

# ENQUÊTE PAR TÉLÉDÉTECTION EVALUATION DES RESSOURCES FORESTIERES MONDIALES 2010

OBJECTIFS, DONNEES,  
METHODES ET APPROCHE

DÉCEMBRE 2009





## Le Programme d'évaluation des ressources forestières mondiales

Les forêts gérées durablement ont des fonctions environnementales et socio-économiques majeures à l'échelle globale, nationale et locale ; elles sont une composante vitale du développement durable. Disposer d'informations fiables et à jour –non seulement sur les superficies et changements de superficie, mais aussi sur les stocks de biomasse, les produits ligneux et non ligneux, le carbone, les aires protégées, les usages récréatifs et autres services, la biodiversité et la contribution aux économies nationales- est primordial pour l'aide à la décision en termes de politique forestière et de programme forestier, et pour le développement durable en général.

A la demande de ses pays membres et de la communauté internationale, la FAO surveille de manière régulière l'état des forêts dans le monde grâce au Programme d'Évaluation des Ressources Forestières Mondiales. L'édition 2010 de l'Évaluation des Ressources Forestières Mondiales (FRA 2010) a été sollicitée par le Comité des Forêts de la FAO en février 2007 et sera basée sur des rapports nationaux et complétée par une enquête par télédétection au niveau mondial. L'évaluation couvrira les sept champs thématiques de la gestion durable des forêts, notamment les cadres politiques, légaux et institutionnels. FRA 2010 a également pour vocation de fournir des informations permettant une évaluation des progrès effectués vers les Objectifs Globaux pour les Forêts du Forum des Nations Unies pour les Forêts, ainsi que l'Objectif Biodiversité 2010 de la Convention sur la Biodiversité Biologique. Les résultats devraient être publiés courant 2010.

Le département Foresterie au siège de la FAO à Rome est responsable du programme d'Évaluation des ressources forestières mondiales. Le fonctionnaire de référence à contacter est :

Mette Løyche Wilkie  
Forestier Principal  
FAO, Département Foresterie  
Viale delle Terme di Caracalla  
Rome 00153, Italie  
Courriel: [Mette.LoycheWilkie@fao.org](mailto:Mette.LoycheWilkie@fao.org)

Vous pouvez utiliser aussi le courriel: [fra@fao.org](mailto:fra@fao.org). Pour plus d'informations sur le programme d'évaluation des ressources forestières mondiales : [www.fao.org/forestry/fra](http://www.fao.org/forestry/fra)

Les coordinateurs de ce travail souhaitent remercier la Commission Européenne, les gouvernements d'Australie et de Finlande ainsi que la FAO pour leur contribution financière.

### Citer comme :

FAO, JRC, SDSU ET UCL (2009). Enquête par télédétection de l'évaluation des ressources forestières mondiales 2010. Objectifs, Données, Méthodes et Approche. Evaluation des ressources forestières mondiales. Document de travail n° 155. Publié par FAO et partenaires FRA RSS Rome, 2009.

### AVERTISSEMENT

La série des documents de travail pour l'Évaluation des ressources forestières (FRA) a été créée pour montrer les activités et les progrès réalisés dans le contexte du Programme d'évaluation des ressources forestières de la FAO. Les documents de travail *n'impliquent donc aucune prise de position officielle de la FAO* et ils ne devraient pas être utilisés pour des propos officiels. Pour la position officielle, veuillez consulter le site Web des Forêts de la FAO ([www.fao.org/forestry](http://www.fao.org/forestry)).

Ce document a été réalisé avec le soutien financier de la Commission Européenne. Les opinions ici exprimées ne peuvent en aucun cas refléter la position officielle de la Commission Européenne.

Les documents de travail de FRA fournissent un forum important pour la diffusion rapide de résultats préliminaires, nécessaire pour effectuer leur validation et faciliter le développement final des publications officielles. Si l'utilisateur trouve des erreurs dans ces documents ou s'il veut faire des commentaires pour améliorer leur qualité, il est prié de contacter: [fra@fao.org](mailto:fra@fao.org).

**Département Foresterie**  
**Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et**  
**l'Agriculture**

**Document de travail pour l'évaluation des ressources**  
**forestières mondiales**

**ENQUÊTE PAR TÉLÉDÉTECTION**  
**EVALUATION DES RESSOURCES FORESTIERES MONDIALES 2010**

**OBJECTIFS, DONNEES,**  
**METHODES ET APPROCHE**

**DÉCEMBRE, 2009**

---

PROGRAMME D'ÉVALUATION  
DES RESSOURCES FORESTIERES  
MONDIALES.

---

DOCUMENT DE TRAVAIL N° 155  
ROME, ITALIE, 2009

## Table des Matières

<b>Acronymes</b> .....	iv
<b>Remerciements</b> .....	v
<b>Résumé</b> .....	vi
<b>1 Historique et justification</b> .....	1
1.1 <i>Historique de l'évaluation des ressources forestières mondiales</i> .....	1
1.2 <i>Précision et pertinence des données dans les zones forestières</i> .....	1
1.3 <i>Pourquoi la télédétection ?</i> .....	2
1.4 <i>Occupation des sols et utilisation des terres</i> .....	3
<b>2 Méthodes</b> .....	3
2.1 <i>Plan d'échantillonnage et imagerie satellitaire</i> .....	3
2.2 <i>Données de télédétection</i> .....	4
2.3 <i>Utilisation de données radar</i> .....	4
2.4 <i>Segmentation, classification et labellisation</i> .....	5
<b>3 Résultats et Discussion</b> .....	7
3.1 <i>Echantillonnage statistique et cartographie complète</i> .....	8
3.2 <i>Implication des pays et renforcement des capacités</i> .....	8
<b>4 Conclusion</b> .....	9
<b>Références</b> .....	10
<b>Bibliographie complémentaire</b> .....	11

### Acronymes

<b>CNUCCC</b>	Convention Cadre des Parties sur le Changement Climatique
<b>ETD</b>	Enquête par Télédétection
<b>ETM</b>	Landsat Enhanced Thematic Mapper
<b>FAO</b>	Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation
<b>FRA</b>	Global Forest Resource Assessment
<b>GIEC</b>	Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
<b>GLS</b>	Global Land Survey
<b>JRC</b>	European Commission Joint Research Centre
<b>LCCS</b>	FAO Land Cover Classification System
<b>MDP</b>	Mécanisme de Développement Propre
<b>MODIS</b>	Moderate resolution Imaging Spectroradiometer
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>OIBT</b>	Organisation Internationale des Bois Tropicaux
<b>OMD</b>	Objectifs du Millénaire pour le Développement
<b>REDD</b>	Réduction des Emissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts
<b>SDSU</b>	Université d'Etat du Dakota du Sud
<b>UCL</b>	L'université Catholique de Louvain-La-Neuve
<b>USGS</b>	United States Geological Survey
<b>VCF</b>	Vegetation Continuous Fields algorithm

## **Remerciements**

L'enquête par télédétection de FRA 2010 est un partenariat entre la FAO, le Joint Research Centre de la Commission Européenne (JRC), l'USGS, la NASA, l'Université d'Etat du Dakota du Sud (SDSU), l'Université Friedrich-Schiller et de nombreux experts nationaux.

Ce document s'appuie sur le travail et la contribution de nombreuses personnes dont :

Ralph Ridder (consultant), Adam Gerrand, Erik Lindquist, Mette Wilkie, Rémi D'Annunzio (FAO FRA) ;

Le personnel du JRC avec leur collaborateurs de l'université catholique de Louvain-La-Neuve : Frédéric Achard, René Beuchle, Catherine Bodart, Andreas Brink, Silvia Carboni, François Donnay, Hugh D. Eva, Desirée Johansson, Ouns Kissiyar, Andrea Lupi, Philippe Mayaux, Rastislav Raši, Dario Simonetti, Hans-Jürgen Stibig, Michael Vollmar. Jesús San-Miguel-Ayanz, Pieter Kempeneers, Fernando Sedano, Lucia Seebach, Peter Strobl, Peter Vogt (JRC); Pierre Defourny, Céline Ernst, Astrid Verheggen, Carlos de Wasseige (UCL) ;

Thomas Loveland (USGS), Matt Hansen, Peter Potapov et Anil Kommareddy (SDSU); John Latham, Renato Cumani, Antonio Di Gregorio, Antonio Martucci, Stefano Giaccio et Ilaria Rosati (FAO NRCE).

Bien d'autres nous ont aidé. L'espace nous manque pour les citer tous, qu'ils acceptent nos remerciements. Le financement initial a été assuré par la NASA, la Finlande et l'Australie, le financement pour la période 2009-2011 par la Commission Européenne.

Pour plus d'informations : <http://www.fao.org/forestry/fra2010-remotesensing/en/>.

## Résumé

Les forêts du monde fournissent des avantages économiques, sociaux et environnementaux d'une importance cruciale. Elles génèrent des moyens de subsistance pour les populations, fournissent des produits ligneux et non ligneux, procurent de l'eau potable et abritent la moitié des espèces animales et végétales de la planète. Pourtant, 13 millions d'hectares de forêts sont convertis chaque année pour d'autres usages, produisant près de 17 pour cent des émissions annuelles de gaz à effet de serre d'origine humaine.

Les négociations internationales relatives aux forêts requièrent des informations précises sur le couvert forestier et les ressources forestières. Depuis 1946, l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) publie tous les 5 à 10 ans des informations détaillées sur l'état des forêts du monde, leur superficie et leurs usages. Pour l'édition 2010 de l'Evaluation des Ressources Forestières mondiales (FRA), une enquête systématique et exhaustive par télédétection a été mise en œuvre.

L'enquête par télédétection (ETD) de FRA 2010 s'appuie sur des images satellitaires, afin d'améliorer notre connaissance du couvert forestier et de l'utilisation des surfaces forestières du monde. L'objectif principal est d'obtenir des informations systématiques sur la distribution et les changements de couvert forestier et d'utilisation des terres forestières entre 1990, 2000 et 2005, à l'échelle des régions, des écozones ou de la planète.

La base de données Landsat du Global Land Survey (GLS, United States Geological Survey) a fourni les images pour l'interprétation et la classification. Le GLS est une base spatialement exhaustive constituée des meilleures images Landsat de la surface de la Terre acquises en 1975, 1990, 2000 et 2005. La grille d'échantillonnage globale de l'ETD est constituée de chaque point d'intersection entre un méridien et un parallèle (13.689 points). Chaque échantillon couvre une surface de 10 km par 10 km, pour laquelle diverses bandes optiques Landsat ont été agrégées, pour les 3 dates (56.219 images composites produites). A titre expérimental, pour des échantillons où la couverture nuageuse est permanente au-dessus des forêts, des données radar viennent compléter le jeu de données.

Les images sont ensuite segmentées en polygones, pour lesquels des labels d'occupation des sols et d'utilisation des terres sont attribués, sur la base des classifications de la FAO. Les images satellitaires et les couches de polygones pré labellisés sont fournies aux pays, ainsi qu'à des experts régionaux, pour validation.

A travers une série d'ateliers, réalisés en partenariat avec le Joint Research Centre (JRC) de la Commission Européenne et l'Université du Dakota du Sud (SDSU), l'ETD rassemble autour de la base de données globale d'images satellitaires Landsat des spécialistes de la télédétection ainsi que des experts nationaux de plus de 150 pays pour analyser les informations. L'accès libre aux données de télédétection (notamment via un portail Internet) et au logiciel de traitement des images profitera particulièrement aux pays ayant un réseau de surveillance des forêts et des données limités.

A ce jour (Décembre 2009), la compilation des images Landsat a été faite pour les 13.689 points d'échantillonnage. Un premier traitement a été réalisé par le JRC et la FAO et les pays s'engagent progressivement, à travers les ateliers de validation et de formation en Afrique et en Amérique du Sud. D'autres régions et pays vont bientôt suivre ce processus.

Le principal résultat de l'enquête est une analyse statistique sur le couvert forestier et les changements de surfaces forestières, à l'échelle globale et régionale. La carte du couvert forestier mondial devrait également être mise à jour, sur la base d'images MODIS.

L'ETD apportera une meilleure connaissance des changements de surface forestière, des processus à l'origine de ces changements, et des scénarios d'évolution possible. Ces informations pourront être utilisées par les gouvernements, les gestionnaires, les chercheurs ou la société civile pour une meilleure gestion des ressources forestières mondiales. Le point d'achèvement de l'ETD est prévu pour fin 2011, Année Internationale des Forêts.

## 1 Historique et justification

Les forêts du monde fournissent des avantages économiques, sociaux et environnementaux d'une importance cruciale. Elles génèrent des moyens de subsistance pour les populations, fournissent des produits ligneux et non ligneux, procurent de l'eau potable et abritent la moitié des espèces animales et végétales de la planète. Les forêts et la gestion des forêts sont de plus en plus perçues comme des facteurs essentiels de l'atténuation des changements climatiques, notamment à travers les initiatives de Réduction des Emission dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts (REDD, depuis Bali 2007). Lors d'un sommet du G8 en 2008, les dirigeants de la planète ont « encouragé les actions pour le REDD, dont le développement d'un réseau international de surveillance des forêts sur la base d'initiatives existantes »<sup>1</sup>. Dans le cadre de l'évaluation des ressources forestières mondiales 2010 (FRA), l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), ses pays membres et ses partenaires entreprennent une enquête systématique par télédétection, qui constituera la base d'un système mondial de surveillance à long terme des forêts, aidera à suivre les recommandations du G8 et aidera à préparer les pays en développement à bénéficier d'un éventuel mécanisme REDD.

### *1.1 Historique de l'évaluation des ressources forestières mondiales*

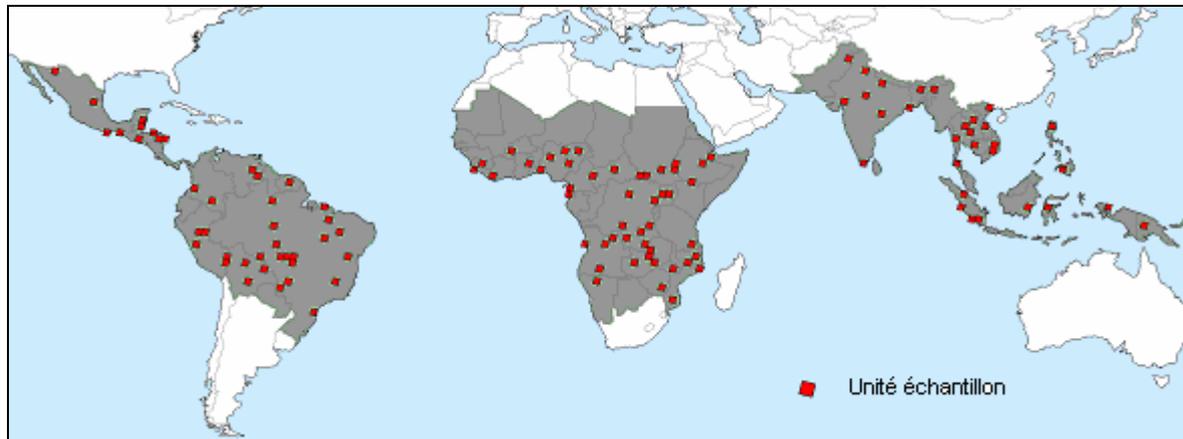
Depuis sa création, la FAO publie tous les 5 à 10 ans des informations détaillées sur l'état des forêts du monde, leur superficie et leurs usages. A partir de données nationales récoltées au moyen d'un questionnaire rempli par les pays, la FAO compile et analyse les informations pour présenter un état des ressources forestières mondiales et les changements qu'elles subissent. Historiquement, les rapports FRA ont reflété les préoccupations de leur époque : si les premiers rapports portaient sur les stocks de bois d'œuvre pour répondre à la demande en matériaux de construction après la seconde guerre mondiale, ils sont aujourd'hui orientés vers les problèmes de déforestation et de conservation. La taille et la qualité des jeux de données se sont améliorées avec l'accumulation des informations acquises et l'augmentation de la capacité des pays à les traiter. La dernière évaluation en 2005<sup>2</sup> a constitué le rapport le plus complet jamais établi au niveau planétaire, en mettant l'accent sur les avancées réalisées vers la gestion durable des forêts.

### *1.2 Précision et pertinence des données dans les zones forestières*

Les dynamiques de couvertures forestières changent au niveau local et régional, mais l'impact de ces changements sur l'environnement, la biodiversité et le climat se fait sentir jusqu'à l'échelle planétaire. Selon FRA2005<sup>2</sup>, 13 millions d'hectares de forêts sont convertis chaque année pour d'autres usages. Selon le Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), la déforestation, associée à d'autres activités forestières, sont responsables de près de 17% des émissions annuelles de gaz à effet de serre d'origine humaine<sup>3</sup>. Le Mécanisme de Développement Propre (MDP) de la Convention Cadre des Parties sur le Changement Climatique (CNUCCC), ainsi que le REDD, font partie des initiatives entreprises pour réduire les effets négatifs des pertes de couverture forestière, mais les problèmes relatifs à la surveillance des forêts et à la gestion des ressources forestières demeurent difficiles à résoudre.

Les négociations internationales relatives aux forêts nécessitent des informations précises sur la couverture et les ressources forestières, tâche dédiée à FRA. Cependant, la qualité des inventaires et des données disponibles est très variable en fonction des pays. La définition d'une forêt peut varier pour des raisons culturelles, et peu de pays disposent d'informations fiables, sur le long terme et à jour, ou des capacités techniques et économiques pour rendre compte des changements de végétation au cours du temps.

Avec la mise en œuvre de FRA, la FAO participe au renforcement des capacités nationales et améliore ainsi l'acquisition et la publication de données sur les forêts. L'enquête par télédétection de FRA 2010 [notée ETD par la suite] poursuit les mêmes objectifs à travers l'utilisation de données satellitaires, afin d'améliorer notre connaissance du couvert forestier et de l'utilisation des surfaces forestières du monde.



**Figure 1.** Plan d'échantillonnage des images Landsat utilisées pour les enquêtes par télédétection des éditions FRA de 1990 et 2000. Les analyses se sont concentrées sur la zone tropicale avec 10% de la surface intertropicale échantillonnée. Comparer cette distribution avec celle de l'édition 2010, Figure 3.

### *1.3 Pourquoi la télédétection ?*

La télédétection par satellite permet l'observation systématique de grandes superficies et offre la possibilité d'analyses standardisées et répétables pour caractériser la surface terrestre. Elle représente souvent une des seules solutions pour obtenir des informations sur de vastes zones forestières de la planète. La télédétection ne remplace pas la collecte de données de terrain mais elle offre des avantages comparatifs pour des recensements à grande échelle couvrant plusieurs types de végétations.

Les rapports FRA 1990<sup>4</sup> et FRA 2000<sup>5</sup> incluaient déjà une composante télédétection en plus des inventaires nationaux. Dans les années 80 à 90, les études par télédétection ont montré les changements de couverture forestière et d'utilisation des terres en zone tropicale. Ces enquêtes étaient basées sur un échantillonnage stratifié aléatoire et sur l'analyse temporelle d'images satellitaires Landsat (Figure 2).

Pour chacun des 117 échantillons sélectionnés, trois images Landsat obtenues à trois dates différentes ont permis d'établir des statistiques sur les changements de couvert forestier entre 1980 et 1990 puis entre 1990 et 2000, pour l'ensemble de la zone tropicale d'une part et pour l'Afrique, l'Asie et l'Amérique Latine d'autre part.

L'ETD utilise et renforce le dispositif utilisé dans les éditions précédentes à travers une approche exhaustive. Elle permet aussi d'augmenter les compétences nationales en termes de cartographie et d'inventaire : en partenariat avec le Joint Research Centre (JRC) de la Commission Européenne et l'Université d'Etat du Dakota du Sud (SDSU) aux Etats-Unis, l'ETD rassemble autour de la base de données globale d'images satellitaires Landsat<sup>6</sup> des spécialistes de la télédétection ainsi que des experts nationaux de plus de 150 pays pour analyser les informations.

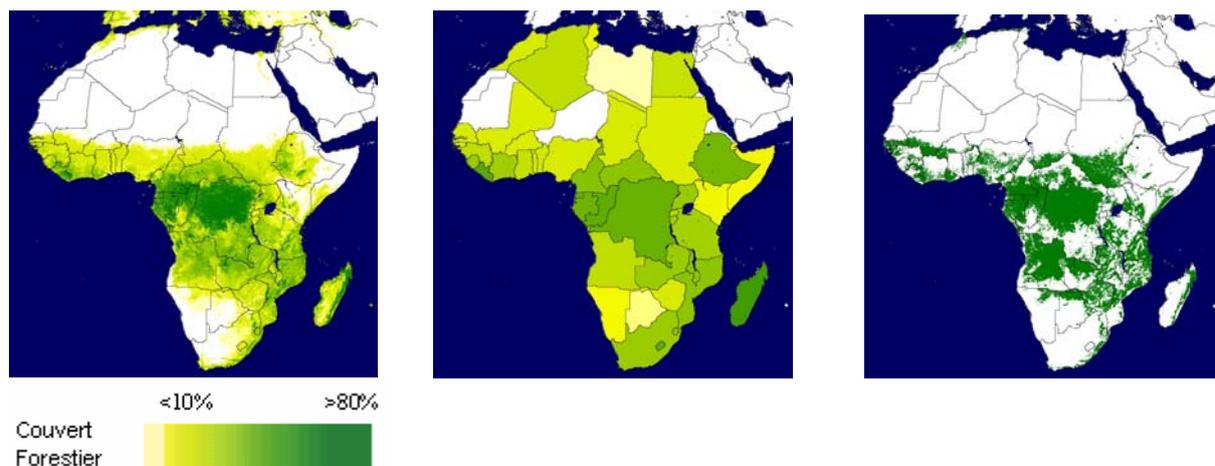
L'objectif de l'ETD est d'obtenir des informations systématiques sur la distribution et les changements de couvert forestier et d'utilisation des terres forestières entre 1990, 2000 et

2005, à l'échelle des régions, des écozones ou de la planète. L'ETD fournit également un cadre logique utilisable pour de futures évaluations, à l'échelle globale ou, de façon plus détaillée, à l'échelle régionale.

#### 1.4 Occupation des sols et utilisation des terres

L'ETD produira des données à la fois sur l'occupation des sols et sur l'utilisation des terres. L'occupation des sols fait référence à des attributs biophysiques de la surface de la Terre et peut être directement identifiée par le biais de la télédétection, comme avec les données Landsat. L'utilisation des terres fait appel à une dimension anthropique pour caractériser un endroit, et si la télédétection permet parfois d'en rendre compte, elle nécessite le plus souvent un savoir local et une expertise de terrain basés sur la collecte de données pour être identifiée. Ces informations sont cruciales pour comprendre les facteurs à l'origine des changements du couvert forestier et aider à mettre en place des politiques et des stratégies efficaces de lutte contre la déforestation.

Grâce à l'utilisation conjointe de données sur l'occupation des sols et sur l'utilisation des terres (imagerie de télédétection satellitaire et processus d'identification et classification), l'ETD permettra de décrire la couverture forestière en tant qu'objet physique, mais aussi les «zones de forêt» définies de façon très variable entre pays. Un exemple de cette variabilité est donné en Figure 2.



**Figure 2. Comparaison de données de télédétection et d'inventaires forestiers nationaux pour l'Afrique: à gauche, pourcentage de couverture forestière obtenue avec les images MODIS 2001 (VCF)<sup>7</sup>, au centre, seuils de pourcentage de couverture forestière issus des inventaires nationaux fournis pour FRA 2000. A droite, une carte forestière illustrant les zones où les 2 précédentes cartes coïncident (les densités déclarées par inventaires correspondent à celles observées par imagerie satellitaires) : Vert=Forêt, Blanc=Non-Forêt. D'après Dr. Matthew Hansen, Université du Dakota du Sud.**

## 2 Méthodes

### 2.1 Plan d'échantillonnage et imagerie satellitaire

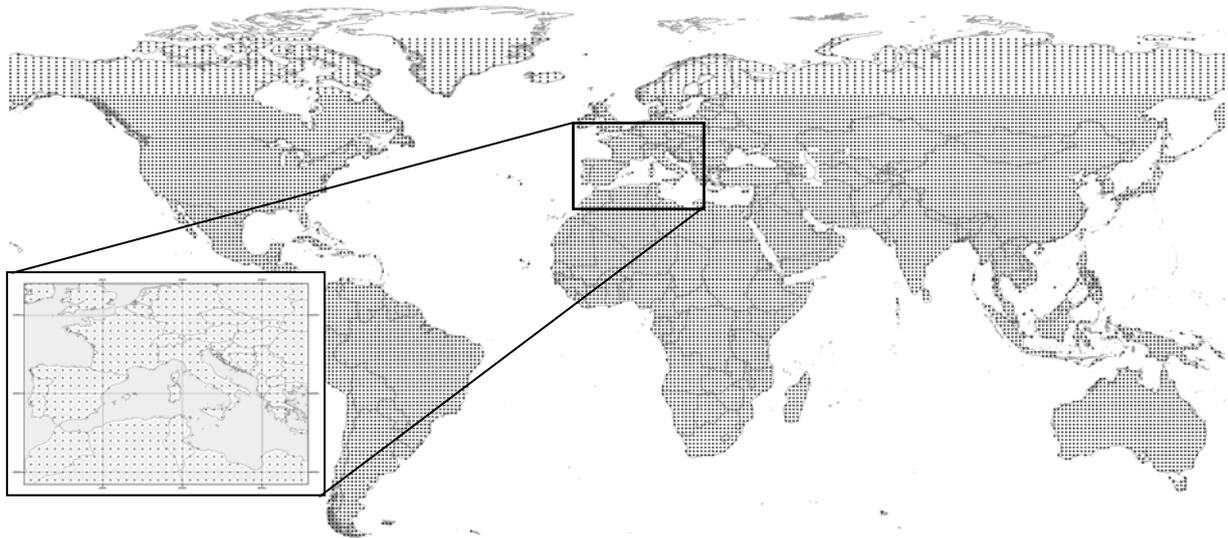
La grille d'échantillonnage global de l'ETD est constituée de 13 689 points, couvrant toute la planète entre les latitudes 75°N et 75°S. Chaque point d'intersection entre un méridien et un parallèle a été sélectionné comme échantillon, avec une densité d'échantillonnage réduite au dessus de 60° de latitude Nord et Sud (une intersection sur deux entre 60° et 75° Nord/Sud).

Chaque échantillon occupe une surface de 10 km par 10 km, la distance entre points voisins étant approximativement de 100 km. Cette grille utilise le même dispositif que celui utilisé pour les inventaires de la FAO<sup>8</sup>, mais à une moindre densité.

La grille a été superposée à un masque dérivé de la couche de données du VMAP0 (Vector Map Level 0, agence nationale d'imagerie et de cartographie des Etats Unis), afin de retenir uniquement les points se trouvant sur des terres émergées. L'Antarctique a ensuite été exclu ainsi que les échantillons situés dans des zones désertiques, des zones glaciaires permanentes, ou d'autres zones non forestières. Le nombre de points à analyser est ainsi passé à 9329, dont 5967 pour le JRC (via ses programmes TREES-3, FOREST et MONDE) et 3362 pour la FAO.

## 2.2 Données de télédétection

La base de données Landsat Global Land Survey (GLS) du United States Geological Survey (USGS) fournit les images pour l'interprétation et la classification. Le GLS est une base spatialement exhaustive constituée des meilleures images Landsat de la surface de la Terre acquises en 1975, 1990, 2000 et 2005<sup>6</sup>.



**Figure 3. Distribution des 13 689 unités échantillon de l'ETD. L'insert montre le plan d'échantillonnage pour une partie de l'Europe et l'Afrique du Nord**

L'ETD est essentiellement basée sur les couches de données de GLS 1990, GLS 2000 et GLS 2005. Selon la disponibilité, les images de 1975 seront également utilisées. Pour chaque unité d'échantillonnage, les bandes 1 à 5 et la bande 7 de Landsat (la bande 8 également dans le cas de ETM+) ont été compilées puis intégrées dans un cadre de 20 km par 20 km centré autour de l'intersection Méridien/Parallèle pour créer des extraits d'images, soit 56 219 extraits pour l'ensemble des 3 dates. La zone centrale de 10 km par 10 km dans ces extraits est utilisée pour les calculs de surface et les analyses statistiques.

Des images complémentaires (Landsat TM, ASTER et IRS), fournies par les agences spatiales (INPE-Brésil, GISTDA-Thaïlande, Geoscience-Australie, ISRO-Inde) ou obtenue via les fournisseurs d'images satellites ont été utilisées pour combler certaines données (donnée manquante, nuages) dans la base GLS.

## 2.3 Utilisation de données radar

Pour une partie des unités échantillons où la couverture nuageuse est permanente au-dessus des forêts, les données radar de TerraSAR-X viennent compléter le jeu de données<sup>9</sup>. L'inclusion de données radar à l'imagerie optique constitue une nouveauté expérimentale dans l'ETD (Figure 4).

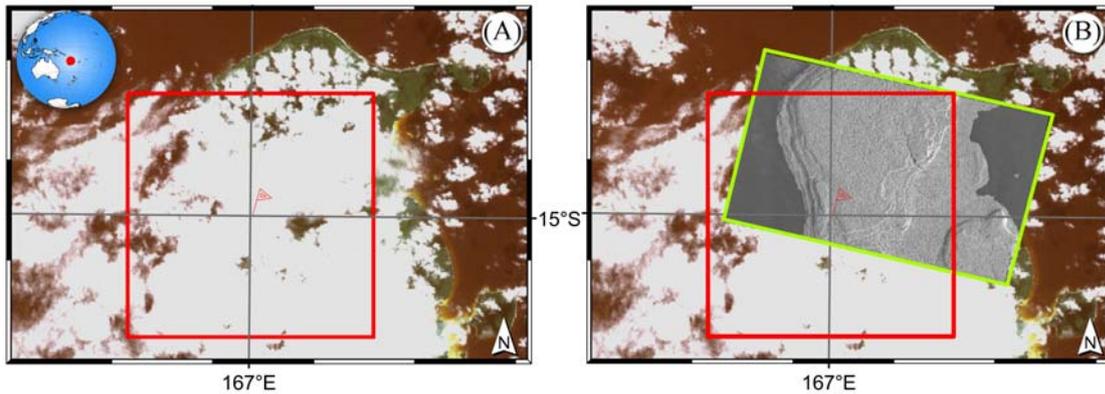


Figure 4. Exemple issu du projet FRA-SAR (Friedrich-Schiller University) illustrant l'utilité de données radar en cas de couverture nuageuse. Un échantillon ETD (cadre rouge) sous couverture nuageuse. L'image radar TerraSAR-X ©DLR (cadre vert) peut pénétrer la couche nuageuse et fournir des données pertinentes de couverture forestière.

#### 2.4 Segmentation, classification et labellisation

Les images Landsat doivent être dans un premier temps corrigées et harmonisées (radiométrie). Les images ont ainsi été fortement normalisées et linéarisées. La normalisation et la linéarisation réduisent les interférences atmosphériques et améliorent l'interprétabilité des images. Pour chaque extrait d'image, un masque nuage, un masque eau et un masque de présence/absence de données ont été ajoutés.

L'ETD s'appuie sur une segmentation multi-date et multi-résolution des images<sup>10</sup> pour la classification des unités échantillon (Figure 5). Les bandes Landsat normalisées 3, 4 et 5 des GLS 1990, 2000 et 2005 ont été utilisées pour produire des images segmentées des sites d'échantillonnage. La segmentation des images est essentiellement effectuée avec le logiciel e-Cognition<sup>11</sup> (et avec un logiciel produit à JRC pour les sites européens). Les résultats sont des couches vectorielles (polygones simples) qui contiennent les informations des images aux trois dates : chaque polygone contient trois labels pour 1990, 2000 et 2005. Les changements d'occupation des terres sont détectés dans les polygones et traduits par des changements de label lors du processus de classification (Figure 6). Plusieurs paramètres d'ajustement permettent d'optimiser les résultats de segmentation et dans le cas de l'ETD, l'unité de cartographie minimum est d'environ 5 hectares.

La cartographie finale sera obtenue en deux temps. La première étape consiste en un exercice de pré-labellisation, suivi d'une correction et validation par les experts nationaux. La pré-labellisation se fait soit en utilisant une méthode automatique de reconnaissance spectrale, soit par interprétation visuelle. La méthode automatique sera utilisée par le JRC pour les unités échantillons des zones tropicales humides, des forêts boréales russes et européennes<sup>12</sup>. Pour toutes les autres régions, les spécialistes de la FAO utiliseront à la fois les méthodes automatiques et l'interprétation visuelle pour classer et labelliser les polygones.

Pour l'ETD, seuls les polygones ayant subi un changement (boisement/reboisement ou déforestation) se verront attribuer un label d'utilisation des terres. Le label pourra indiquer le changement de pourcentage de couvert forestier mais aussi des informations plus détaillées sur l'utilisation actuelle ou potentielle des terres. L'objectif principal de cette labellisation est de déterminer les principaux facteurs de changement des couverts forestiers.

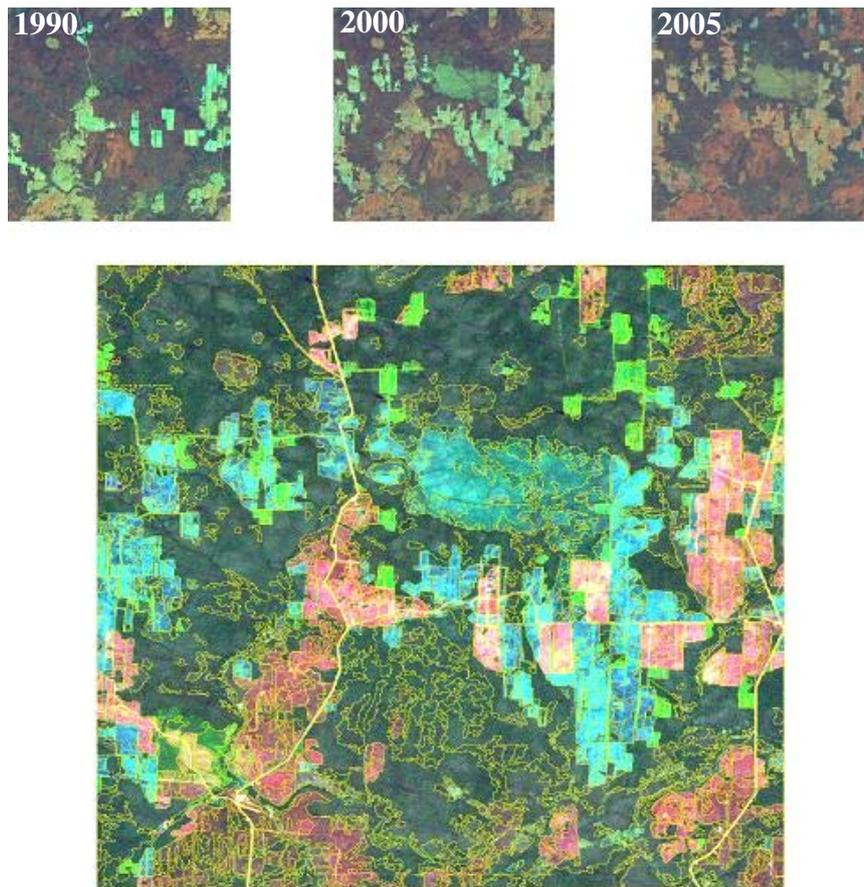


Figure 5. En haut: vues d'une scène à 3 dates différentes. En bas: combinaison des 3 images initiales et segmentation (polygones en jaune). Les éclaircies de 1990 apparaissent en rouge, celles de 2000 en bleu et celles de 2005 en vert clair. La couche de polygones contient toutes ces informations (un label par polygone et par date).

La classification d'occupation des sols LCCS<sup>13</sup> de la FAO a été adaptée pour labelliser les polygones et contient six classes (plus «pas de données»). Les clés utilisées par le JRC sont légèrement différentes et seront recodées pour l'harmonisation avec ces classes de couverture de FRA. Neuf classes d'utilisation des terres ont également été développées pour l'ETD à partir des définitions de FRA (Tableau 1).

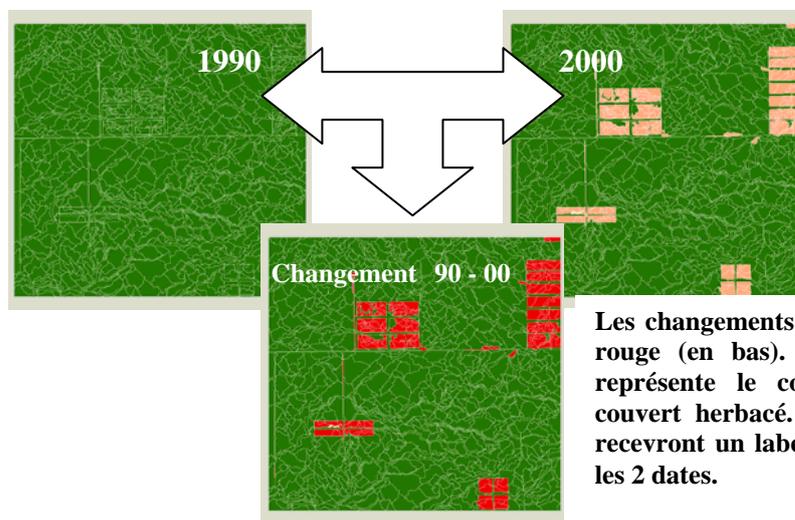
**Tableau 1: Classes d'occupation des sols (gauche) et d'utilisation des terres (droite) utilisées pour l'ETD. Les classes en gris représentent un niveau plus détaillé de classification, qui pourra être utilisé si l'information est disponible**

Classes d'occupation des sols	Classes d'utilisation des terres
Arbres	Forêt
Arbustes	Autre terre boisée
Herbacées	Autre couvert arboré
Absence de végétation	Prairie et couvert herbacé
Zone humide	Culture
Eau	Construction
Pas de données	Terrain nu
	Zone humide
	Eau
	Pas de données

Les polygones pré-étiquetés (occupation et utilisation) ainsi que les images de télédétection seront fournis aux pays et aux experts régionaux pour validation. Les labels seront vérifiés pour chaque date. De façon complémentaire, les bases de données nationales (inventaires forestiers ou cartes de végétation selon la disponibilité) ou les données qualitatives issues du Degree Confluence Project ([www.confluence.org](http://www.confluence.org)), de Panoramio™ ou de Google Earth™ seront également utilisés pour la validation. Les changements de surface forestière, positifs (afforestation ou expansion naturelle) comme négatifs (déforestation), entre les différentes périodes de temps seront synthétisés par grandes zones écologiques et au niveau régional.

### 3 Résultats et Discussion

A ce jour (décembre 2009), l'ETD est en cours de réalisation. Les résultats attendus incluent des données statistiques synthétiques sur le couvert forestier et les changements de surfaces forestières, à l'échelle globale et régionale. Là où les changements d'utilisation ont lieu, les données seront analysées plus en détail pour comprendre quels sont les qui en sont la cause.



**Figure 6. Echantillon montrant les polygones pré-étiquetés, issus de la segmentation multi-date par classes d'occupation pour 1990 (à gauche) et 2000 (droite).**

Les changements d'occupation sont signalés en rouge (en bas). Dans cet exemple, le vert représente le couvert forestier, le brun le couvert herbacé. Les polygones ayant change recevront un label d'utilisation des terres pour les 2 dates.

La carte mondiale de couverture forestière (figure 7) sera également mise à jour comme produit attendu de l'ETD. Elle recouvrira la totalité des terres émergées avec une résolution de 250 m par 250 m (soit une résolution très supérieure au  $\text{km}^2$  adopté dans FRA2005). Elle sera produite à l'Université d'Etat du Dakota du Sud, en utilisant les capteurs MODIS et l'algorithme VCF<sup>7</sup>. Le VCF permet d'affecter à un pixel un pourcentage de couverture forestière (0 à 100). Les polygones validés de l'ETD permettront de valider les résultats du VCF et d'améliorer l'algorithme pour de futures cartes forestières mondiales.

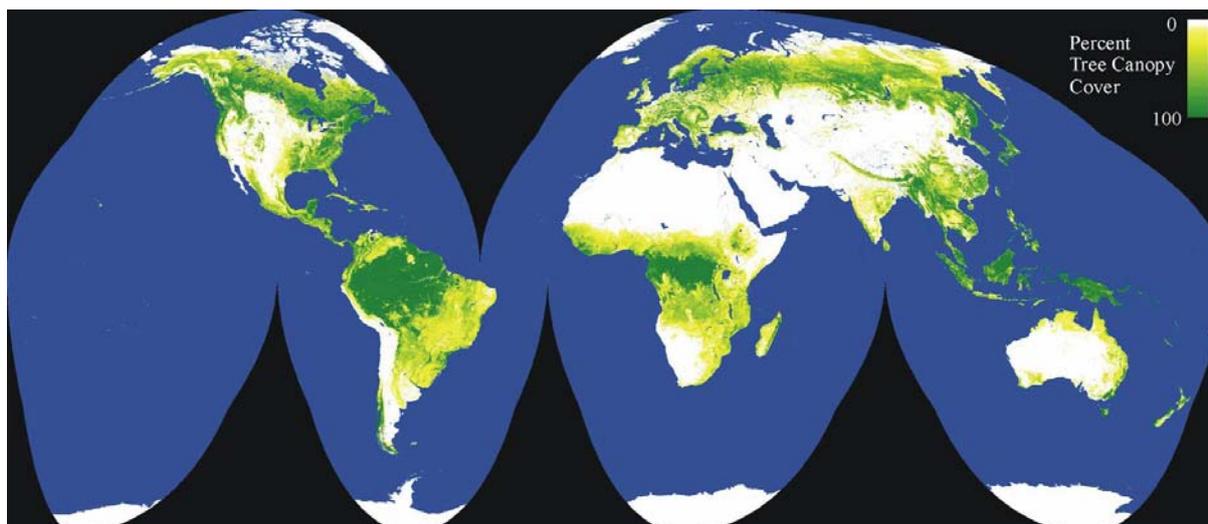


Figure 7. La carte mondiale MODIS/VCF de 2000 : pourcentage de couverture forestière avec des pixels de 500 x 500 mètres<sup>7</sup>. Les échantillons validés de l'ETD peuvent aider à améliorer la qualité des cartes mondiales.

### 3.1 Echantillonnage statistique et cartographie complète

Il existe de nombreuses possibilités d'échantillonnage pour la surveillance des forêts et les diverses options ont été comparées<sup>14, 15</sup>. L'ETD utilise un échantillonnage systématique qui couvre la majorité des surfaces émergées de la planète. Cet échantillonnage systématique d'imagerie à haute résolution spatiale a été retenu comme solution pour obtenir des volumes manipulables de données, une couverture exhaustive des zones échantillonnées et des résultats statistiquement significatifs aux échelles mondiales et régionales.

Les cartes issues de la télédétection à l'échelle mondiale existent, mais elles ont généralement une résolution grossière (> 250 m). Pourtant, la plupart des changements de couvert forestier ont lieu à des échelles spatiales inférieures à ce que peuvent détecter de gros pixels, notamment en zone tropicale. Les données Landsat ont été retenues comme source privilégiée pour l'ETD parce que leur résolution est adaptée à ces changements (30 m) et qu'elles constituent les meilleures archives existantes à l'échelle mondiale<sup>16</sup>. En 2008, la décision louable de l'USGS d'ouvrir l'intégralité des archives au public a supprimé l'obstacle historique majeur à leur utilisation.

Cependant, les bases de données restent volumineuses, elles couvrent une grande variété d'écosystèmes et l'automatisation des processus pour obtenir des résultats génériques reste difficile. La carte des forêts du monde à l'échelle Landsat n'est pas encore d'actualité, mais progressivement, des résultats prometteurs apparaissent aux échelles régionales, en Amérique du Nord<sup>17</sup>, en Amérique du Sud<sup>18</sup>, en Australie<sup>19</sup>, en Afrique Centrale<sup>20</sup> et en Europe<sup>21</sup>.

### 3.2 Implication des pays et renforcement des capacités

La FAO et ses partenaires travailleront en étroite collaboration avec les spécialistes nationaux en télédétection et inventaires forestiers, ainsi qu'avec de nombreuses organisations non gouvernementales pour finaliser l'ETD. En termes de précision, l'analyse et la validation des données d'occupation et d'utilisation des terres bénéficieront des contributions des pays, à travers les données nationales et les savoirs locaux. Aux pays participants, la FAO et le JRC fourniront gratuitement les logiciels permettant de visionner et labelliser les données d'occupation et d'utilisation des terres. Des ateliers seront organisés dans plusieurs centres régionaux à travers le monde, afin d'améliorer les compétences nationales dans l'interprétation

des données de télédétection. L'accès libre aux données et logiciels de télédétection profitera particulièrement aux pays ayant un réseau de surveillance des forêts et des données limités.

La FAO a élaboré un portail Internet officiel pour recueillir les données brutes, les pré-labels des polygones d'occupation et les données finales validées d'occupation des sols et d'utilisation des terres pour l'ETD. Le portail est libre et donne gratuitement accès à toute la base Landsat de la FAO. Les pays participants peuvent, de façon sécurisée par un mot de passe, charger et télécharger les données de validation au fur et à mesure du processus. L'adjonction des données complémentaires (i.e photographies) y est également facilitée.

La FAO sollicite actuellement les pays pour nommer des spécialistes nationaux qui participeront à la validation des résultats. Les candidats auront idéalement une expérience en télédétection, ainsi qu'une connaissance préalable des types d'occupation et d'utilisation des terres. La FAO prend en charge la participation des spécialistes désignés pour assister aux ateliers régionaux. Les pays ayant un grand nombre d'échantillons à valider pourront recevoir un support financier pour finaliser l'exercice. Le point d'achèvement de l'ETD est prévu pour fin 2011, Année Internationale des Forêts.

#### **4 Conclusion**

L'Enquête par télédétection de FRA 2010 est une étude mondiale, systématique et exhaustive de la couverture forestière et des changements d'utilisation des terres forestières de 1990 à 2000 et 2005. Elle s'appuie sur une méthodologie adaptée à la surveillance des forêts à l'échelle mondiale, qui peut être étendue à des études plus approfondies.

L'ETD devrait apporter une meilleure connaissance des changements de surface forestière, des processus à l'origine de ces changements à l'échelle de la planète, et des scénarios d'évolution possible. Ces informations pourront être utilisées par les gouvernements, les gestionnaires, les chercheurs ou la société civile pour la prise de décision concernant la gestion des ressources forestières mondiales.

Les activités de formation et les échanges de connaissance mis en œuvre par la FAO, le JRC et les partenaires apporteront des compétences techniques pour la surveillance des ressources forestières dans de nombreux pays. La FAO et le JRC fournissent un accès libre aux données de télédétection, sur Internet ou sur support CD/DVD. L'imagerie et les logiciels fournis et présentés lors des ateliers régionaux pourront être utilisés pour d'autres études. Enfin le réseau d'experts qui sera constitué pour l'ETD représentera dans de nombreux pays une ressource humaine efficace et de haut niveau technique.

La réalisation parallèle de FRA2010 et de l'ETD permettra d'avancer sur les points suivants :

- (i) l'objectif de la Convention des Nations Unies sur la Diversité Biologique d'inverser la perte de biodiversité d'ici 2010
- (ii) les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD)
- (iii) les objectifs globaux du Forum sur les Forêts des Nations Unies
- (iv) l'objectif 2000 de l'Organisation Internationale des Bois Tropicaux (OIBT)

Si les pays s'engagent dans ce processus et si les moyens leur en sont donnés, la méthode pourrait aboutir à réaliser une plateforme de développement des capacités nationales de surveillance des forêts, requise par la CNUCCC et le mécanisme REDD en cours de négociation.

## Références

1. The Group of Eight Summit, 2008. Hokkaido, Tokyo G8 Summit Leaders Declaration Hokkaido Toyako, 8 July 2008. [http://www.g8summit.go.jp/eng/doc/doc080714\\_en.html](http://www.g8summit.go.jp/eng/doc/doc080714_en.html)
2. FAO, 2006. Global Forest Resources Assessment 2005, FAO Forestry Paper 147. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/008/a0400e/>
3. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Climate change 2007-The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC (Cambridge University Press, Cambridge, UK).
4. FAO, 1995. Forest resources assessment 1990 – global synthesis. FAO Forestry Paper 124. Rome, Italy.
5. FAO, 2001. FRA 2000 Main Report. FAO Forestry Paper 140. Rome, Italy. <http://www.fao.org/forestry/fra2000report/en/>
6. Gutman, G., Byrnes, R., Masek, J., Covington, S., Justice, C., Franks, S. and Kurtz, R., 2008. Towards monitoring land-cover and land-use changes at a global scale: The Global Land Survey 2005. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74, pp. 6–10.
7. Hansen, M.C., Dimiceli, C., Sohlberg, R.A., 2003. Global percent tree cover at a spatial resolution of 500 m: First results of the MODIS vegetation continuous fields algorithm, *Earth Interactions*, 7, paper no. 10, 15 pp.
8. FAO, 2008. National Forest Monitoring and Assessment- Manual for integrated field data collection. National Forest Monitoring and Assessment Working Paper NFMA 37/E. Rome
9. Knuth, R., Eckardt, R., Richter, N., Thiel, C. Schmillius, C., 2009. FRA-SAR 2010 - An experimental analysis of high resolution synthetic aperture radar within the framework of the FAO's FRA 2010. *Proceedings of the 33<sup>rd</sup> International Symposium on Remote Sensing of the Environment*, Stresa, Italy, April 17, 2009.
10. Desclée, B., Bogaert, P., Defourny, P., 2006. Forest change detection by statistical object-based method. *Remote Sensing of Environment*, 102, pp. 1-11.
11. Baatz, M. and Schape, A., 2000. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: Strobl, J., Blaschke, T., Griesebner, G. (Eds.), *Angewandte Geographische Informations-Verarbeitung XII*. Wichmann Verlag, Karlsruhe, p.p. 12– 23, 2000.
12. Bodart, C., Beuchle, R., Simonetti, D., Eva, H., Raši, R., Carboni, S., Brink, A., Stibig, H. Achard, F., Mayaux, P. 2009. Global monitoring of tropical forest cover changes by means of a sample approach and object-based classification of multi-scene Landsat imagery: pre-processing and first results. *Proceedings of the 33<sup>rd</sup> International Symposium on Remote Sensing of the Environment*, Stresa, Italy, April 17, 2009.
13. FAO, 2005. Land Cover Classification System (LCCS), Version 2: Classification Concepts and User Manual. Ed. Di Gregorio, A. <http://www.fao.org/docrep/008/y7220e/y7220e00.htm>
14. FAO 2007a. Global Forest Resources Assessment 2010, Options and recommendations for a global remote sensing survey of forests. Forest Resources Assessment programme Working Paper 141. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai074e/ai074e00.pdf>.
15. Mayaux, P., Holmgren, P., Achard, F., Eva, H., Stibig H.J., and Branthomme, A. 2005. Tropical forest cover change in the 1990s and options for future monitoring. *Phil. Trans. R. Soc. B* 2005 360, 373-384
16. Williams, D.L., Goward, S. and Arvidson, T., 2006. Landsat: yesterday, today, and tomorrow. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72, pp. 1171–1178.
17. Masek, J.G., Vermote, E.F., Saleous, N.E., Wolfe, R., Hall, F.G., Huemmrich, K.F., Gao, F., Kutler, J., Lim, T., 2006. A Landsat surface reflectance dataset for North America, 1990-2000. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3, pp. 68-72.
18. INPE, 2008. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. *Projeto PRODES* <http://www.obt.inpe.br/prodes>.
19. Caccetta, P.A., Furby, S.L., O'Connell, J., Wallace, J.F. and Wu, X. 2007. Continental Monitoring: 34 Years of Land Cover Change Using Landsat Imagery, *32nd International Symposium on Remote Sensing of Environment*, June 25-29, 2007, San José, Costa Rica.
20. Hansen, M., Roy, D.P., Lindquist, E., Justice, C., Altstatt, A., 2008a. A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in Central Africa. *Remote Sensing of Environment*, 112, pp. 2495–2513.
21. Pekkarinen, A., Reithmaier, L. Strobl, P., 2009. Pan-European forest/non-forest mapping with Landsat ETM+ and Corine Land Cover 2000 data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64, 171-183.

## Bibliographie complémentaire

- Achard, F., Eva, H.D., Stibig, H.J., Mayeaux, P., Gallego, J., Richards, T., Malingreau, J.P., 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, 297, pp. 999-1002.
- Bonan, G.B., 2008. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefit of forests. *Science*, 320, pp. 1444-1449.
- Duveiller, G., Defourny, P., Desclée, B., Mayeaux, P., 2008. Deforestation in Central Africa: estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts. *Remote Sensing of Environment*, 112, pp. 1969-1981.
- FAO, 2001. Global Ecological Zoning for the Global Forest Resources Assessment, 2000. Forest Resources Assessment - Working Paper 56. Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/006/ad652e/ad652e00.htm>.
- FAO 2007a. Global Forest Resources Assessment 2010, Options and recommendations for a global remote sensing survey of forests. Forest Resources Assessment programme Working Paper 141. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai074e/ai074e00.pdf>.
- FAO, 2007b. Specification of National Reporting Tables for FRA 2010. Forest Resources Assessment Programme Working Paper 135. <http://www.fao.org/forestry/media/14119/1/0/>
- Grainger, A. 2008. Difficulties in tracking the long-term global trend in tropical forest area. *Proceedings of the National Academy of Sciences*: 105: 818-823. 0703015105.
- Hansen, M.C., Stehman, S.V., Potapov, P.V., Loveland, T.R., Townshend, J.R.G., DeFries, R.S., Pittman, K.W., Arunarwati, B., Stolle, F., Steininger, M.K., Carroll, M., Dimiceli, C., 2008b. Humid tropical forest clearing from 2000 to 2005 quantified by using multitemporal and multiresolution remotely sensed data. *Proceedings of the National Academy of Science*: 105, pp. 9439-9444.
- Lambin, E., and Geist, H., (eds), 2005. *Land Use and Land Cover Change: Local Processes, Global Impacts* (Springer, New York).
- Potapov, P., Hansen, M.C., Stehman, S.V., Loveland, T.R., Pittman, K., 2008. Combining MODIS and Landsat imagery to estimate and map boreal forest cover loss. *Remote Sensing of Environment*, 112, pp. 3708-3719.
- Stehman, S.V., 2003. Statistical sampling to characterize land cover change. *Remote Sensing of Environment*, 86, pp. 517-529.
- Tucker, C.J., Grant, D.M., Dykstra, J.D., 2004. NASA's global orthorectified Landsat data set. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70, pp. 313-322.
- UNFF, 2007. Non-legally Binding Instrument on all Types of Forests. UN General Assembly A/C.2/62/L.5.
- Wilson, Edward O. (ed.), 1988. Biodiversity. National Academy Press, Washington, DC, 521pp.