manual for the JRC land cover/use change validation tool*, p 21. Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg, Office des publications de l'Union européenne. DOI: 10.2788/18205.
- Stehman, S.V., Sohl, T.L., et Loveland, T.R. 2005. An evaluation of sampling strategies to improve precision of estimates of gross change in land use and land cover. *Int. J. Remote Sens.*, 26: 4941–4957.
- Stocks, B.J., Mason, J.A., Todd, J.B., Bosch, E.M., Wotton, B.M., Amiro, B.D., Flannigan, M.D., Hirsch, K.G., Logan, K.A., Martell, D.L. et Skinner, W.R. 2002. Large forest fires in Canada, 1959–1997. *J. Geophys. Res.* 108(D1): 5/1–5/12. Doi: 10.1029/2001JD000484.
- Toivonen, T., Kalliola, R., Ruokolainen, K., et Naseem Malik, R. 2006. Across-path DN gradient in Landsat TM imagery of Amazonian forests: a challenge for image interpretation and mosaicking. *Remote Sens. Environment*, 100(4): 550–562. DOI: 10.1016/j.rse.2005.11.006.
- Vogelmann, J., Howard, S., Limin, Y., Larson, C., Wylie, B., et Van Driel, N. 2001. Completion of the 1990s National Land Cover Data Set for the conterminous United

- States from Landsat Thematic Mapper data and ancillary data sources. *Photogram. Eng. et Remote Sens.*, 650–662.
- Williams, D.L., Goward, S., et Arvidson, T.** 2006. Landsat: yesterday, today, and tomorrow. *Photogram. Eng. et Remote Sens.*, 72(10): 1171–1178.
- Woodcock, C.E., Allen, R., Anderson, M., Belward, A., Bindshadler, R., Cohen, W., Gao, F., Goward, S.N., Helder, D.L., Helmer, E.H., Nemani, R., Oreopoulos, L., Schott, J.R., Thenkabail, P.S., Vermote, E.F., Vogelmann, J.E., Wulder, M.A., and Wynne, R.** 2008. Free access to Landsat imagery. *Science*, 320(May).
- Wulder, M.A., Dechka, J.A., Gillis, M.D., Luther, J.E., Hall, R.J., Beaudoin, A. et Franklin, S.E.** 2006. Operational mapping of the land cover of the forested area of Canada with Landsat data: EOSD land cover program. *The Forestry Chronicle*, 79(6): 1075–1083.

Annexe 1

Méthodologies de révision des données spécifiques à certains pays

Cette étude s'est efforcée au maximum de produire des données cohérentes à l'échelle mondiale. Certains pays, cependant, ont utilisé d'autres méthodes pour examiner et réviser les classifications d'occupation des sols et d'utilisation des terres. Ces différentes méthodes sont décrites ici.

CANADA

Les données du Canada ont été calculées selon la méthode de classification décrite dans cette étude, mais appliquée à travers le système de grille photo-parcelle de l'Inventaire forestier national (IFN) du Canada (Gillis, Omule et Brierley, 2005). L'IFN utilise des parcelles de 2 km par 2 km avec un espacement horizontal et vertical de 20 km (grille de 20 km systématique), ce qui a permis d'obtenir plus de 18 000 parcelles. Pour le RSS 2010, un échantillon de 25 pour cent des parcelles (chaque quatrième parcelle) a été choisi pour la première analyse (Figure 1). Au total, 4 052 parcelles de 2 km par 2 km ont été analysées dans tout le Canada.

Pour chaque parcelle, des segments de niveau 1 des images de 2000 ont directement reçu des labels d'occupation des terres à partir de la série de données canadiennes d'Observation de la Terre pour le développement durable des forêts (OTDD) (Wulder *et al.*, 2006). Les données OTDD ont une résolution spatiale Landsat de 25 m, et sont classifiées en 23 classes d'occupation des sols pour les régions boisées du Canada. Les 23 classes OTDD ont été regroupées en 5 classes, et une valeur a été assignée aux segments de niveau 1 pour 2000 en fonction de la principale occupation des sols des données OTDD correspondantes. La méthodologie complète, décrite dans ce document, a été utilisée lorsque les données OTDD manquaient (pour de nombreuses parties non boisées du Canada) et pour classifier les segments de 1990 et de 2005.

La conversion initiale d'occupation des sols en utilisation des terres a été effectuée suivant les règles de conversion de l'enquête, décrites dans ce document. Une série de re-codage automatique a ensuite été réalisée durant la phase de révision de la validation d'utilisation des terres. Des polygones de re-codage ont été employés pour l'utilisation des terres forestières lorsque les photos-parcelles de l'IFN indiquaient une activité forestière commerciale ou qu'un feu de forêt a eu lieu au cours de la période analysée (indiqué dans la Base nationale de données sur les feux de forêt du Canada; Stocks *et al.*, 2002), ou lorsqu'il n'y a eu aucune déforestation connue (cf. les données sur l'utilisation des terres et la déforestation de l'IFN). Les autres sites ont été examinés par des interprètes d'images afin d'assurer l'exactitude de la classification finale d'utilisation des terres.

Les estimations des paramètres ont été calculées séparément pour le Canada et intégrées dans les analyses des régions FRA et des domaines climatiques de la FAO.

FÉDÉRATION DE RUSSIE

La Fédération de Russie a utilisé un échantillon stratifié de 300 sites d'échantillonnage d'ETD pour estimer la superficie forestière et ses changements pour les trois périodes d'enquête. La Fédération de Russie contient en théorie 1 961 sites d'échantillonnage d'ETD mais les données Landsat sont disponibles pour seulement 1 219 d'entre eux pour les trois périodes, offrant une couverture incomplète due à l'absence d'images satellite pour la partie orientale de la Fédération de Russie en 1990. Même si les 1 961 sites d'échantillonnage ont été traités en utilisant les méthodes décrites dans ce document, les experts n'ont pas pu réviser tous les sites d'échantillonnage de la Fédération de Russie en raison du temps imparti à la réalisation de cette étude.

Les images sans nuage et saisonnières de résolution spatiale de 250 m de MODIS ont été utilisées parallèlement aux indices de changement de végétation, pour créer 23 strates en fonction du pourcentage de couverture forestière et de l'importance des changements de couverture indiqués. Une sélection aléatoire a permis d'obtenir des parcelles finales selon une distance minimale de séparation (on a préféré isoler les parcelles plus tard, par strate) et un nombre minimum de 10 parcelles par strate pour la révision finale; 282 sites ont été interprétés par les experts pour la classification d'occupation des sols et d'utilisation des terres. Les estimations de paramètre et la variance statistique de l'échantillon stratifié ont été incorporées à celles de l'échantillonnage systématique pour l'Europe et utilisées dans les analyses pour le domaine boréal.

ÉTATS-UNIS D'AMÉRIQUE

Les résultats de l'ETD pour les États-Unis d'Amérique ont été calculés à partir des séries de données du National Land Cover Dataset (NLCD) (Vogelmann *et al.*, 2001; Homer *et al.*, 2004). Le NLCD rassemble 21 classes d'occupation des sols pour les États-Unis contiguës basées sur les données Landsat. Les 21 classes ont été synthétisées en cinq classes d'occupation des sols pour le RSS 2010. Les segments de niveau 2 pour 1990, 2000 et 2005 ont reçu des labels d'occupation des sols directement à partir de la série de données NLCD pour chaque période de l'enquête. Les labels d'occupation des sols ont été ajustés pour l'utilisation des terres en utilisant des règles de conversion automatisées décrites dans ce document. Un échantillonnage aléatoire de sites, par domaine climatique de la FAO, a été sélectionné pour la révision des images pour les États-Unis continentaux et l'Alaska. Pour chaque site révisé, l'exactitude d'utilisation des terres a été évaluée par rapport au NLCD et à la photographie aérienne à haute résolution. Les résultats de cette évaluation ont été utilisés pour ajuster la surface totale de la catégorie d'utilisation des terres pour les États-Unis dans leur ensemble et pour chaque domaine climatique de la FAO.

Annexe 2

Sites d'enquête traités ou analysés

Le tableau ci-dessous présente, par région ou groupe de pays, le nombre de sites d'échantillonnage traités (total), analysés et non analysés. Certains sites n'ont pas été analysés en raison du manque de données dans une ou plusieurs périodes du fait de la couverture nuageuse, du manque d'images satellites ou d'autres anomalies dans les données.

Région/pays	Analysés	Non analysés	Total
Afrique	2 322	196	2 518
Asie	2 863	184	3 047
Canada	3 737	315	4 052
Europe	625	55	680
Océanie	769	29	798
Fédération de Russie	282	1 679	1 961
Amérique du Sud	1 372	129	1 501
Amérique du Nord et Centrale	1 096	126	1 222
Grand Total	13 066	2 713	15 779

Annexe 3

Personnes ayant contribué à l'examen et la révision des données

Afrique centrale: M. André, A. Bararwandika, G. Begoto, L. Dimanche, F. Esono Mba, N. Gideon, M. Ibara, A. Kondjo Shoko, H. Koy Kondjo, S. Makak, F. Mande, J. Mendo Biano, C. Musampa, R. Ncogo Motogo, B. Nkoumakali, C. Ouissika

Afrique de l'Est: B. Abdelbagi Elsidig Yousif, H. Abdelraheem Eltigani, S. Abdelrahman Edrees Alim, F. Anouar Haroon Turbo, S. Bakheit Mando, M. Balla Elfadel, N. Chamuya, J. Eltayeb Ahmed Adam, A. Eman Ibrahim Ahmed, A. Hanady Ibrahim Abdelgabar, S. Ishraga Yousif Ali, A. Jeylani, E. Maina, I. Manal Ali Yassin, M. Mohamed Ahmed, M. Mohamed Rakhi, J. Muchichwa, B. Mutasim Fadlseed, A. Mvududu, K. Mwaura Wamichwe, J. Otieno, M. Ranin Mahdi Elfadel, M. Salah Yousif, O. Saria Mohamed Abd Alsattar, M. Shaie Alim, S. Sibuh, E. Ssenyonjo, T. Taddesse, M. Yousif Modwi Ali

Afrique du Sud: M. Yousif Modwi Ali, L. Basalumi, K. Chirambo, D. Cunhete, M. Dhliwayo, L. Dobson, J. Kamwi, J. Leroux, M. Lotter, J. Macuacua, J. Makinta, J. Mukosha, M. Pande, V. Rahanitrianiaina, M. Rutherford, S. Syampungani

Afrique de l'Ouest et du Nord: A. Abimbola Abayomi, G. Akouehou, M. Barry, R. Bayala, O. Biodun Freeman, A. Djimramadji, O. Faye, A. Garba, A. Goudiaby, B. Jobo Samba, Y. Kombate, A. Lefhaili, A. Mariko, A. Nouhou, E. Ould Boubacar, C. Ould Sidi Mohamed, N. Tangara, M. Yakubu, T. Yantay

Amérique centrale: F. Antonio Girón Gonzáles, M. Castillo, I. de la Caridad Diago Urfé, A. Degracia, Y. González Rivera, A. Granja, T. Hernandez Contreras, E. Mejias Sedeño, J. Rodriguez Rubí, C. Velasco, A. Yolanda Duarte Noriega, A. Yovany Murillo

Amérique du Nord: M. Gillis, S. Healey, C. Meneses-Tovar

Amérique du Sud: G. Bayma, E. Bolfe, A. Garçon, D. Gomez, W. Holler, P. Martinho, B. Oliveira, C. Spadotto, R. Torlay, S. Trajano, D. Victoria, C. Bahamondez, R. Benitez, L. Boragno, R. de la Cruz Paiva, R. Echeverría, R. Gosalvez, J. Marquina, P. Melgarejo, C. Montenegro, M. Ormeno, O. Peña, A. Rodríguez Montellano, E. Rojas, M. Uribe

Asie de l'Est: M. Bayasgalan, Z. Changgui, X. Chaozong, H. Cho, X. Dengpin, Y. Hirata, M. Kexi, S. Kim, W. Liuru, Z. Min, Z. Narangerel, L. Shiyang, E. Sumiyasuren, Z. Wei, L. Xiaonong, C. Xinyun, W. Xuejun

Asie du Sud-Est: L. Anh Hung, N. Bantayan, C. Bigol, B. Budiharto, L. Chivin, P. Edirisinghe, K. Homsysavath, P. Htut, J.A.F. Ignazio, Y. Jantakat, P. Kandel, B. Luangphaseuth, J. Pokana, S. Preap, S. Pungkul, M. Rahman, E. Sambale, D. San San Aye, R. Sari, R. Singh Bondwal, M. Srivastava, K. Tshering, M. Van Tinh, L. Wong

Asie de l'Ouest: S. Chukumbaev, H. Samadi, M. Shojalilov

Europe: S. Bartalev, A. Bastrup-Birk, C. Bauerhansl, S. Bauwens, J. Boureau, C. Dos Santos, G. Fernández Centeno, I. Gitas, M. Kendüzler, M. Lawrence, H. Mäkelä, G. Mozgeris, K. Olschofsky, P. Olsson, A. Seletkovic, D. Uebersax, K. Arnt, F. Baiocco, F. Barrett, N. Bonora, T. Bucha, M. Buksha, V. Gancz, F. Hajek, M. Ilyuchyk, T. Kochneva, D. Krasouski, Z. Magyar, I. Marinosci, L. Mezei, E. Rune, V. Sambucini, V. Storozhuk, F. Stytsenko, S. Todorov, B. Tubic, R. Visentin, J. Zarins

Océanie: C. Howell, P. Lane, M. Mutendeudzi

Liste des ateliers nationaux et régionaux de revue et de révision des données/images

Zone d'intérêt	Site	Date	Nb de pays	Nb d'experts	Femme	Homme
Brésil	São José dos Campos	Sep. 2009	1	2	0	2
Afrique centrale	Brazzaville	Fév. 2010	8	16	1	15
Amérique du Nord	Salt Lake City	Mars 2010	3	3	1	2
Afrique du Sud	Le Cap	Mars 2010	8	16	3	13
Europe de l'Ouest	Rome	Mars 2010	14	14	3	11
Amérique centrale	Panama City	Juil. 2010	7	12	5	7
Asie du Sud-est	Bangkok	Août 2010	14	23	5	18
Asie de l'Est	Beijing	Sep. 2010	3	16	3	13
Amérique du Sud	Valdivia	Nov. 2010	7	14	2	12
France	Nogent	Nov. 2010	1	1	0	1
Afrique de l'Est	Nairobi	Déc. 2010	6	11	1	10
Afrique de l'Ouest	Dakar	Mars 2011	13	18	1	17
Nouvelle-Zélande	Rome	Mars 2011	1	1	0	1
Australie	Canberra	Avr. 2011	1	2	1	1
Europe de l'Est	Budapest	Mai 2011	9	14	1	13
Irlande/Lettonie	Téléconférence	Mai 2011	2	2	0	2
Soudan	Khartoum	Mai 2011	1	18	5	13
Brésil	Campinas	Juin 2011	1	9	3	6
Italie	Rome	Juin 2011	1	5	1	4
Asie de l'Ouest, Afrique du Nord	Rome	Juil. 2011	5	5	0	5
Fédération de Russie	Moscou	Sep.2011	1	2	0	2
Total			107	204	36	168

Annexe 4

Détails des calculs

1. Pour chaque site d'échantillonnage, les variables suivantes ont été extraites de la base de données PostGreSQL:

- Identifiant unique de l'unité (*rss_id*)
- latitude (*lat*) et longitude (*lon*) du centre de l'unité
- domaine climatique (*domain*)
- région (*continent*)
- superficie totale de l'unité (*total*)
- superficie sous masse d'eau (*water*)
- zone sans donnée (*nodata*)
- superficie forestière en 1990, 2000 et 2005 (*forest90*, *forest00*, *forest05*)
- gains et pertes de superficie forestière en 1990-2000 et 2000-2005 (*gain9000*, *loss9000*, *gain0005*, *loss0005*)
- date julienne d'acquisition des images pour 1990, 2000, 2005 (*jdate90*, *jdate00*, *jdate05*)

2. Les variables suivantes ont ensuite été calculées:

- Superficie terrestre valide sur l'unité (*gla*)

$$\text{Eq. 1} \quad gla = total - water - nodata$$

- Facteur de correction de latitude (*corrlat*)

$$\text{Eq. 2} \quad \begin{cases} si \ lat \leq 60^\circ \text{ alors } corrlat = \cos(lat) \\ si \ lat > 60^\circ \text{ alors } corrlat = 2 * \cos(lat) \end{cases}$$

NB: Le nombre d'échantillon a été réduit pour inclure seulement les degrés paires de longitude au-dessus des 60 degrés de latitude (la figure 1 montre la réduction de l'échantillonnage pour les latitudes les plus au Nord).

- Poids de l'échantillon *i* (w_i)

$$\text{Eq. 3} \quad w_i = \frac{gla_i * corrlat_i}{\sum_j gla_j * corrlat_j}$$

- Proportion de forêt en 1990, 2000 et 2005 (*pfor90*, *pfor00*, *pfor05*)

$$\text{Eq. 4} \quad \begin{cases} pfor90 = \frac{forest90}{gla} \\ pfor00 = \frac{forest00}{gla} \\ pfor05 = \frac{forest05}{gla} \end{cases}$$

- Proportion de gains, pertes et changement net annualisés pour 1990–2000 ($pagain9000$, $paloss9000$, $panet9000$)

$$\text{Eq. 5} \quad \left\{ \begin{array}{l} pagain9000 = \frac{gain9000}{gla * (jdate00 - jdate90)} \\ paloss9000 = \frac{loss9000}{gla * (jdate00 - jdate90)} \\ panet9000 = pagain9000 - paloss9000 \end{array} \right.$$

NB: $pagain0005$, $paloss0005$ et $panet0005$ sont calculés de la même manière

3. Pour tout sous-ensemble S d'échantillons (par ex. un domaine climatique), la valeur moyenne (\bar{x}) et la déviation standard (std) de $pfor90$, $pfor00$, $pfor05$, $pagain9000$, $paloss9000$, $panet9000$, $pagain0005$, $paloss0005$ et $panet0005$ ont été calculées avec le paquet « survey » du logiciel R³ utilisant les formules suivantes:

$$\text{Eq. 6} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i \in S} W_i * x_i}{\sum_{i \in S} W_i}$$

$$\text{Eq. 7} \quad std = \sqrt{\frac{\sum_{i \in S} W_i * (x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i \in S} W_i}}$$

4. Les valeurs finales (par ex. perte annuelle de superficie forestière entre 1990 et 2000 dans un domaine climatique donné) ont été obtenues en multipliant la moyenne et la déviation standard par l'aire de la région (A):

$$\text{Eq. 8} \quad loss = \overline{paloss9000} * A \pm 1.96 * \frac{std(paloss9000)}{\sqrt{N}} * A$$

³ <http://cran.fhrc.org/web/packages/survey/index.html>.

ÉTUDES FAO: FORÊTS

1	Contrats d'exploitation forestière sur domaine public, 1977 (A E F)	24	Cable logging systems, 1981 (A C)
2	Planification des routes forestières et des systèmes d'exploitation, 1977 (A E F)	25	Public forestry administrations in Latin America, 1981 (A)
3	Liste mondiale des écoles forestières, 1977 (A/E/F)	26	La foresterie et le développement rural, 1981 (A E F)
3 Rév.	1. Liste mondiale des écoles forestières, 1981 (A/E/F)	27	Manuel d'inventaire forestier, 1981 (A F)
3 Rév.	2. Liste mondiale des écoles forestières, 1986 (A/E/F)	28	Small and medium sawmills in developing countries, 1981 (A E)
4/1	La demande, l'offre et le commerce de la pâte et du papier – Vol. 1, 1977 (A E F)	29	La demande et l'offre mondiales de produits forestiers 1990 et 2000, 1982 (A E F)
4/2	La demande, l'offre et le commerce de la pâte et du papier – Vol. 2, 1977 (A E F)	30	Les ressources forestières tropicales, 1982 (A E F)
5	The marketing of tropical wood, 1976 (A E)	31	Appropriate technology in forestry, 1982 (A)
6	Manuel de planification des parcs nationaux, 1978 (A E F)	32	Classification et définitions des produits forestiers, 1982 (A/Ar/E/F)
7	Le rôle des forêts dans le développement des collectivités locales, 1978 (A Ar E F)	33	Exploitation des forêts de montagne, 1984 (A E F)
8	Les techniques des plantations forestières, 1979 (A* Ar C E F)	34	Espèces fruitières forestières, 1982 (A E F)
9	Wood chips – production, handling, transport, 1976 (A C E)	35	Forestry in China, 1982 (A C)
10/1	Estimation des coûts d'exploitation à partir d'inventaires forestiers en zones tropicales – 1. Principes et méthodologie, 1980 (A E F)	36	Technologie fondamentale dans les opérations forestières, 1982 (A E F)
10/2	Estimation des coûts d'exploitation à partir d'inventaires forestiers en zones tropicales – 2. Recueil des données et calculs, 1980 (A E F)	37	Conservation et mise en valeur des ressources forestières tropicales, 1983 (A E F)
11	Reboisement des savanes en Afrique, 1981 (A F)	38	Prix des produits forestiers 1962-1981, 1982 (A/E/F)
12	China: forestry support for agriculture, 1978 (A)	39	Frame saw manual, 1982 (A)
13	Prix des produits forestiers 1960-1977, 1979 (A/E/F)	40	Circular saw manual, 1983 (A)
14	Mountain forest roads and harvesting, 1979 (A)	41	Techniques simples de carbonisation, 1983 (A E F)
14 Rev.	1. Logging and transport in steep terrain, 1985 (A)	42	Disponibilités de bois de feu dans les pays en développement, 1983 (A Ar E F)
15	AGRIS foresterie – Catalogue mondial des services d'information et de documentation, 1979 (A/E/F)	43	Systèmes de revenus forestiers dans les pays en développement, 1987 (A E F)
16	Chine: industries intégrées du bois, 1980 (A E F)	44/1	Essences forestières, fruitières et alimentaires – 1. Exemples d'Afrique orientale, 1984 (A E F)
17	Analyse économique des projets forestiers, 1980 (A E F)	44/2	Essences forestières, fruitières et alimentaires – 2. Exemples de l'Asie du Sud-Est, 1986 (A E F)
17 Sup.	1. Economic analysis of forestry projects: case studies, 1979 (A E)	44/3	Food and fruit-bearing forest species – 3. Examples from Latin America, 1986 (A E)
17 Sup.	2. Economic analysis of forestry projects: readings, 1980 (A C)	45	Establishing pulp and paper mills, 1983 (A)
18	Prix des produits forestiers 1960-1978, 1980 (A/E/F)	46	Prix des produits forestiers 1963-1982, 1983 (A/E/F)
19/1	Pulping and paper-making properties of fast-growing plantation wood species – Vol. 1, 1980 (A)	47	Enseignement technique forestier, 1989 (A E F)
19/2	Pulping and paper-making properties of fast-growing plantation wood species – Vol. 2, 1980 (A)	48	Evaluation des terres en foresterie, 1988 (A C E F)
20	Amélioration génétique des arbres forestiers, 1985 (A C E F)	49	Le débardage de bœufs et de tracteurs agricoles, 1986 (A E F)
20/2	A guide to forest seed handling, 1985 (A E)	50	Transformations de la culture itinérante en Afrique, 1984 (A F)
21	Influences exercées par les essences à croissance rapide sur les sols des régions tropicales humides de plaine, 1982 (A E F)	50/1	Changes in shifting cultivation in Africa – seven case-studies, 1985 (A)
22/1	Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers – Vol. 1. Estimation des volumes, 1980 (A C E F)	51/1	Etudes sur les volumes et la productivité des peuplements forestiers tropicaux – 1. Formations forestières sèches, 1984 (A F)
22/2	Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers – Vol. 2. Etude et prévision de la production, 1980 (A C E F)	52/1	Cost estimating in sawmilling industries: guidelines, 1984 (A)
23	Prix des produits forestiers 1961-1980, 1981 (A/E/F)	52/2	Field manual on cost estimation in sawmilling industries, 1985 (A)
		53	Aménagement polyvalent intensif des forêts au Kerala, 1985 (A E F)
		54	Planificación del desarrollo forestal, 1984 (E)
		55	Aménagement polyvalent intensif des forêts sous les tropiques, 1985 (A E F)
		56	Breeding poplars for disease resistance, 1985 (A)

57	Coconut wood – processing and use, 1985 (A E)	98	Les plantations à vocation de bois d'œuvre en Afrique intertropicale humide, 1991 (F)
58	Sawdoctoring manual, 1985 (A E)	99	Cost control in forest harvesting and road construction, 1992 (A)
59	Les effets écologiques des eucalyptus, 1986 (A C E F)	100	Introduction à l'ergonomie forestière dans les pays en développement, 1994 (A E F)
60	Suivi et évaluation des projets de foresterie communautaire, 1989 (A E F)	101	Aménagement et conservation des forêts denses en Amérique tropicale, 1992 (A F P)
61	Prix des produits forestiers 1965-1984, 1985 (A/E/F)	102	Gérer et organiser la recherche forestière, 1993 (A E F)
62	Liste mondiale des institutions s'occupant des recherches dans le domaine des forêts et des produits forestiers, 1985 (A/E/F)	103	Les plantations forestières mixtes et pures dans les régions tropicales et subtropicales, 1995 (A E F)
63	Industrial charcoal making, 1985 (A)	104	Forest products prices, 1971-1990, 1992 (A)
64	Boisements en milieu rural, 1987 (A Ar E F)	105	Compendium of pulp and paper training and research institutions, 1992 (A)
65	La législation forestière dans quelques pays africains, 1986 (A F)	106	Evaluation économique des impacts des projets forestiers, 1994 (A F)
66	Forestry extension organization, 1986 (A C E)	107	Conservation des ressources génétiques dans l'aménagement des forêts tropicales – Principes et concepts, 1994 (A E F)
67	Some medicinal forest plants of Africa and Latin America, 1986 (A)	108	A decade of energy activities within the Nairobi programme of action, 1993 (A)
68	Appropriate forest industries, 1986 (A)	109	FAO/IUFRO directory of forestry research organizations, 1993 (A)
69	Management of forest industries, 1986 (A)	110	Actes de la réunion d'experts sur la recherche forestière, 1993 (A/E/F)
70	Terminologie de la lutte contre les incendies de forêt, 1986 (A/E/F)	111	Forestry policies in the Near East region: analysis and synthesis, 1993 (A)
71	Répertoire mondial des institutions de recherche sur les forêts et les produits forestiers, 1986 (A/E/F)	112	Evaluation des ressources forestières 1990 – Pays tropicaux, 1994 (A E F)
72	Wood gas as engine fuel, 1986 (A E)	113	Conservation <i>ex situ</i> de pollen et de graines, et de cultures <i>in vitro</i> de plantes ligneuses pérennes, 1994 (A F)
73	Produits forestiers – Perspectives mondiales: projections 1985-2000, 1986 (A/E/F)	114	Analyse d'impacts de projets forestiers: problèmes et stratégies, 1995 (A E F)
74	Guidelines for forestry information processing, 1986 (A)	115	Forestry policies of selected countries in Asia and the Pacific, 1993 (A)
75	An operational guide to the monitoring and evaluation of social forestry in India, 1986 (A)	116	Les panneaux à base de bois, 1993 (F)
76	Wood preservation manual, 1986 (A)	117	Mangrove forest management guidelines, 1993 (A)
77	Databook on endangered tree and shrub species and provenances, 1986 (A)	118	Biotechnology in forest tree improvement, 1994 (A)
78	Appropriate wood harvesting in plantation forests, 1987 (A)	119	Numéro non assigné
79	Petites entreprises forestières, 1988 (A E F)	120	Decline and dieback of trees and forests – A global overview, 1994 (A)
80	Forestry extension methods, 1987 (A)	121	Ecologie et éducation en milieu rural – Manuel de pédagogie rurale, 1995 (A E F)
81	Guidelines for forest policy formulation, 1987 (A C)	122	Ouvrages sur l'aménagement durable des forêts, 1994 (A E F)
82	Prix des produits forestiers 1967-1986, 1988 (A/E/F)	123	Enseignement forestier – Tendances récentes et perspectives, 1994 (A F)
83	Trade in forest products: a study of the barriers faced by the developing countries, 1988 (A)	124	Evaluation des ressources forestières 1990 – Synthèse mondiale (A E F)
84	Produits forestiers – Perspectives mondiales: projections 1987-2000, 1988 (A/E/F)	125	Prix des produits forestiers 1973-1992, 1995 (A/E/F)
85	Programmes d'enseignement en matière de vulgarisation forestière, 1988 (A/E/F)	126	Le changement climatique, les forêts et l'aménagement forestier – Aspects généraux, 1997 (A E F)
86	Forestry policies in Europe, 1988 (A)	127	Détermination de la valeur des forêts: contexte, problèmes et orientations, 1997 (A F S)
87	Petites opérations de récolte du bois et d'autres produits forestiers par les ruraux, 1989 (A E F)	128	Forest resources assessment 1990 – Tropical forest plantation resources, 1995 (A)
88	Aménagement des forêts tropicales humides en Afrique, 1990 (A F P)	129	Environmental impact assessment and environmental auditing in the pulp and paper industry, 1996 (A)
89	Review of forest management systems of tropical Asia, 1989 ((A)	130	Forest resources assessment 1990 – Survey of tropical forest cover and study of change processes, 1996 (A)
90	Foresterie et sécurité alimentaire, 1993 (A Ar E F)		
91	Outils et machines simples d'exploitation forestière, 1990 (A E F) (Publié uniquement dans la Collection FAO: Formation, n° 18)		
92	Forestry policies in Europe – an analysis, 1989 (A)		
93	Energy conservation in the mechanical forest industries, 1990 (A E)		
94	Manual on sawmill operational maintenance, 1990 (A)		
95	Prix des produits forestiers 1969-1988, 1990 (A/E/F)		
96	Planning and managing forestry research: guidelines for managers, 1990 (A)		
97	Produits forestiers non ligneux: Quel avenir? 1992 (A E F)		

- 131 Ecología y enseñanza rural - Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas, 1996 (E)
- 132 Politiques forestières d'un certain nombre de pays d'Afrique, 1996 (E/F)
- 133 Forest codes of practice – Contributing to environmentally sound forest operations, 1996 (A)
- 134 Estimating biomass and biomass change of tropical forests – A primer, 1997 (A)
- 135 Guidelines for the management of tropical forests – 1. The production of wood, 1998 (A E)
- 136 Managing forests as common property, 1998 (A)
- 137/1 Forestry policies in the Caribbean – Volume 1: Proceedings of the Expert Consultation, 1998 (A)
- 137/2 Forestry policies in the Caribbean – Volume 2: Reports of 28 selected countries and territories, 1998 (A)
- 138 Réunion de la FAO sur les politiques nationales ayant une incidence sur les incendies de forêt, 2001 (A E F)
- 139 Principes de bonne gestion des concessions et contrats relatifs aux forêts publiques, 2003 (A E F)
- 140 Evaluation des ressources forestières mondiales 2000 – Rapport principal, 2002 (A E F)
- 141 Etude prospective du secteur forestier en Afrique – Rapport régional: opportunités et défis à l'horizon 2020, 2003 (A Ar F)
- 142 Impacts intersectoriels des politiques forestières et des autres secteurs, 2005 (A E F)
- 143 Gestion durable des forêts tropicales en Afrique centrale – Recherche d'excellence, 2003 (A F)
- 144 Climate change and the forest sector – Possible national and subnational legislation, 2004 (A)
- 145 Meilleures pratiques pour l'application des lois dans le secteur forestier, 2006 (A E F R)
- 146 Microfinance et petites entreprises forestières, 2005 (A Ar E F)
- 147 Évaluation des ressources forestières mondiales 2005 – Progrès vers la gestion forestière durable, 2006 (A E F)
- 148 Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe, 2006 (E)
- 149 Améliorer la foresterie pour réduire la pauvreté – Manuel du praticien, 2006 (A Ar E F)
- 150 La nouvelle génération de programmes et projets d'aménagement des bassins versants (A E F)
- 151 Fire management – Global assessment 2006, 2007 (A)
- 152 People, forests and trees in West and Central Asia – Outlook for 2020, 2007 (A Ar R)
- 153 The world's mangroves 1980–2005, 2007 (A)
- 154 Les forêts et l'énergie – Questions principales, 2008 (A Ar C E F R)
- 155 Les forêts et l'eau, 2009 (A F E)
- 156 Global review of forest pests and diseases, 2009 (A)
- 157 Les conflits humains-faune en Afrique – Causes, conséquences et stratégies de gestion, 2010 (A F)
- 158 Lutte contre l'ensablement - L'exemple de la Mauritanie, 2010 (A F)
- 159 Impact of the global forest industry on atmospheric greenhouse gases, 2010 (A)
- 160 Criteria and indicators for sustainable woodfuels, 2010 (A)
- 161 Élaborer une politique forestière efficace – Guide, 2010 (A F E)
- 162 What woodfuels can do to mitigate climate change, 2010 (A)
- 163 Evaluation des ressources forestières mondiales 2010 - Rapport principal, 2010 (A, E, F)
- 164 Guide pour la mise en œuvre des normes phytosanitaires dans le secteur forestier, 2011 (A, F, R)
- 165 Réforme du régime forestier – Enjeux, principes et processus (A, E, F)
- 166 Community-based fire management – A review (A)
- 167 Wildlife in a changing climate (A)
- 168 Soil carbon monitoring using surveys and modelling – General description and application in the United Republic of Tanzania (A)

Disponibilité: juin 2011

A – Anglais	Multil. – Multilingue
Ar – Arabe	* Epuisé
C – Chinois	
E – Espagnol	
F – Français	
P – Portugais	
R – Russe	

On peut se procurer les Cahiers techniques de la FAO auprès des points de vente des publications de la FAO, ou en s'adressant directement au Groupe des ventes et de la commercialisation, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italie.

Changement d'utilisation des terres forestières mondiales 1990–2005

Ce rapport présente les principales conclusions sur le changement d'utilisation des terres forestières et d'occupation des sols entre 1990 et 2005 de l'Enquête par télédétection de l'Évaluation des ressources forestières mondiales 2010 de la FAO. Il s'agit du premier rapport du genre à présenter des estimations systématiques de l'utilisation des terres forestières mondiales et de ses changements.

L'objectif ambitieux de l'Enquête par télédétection a été d'utiliser des données de télédétection pour obtenir des estimations mondiales cohérentes de la superficie forestière et des changements de couvert forestier et d'utilisation des terres forestières entre 1990 et 2005. Globalement, elle a constaté qu'il y avait une diminution nette de superficie forestière mondiale entre 1990 et 2005, l'Amérique du Sud enregistrant la plus grande perte nette de forêt. Alors que la superficie forestière a augmenté au cours de la période d'évaluation dans les domaines climatiques boréal, tempéré et subtropical, elle a diminué en moyenne de 6,8 millions d'hectares par an dans les régions tropicales. L'enquête a estimé la superficie totale des forêts mondiales en 2005 à 3,8 milliards d'hectares, soit 30 pour cent de la surface émergée du globe.

Ce rapport est le résultat de nombreuses années de planification et de trois années de travail détaillé du personnel de la FAO et du Centre commun de recherche de la Commission européenne, mais également d'experts techniques provenant de plus de 100 pays qui constituent aujourd'hui un réseau mondial d'expertise précieux en matière de télédétection sur les forêts et l'utilisation des terres forestières.

