

Chapitre 47

Cartes mondiales

RÉSUMÉ

FRA 2000 a dressé de nouvelles cartes des forêts et des zones écologiques du monde qui donnent une dimension spatiale aux statistiques sur la superficie dérivant d'inventaires menés dans différents pays et régions; elles fournissent un aperçu synoptique du couvert forestier mondial. La carte mondiale du zonage écologique est un outil essentiel d'agrégation des informations mondiales sur les forêts ou sur d'autres ressources naturelles, en fonction de leur caractère écologique. Combinées, ces cartes servent à analyser et décrire le couvert forestier mondial suivant les caractéristiques écologiques des forêts.

La carte du couvert forestier a été préparée à l'aide d'images satellitaires à faible résolution. Dans les précédentes évaluations mondiales, on ne disposait ni des moyens ni de la technologie nécessaires pour produire une carte mondiale basée sur l'imagerie satellitaire. Cette carte technique, basée sur une technologie de pointe, remplace ainsi les simples illustrations des forêts du monde.

La carte des zones écologiques, réalisée sur la base d'une classification mondiale normalisée, a été produite à l'aide de cartes nationales et régionales existantes de la végétation potentielle, de données sur le climat et de l'imagerie satellitaire.

Une troisième carte des aires protégées a également été dressée et utilisée pour estimer la superficie forestière sous un statut officiel de protection dans le monde. Les données ont été collectées dans les différents pays.

Chaque carte est élaborée à partir d'une base de données informatisée intégrée dans un Système d'information géographique (SIG), ce qui permet de combiner les cartes avec différentes données spatiales et statistiques et offre de nouvelles perspectives sur les forêts du monde. Les cartes et les bases de données informatisées peuvent être actualisées plus facilement que les cartes conventionnelles, et elles constituent ainsi un travail de base pour les futures évaluations. Des versions numériques de ces cartes sont disponibles pour les chercheurs et le grand public sur le site Web de FRA (www.fao.org/forestry/fo/fra/index.jsp).

INTRODUCTION

Le FRA 2000 a produit trois cartes mondiales: une carte des forêts, une carte des zones écologiques et une carte des aires protégées. Chaque carte est générée à partir d'une base de données informatisée gérée dans un Système d'information géographique (SIG). Ce système permet d'intégrer les cartes avec des données spatiales et statistiques provenant de différentes sources afin d'établir des statistiques au niveau mondial, régional et de la zone écologique, offrant par-là de nouvelles perspectives sur les forêts du monde. Les cartes et les bases de données informatisées sont plus faciles à mettre à jour que les cartes conventionnelles et constituent une référence pour les futures évaluations.

La carte des forêts du monde montre l'étendue et la localisation des principales formations forestières existantes dans le monde (figure 47-1). La carte écologique peut être associée à d'autres cartes ou données pour quantifier ou décrire les forêts suivant leurs caractéristiques écologiques (figure 47-2). La carte des aires protégées donne l'emplacement, l'étendue et le type d'aire protégée pour tous les pays du monde.

Les cartes des forêts et des zones écologiques sont utilisables jusqu'à une échelle de 1:40 000 000 bien que l'on puisse obtenir des agrandissements jusqu'à 1:10 000 000. Des versions numériques de ces cartes sont disponibles pour

les chercheurs et le grand public sur le site Web de FRA, à l'exception de la carte des aires protégées qui est gérée exclusivement par le Centre mondial de surveillance continue de la conservation de la nature du PNUE (PNUE-WCMC).

La FAO a travaillé avec plusieurs partenaires à la mise au point des différentes cartes, y compris le Centre de données EROS (EDC), Etats-Unis; le PNUE-WCMC, Royaume-Uni; l'Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués (IIASA), Autriche; le Laboratoire d'écologie terrestre (LET) de Toulouse, France; le Centre des sciences tropicales, Costa Rica; l'Université autonome du Mexique (UNAM); le Service canadien des forêts (SCF); le Service forestier du Département de l'agriculture des Etats-Unis (USDA); l'Université de Damas, République arabe syrienne; l'Institut des applications de la télédétection (IRSA), Chine; l'Académie chinoise des sciences; et le Bureau australien des sciences rurales (BRS). L'EDC a géré intégralement le traitement des images pour la carte des forêts et la mosaïque mondiale pour la carte du zonage écologique. Le PNUE-WCMC a dressé la carte des aires protégées. La FAO a organisé et coordonné le travail, réalisé le contrôle final de la qualité et vérifié le raccordement des limites entre toutes les cartes. D'autres partenaires ont fourni une aide précieuse pour la conception technique et le contenu thématique des cartes.



Figure 47-1. Carte mondiale du couvert forestier

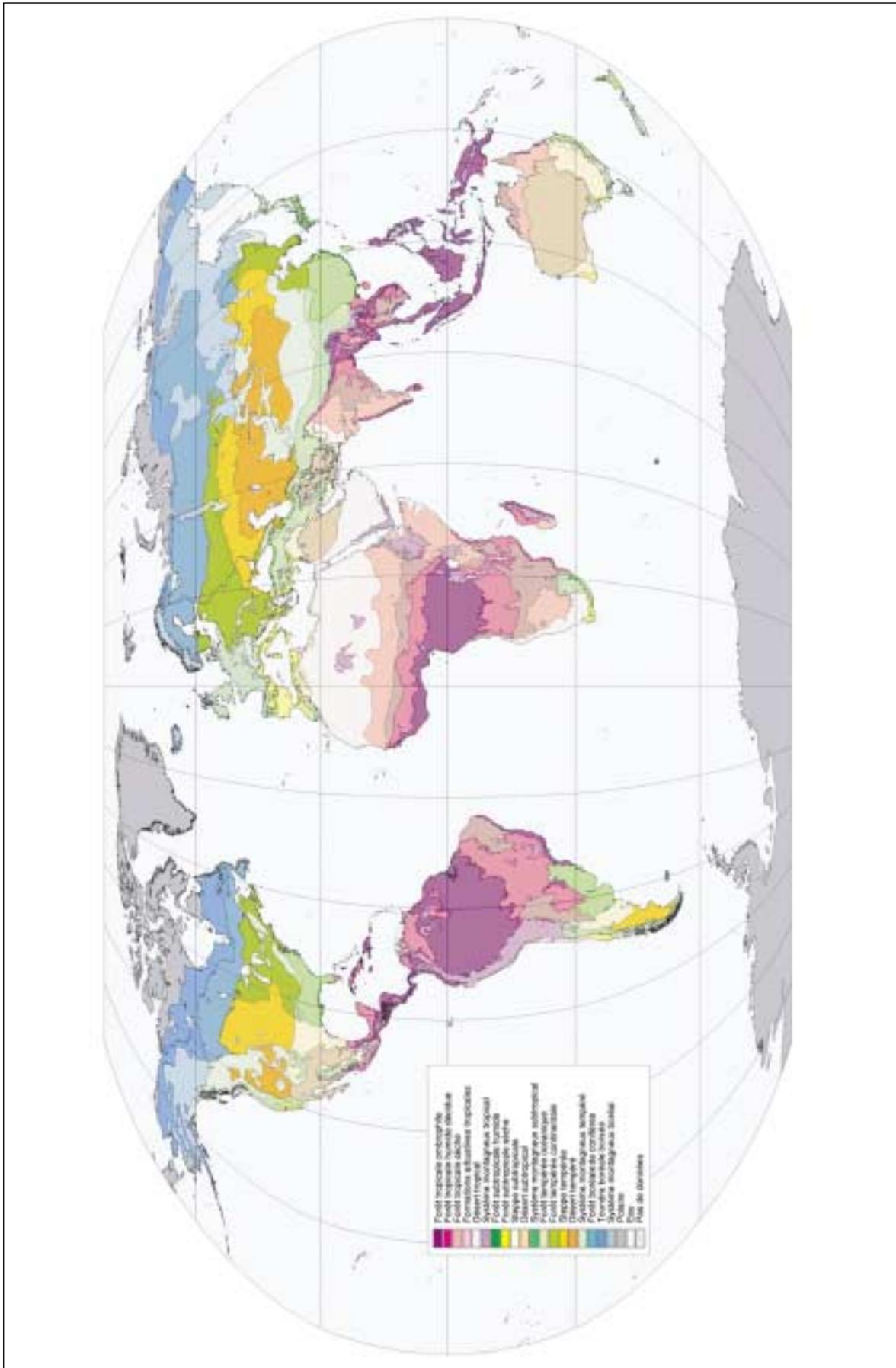


Figure 47-2. Carte mondiale des zones écologiques

Tableau 47-1. Légende, définitions et types représentatifs du couvert végétal de la carte mondiale du couvert forestier de FRA 2000

Classe de FRA 2000	Définition de la FAO	Couvert végétal représentatif
Forêt fermée	Terres avec un couvert arboré supérieur à 40 pour cent dont les arbres atteignent une hauteur supérieure à 5 m. Elles comprennent les forêts naturelles et les plantations forestières.	Forêt tropicale/subtropicale humide Forêt tempérée mixte feuillue Plantation de conifères subtropicale/tempérée Forêt boréale de conifères
Forêt ouverte ou fragmentée	Terres avec un couvert arboré de 10 à 40 pour cent, 40 pour cent, avec des arbres de hauteur supérieure à 5 m (forêt ouverte), ou mosaïques de forêts et de terres non boisées (forêt fragmentée). Elles comprennent les forêts naturelles et les plantations forestières.	Forêt boréale/taïga ouverte du nord formée de résineux ou mixte Terres boisées d'Afrique australe Forêt tropicale fragmentée/dégradée
Autres terres boisées	Terres avec un couvert arboré de 5 à 10 pour cent et dont les arbres atteignent une hauteur supérieure à 5 m, ou un couvert d'arbustes ou d'arbrisseaux de plus de 10 pour cent et de hauteur inférieure à 5 m.	Formations arbustives fermées méditerranéennes Savanes boisées tropicales
Autres couverts	Toutes les autres terres, y compris les prairies, les terres agricoles, les terres dénudées, les zones urbaines.	Prairies, terres agricoles, zones humides non ligneuses, déserts, zones urbaines
Eaux	Eaux continentales.	Eaux continentales

La réalisation de ces trois cartes mondiales a représenté pour FRA 2000 un défi technique important. Chacune a été produite en utilisant les meilleures informations disponibles à cette fin. La carte du couvert forestier a été effectuée à l'aide de l'imagerie satellitaire à faible résolution, la carte écologique à partir de cartes nationales et régionales de la végétation potentielle et de données climatiques, et la carte des aires protégées a été réalisée avec des cartes indépendantes et d'informations ponctuelles fournies par les pays.

Les cartes mondiales offrent un aperçu synoptique de la situation des forêts, des zones écologiques et des aires protégées de la planète. Elles ont été utilisées conjointement avec les données statistiques des rapports de FRA 2000 sur la superficie forestière par zone écologique, la superficie forestière sous protection, les aires protégées au sein des zones écologiques, et d'autres paramètres.

CARTE DU COUVERT FORESTIER

Il a fallu trois ans pour compléter la carte des forêts de FRA 2000 et montrer la localisation et la répartition des forêts suivant les critères de classification de l'évaluation.

La cohérence générale au niveau mondial a été considérée comme un objectif important pour toutes les cartes. Pour cartographier le couvert forestier, cela ne pouvait être obtenu qu'en utilisant une source unique de données, comme l'imagerie satellitaire, et en appliquant les mêmes critères de classification pour toutes les zones. Le système de classification utilisé pour cette carte a été créé en utilisant les mêmes critères que ceux employés par la FAO pour l'évaluation mondiale basée sur des statistiques nationales, et pour son programme d'échantillonnage basé sur la télédétection à haute résolution (tableau 47-1). Par conséquent, la carte mondiale a pu être intégrée dans l'analyse générale de FRA et utilisée conjointement avec d'autres séries de données. La carte sert aussi de simple

support visuel pour indiquer l'emplacement et l'étendue des forêts présentes dans le monde, en fonction de la terminologie de la FAO.

Une tâche particulièrement difficile et onéreuse, liée à la production de cartes à partir de données satellitaires, notamment l'imagerie du Radiomètre avancé à très haute résolution (AVHRR), est l'assemblage d'une grande quantité de données pour produire un seul jeu de données dépourvu de nuages. Parce que les nuages masquent les forêts, ainsi que les autres types de couverts, il a fallu les éliminer avant de dresser la carte. C'est pourquoi la carte des forêts a exploité, dans une large mesure, la base de données mondiale sur les caractéristiques du couvert végétal (*Global Land Cover Characteristics Database*, GLCCD) produite par l'EDC. Cette base de données s'est avérée inestimable pour la cartographie, car de nombreux problèmes liés à la couverture nuageuse et aux anomalies de réflectance, avaient été résolus par un prétraitement et l'utilisation d'une image multidate ne contenant que les meilleures données. Néanmoins, l'absence d'une imagerie de bonne qualité a empêché la cartographie de plusieurs îles du Pacifique. Les données sources pour la carte des forêts proviennent de la série de données de 1995-1996, notamment l'imagerie la plus récente disponible dans les archives de la GLCCD. Elle consiste en cinq bandes AVHRR calibrées et une bande de l'indice de végétation à différence normalisée (NDVI) (Zhu et Waller 2001).

Bien que la correspondance entre les systèmes de classification de la GLCCD et de FRA soit jugée acceptable dans l'ensemble, il a été difficile de recodifier toutes les classes de la GLCCD en classes utilisées par FRA 2000. C'est ainsi qu'en Amérique du Sud, 34 des 167 classes d'origine ont dû être traitées ultérieurement pour établir la carte de la FAO (Zhu *et al.* 1999). En conséquence, l'EDC a adopté une méthodologie basée sur un modèle de mélange avec un étalonnage des valeurs NDVI et de la bande visible en

fonction de la valeur des pixels sur la bande infrarouge. Les variations régionales du couvert forestier et de la réflectance associée ont nécessité une stratification des traitements par divisions géographiques et l'ajustement des modèles en fonction de leurs conditions respectives (Zhu et Waller 2001).

Une première version de la carte des forêts a été réalisée en 1999, l'EDC, la FAO et le PNUE-WCMC ont travaillé en collaboration pour sa validation et le contrôle de la qualité. Le PNUE-WCMC a identifié, à partir de ses importantes archives cartographiques, les zones qui nécessitaient un traitement supplémentaire, et la FAO a envoyé des copies de la version préliminaire à ses experts et à dans ses bureaux régionaux dans le monde entier pour recueillir leurs commentaires. Ces informations ont servi, au cours de la dernière année, à affiner la carte avant son évaluation.

Évaluer la précision de la carte a été une étape importante dans ce processus cartographique puisque la carte finale allait être utilisée pour des travaux techniques, conjointement avec d'autres jeux de données. L'EDC s'est servi d'une série existante de points de validation issue du Programme international géosphère-biosphère (PIGB) et des données complètes sur le couvert végétal fournies par les gouvernements des États-Unis et de la Chine (Zhu et Waller 2001). La FAO a entrepris aussi une évaluation de la carte en utilisant 117 scènes Landsat TM (*Thematic Mapper*) interprétées pour les zones tropicales. Ces évaluations ont montré que la précision moyenne de la carte pour toutes les classes de forêts était d'environ 80 pour cent. Les forêts fermées sont cartographiées avec une précision supérieure à la moyenne, alors que la délimitation des forêts ouvertes et fragmentées apparaissent moins fiables. La cartographie de la classe des autres terres boisées est moins précise que celle des trois classes précédentes.

La carte du couvert forestier mondial a donné une dimension spatiale aux statistiques sur la superficie et aux résultats d'inventaire pour les pays et les régions. Dans les évaluations précédentes, on ne disposait, ni des moyens, ni de la technologie nécessaires pour produire une carte mondiale à partir de l'imagerie satellitaire. Dans FRA 2000, les représentations traditionnelles et manuelles des forêts du monde ont donc été remplacées par une carte techniquement correcte fondée sur une technologie de pointe.

À des fins d'illustration, la carte a été reproduite dans la projection Robinson. Cependant, il est possible de convertir la carte (ou des portions de la carte) en d'autres systèmes de projections suivant les besoins, puisqu'elle est conçue dans un format SIG.

Les estimations de la superficie forestière ne sont pas dérivées de la carte. Cependant, elle a servi de support spatial pour l'intégration des statistiques nationales qui ont ensuite été utilisées conjointement avec les cartes du zonage écologique et des aires protégées pour estimer la proportion de forêts sous protection et dans les différentes zones écologiques.

CARTES DU ZONAGE ÉCOLOGIQUE

La stratégie de base du zonage écologique de FRA a tenu compte à la fois des besoins thématiques que des exigences techniques de la carte, ainsi que des nombreuses contraintes opérationnelles inhérentes à sa mise au point. Étant donnée la notion d'écosystèmes, les besoins étaient tels que les zones ou les classes ont dû être définies et cartographiées suivant une approche holistique. C'est-à-dire que les composantes biotiques et abiotiques des écosystèmes ont été prises en compte dans le système de zonage. Au-delà du contenu thématique et du zonage, les aspects pratiques liés à la production de cartes numériques, comme la disponibilité, l'actualisation, l'échelle des données et la fiabilité relative des données ont été considérés (Simons 2001).

La FAO a entrepris deux études préliminaires pour identifier les alternatives et les contraintes liées à l'établissement d'une carte des zones écologiques mondiales adaptée aux besoins de FRA 2000 (Preto 1998; Zhu 1997). Les résultats de ces études, l'expérience acquise dans la préparation de la carte du zonage écologique tropical pour FRA 1990, et les recommandations des autres partenaires consultés lors de la démarche, ont montré que la FAO ne pouvait pas actualiser entièrement la carte mondiale du zonage écologique d'ici à 2000 en raison de la grande quantité d'informations scientifiques, de ressources organisationnelles et financières et du temps nécessaires à une telle réalisation. La FAO a donc cherché à identifier un système existant utilisable ou adaptable aux besoins du programme. Un atelier sur l'élaboration de la carte des zones écologiques mondiales tenu à Cambridge, Royaume-Uni, en juillet 1999, auquel ont participé des experts de 15 pays, a permis la mise en place du cadre de la méthodologie.

En raison de l'ampleur de la tâche à accomplir à l'échelle mondiale, il fallait choisir un système de classification qui répondent aux besoins thématiques de la FAO, soit facile à établir avec les ressources disponibles, et irréprochable vis-à-vis des différents utilisateurs du monde entier. Les systèmes existants ont tous été créés à des fins spécifiques en fonction de différents critères environnementaux. Le macroclimat (température et précipitations) est utilisé par la plupart (Preto 1998; WCMC 1992). Le macroclimat étant bien corrélé avec la végétation potentielle d'un lieu donné, il a été considéré comme une base logique également pour le zonage de FRA.

Cependant, une carte climatique représentant des paramètres aussi importants que la température et les précipitations n'est pas nécessairement une carte écologique, si ses limites ne coïncident pas avec des limites biologiques importantes. De même, les cartes du relief (dérivées de données numériques d'altitude) ne sont pas nécessairement des cartes écologiques si l'on n'a pas montré la covariation des types de relief avec d'autres composantes de l'écosystème, comme la végétation (Bailey 1998).

En ce concerne le choix des paramètres climatiques à utiliser dans la carte de FRA 2000, un certain nombre de

Tableau 47-2. Ventilation des zones écologiques utilisées dans FRA 2000

ZE Niveau 1 – Domaine		ZE Niveau 2 – Zone écologique mondiale		
Nom	Critères (équivalant aux groupes climatiques de Köppen-Trewartha)	Nom (évoquant la végétation zonale dominante ^a)	Code	Critères (approximativement équivalents aux types climatiques de Köppen-Trewartha, associés à la physionomie de la végétation, et à une zone orographique de chaque domaine)
Tropical	Tous les mois sans gel: dans les zones marines au-dessus de 18°C	Forêt tropicale ombrophile	TAr	Humide: 0-3 mois de sécheresse ^b , pendant l'hiver
		Forêt tropicale humide décidue	Tawa	Humide/sec: 3-5 mois de sécheresse, pendant l'hiver
		Forêt tropicale sèche	Tawb	Sec/ humide: 5-8 mois de sécheresse, pendant l'hiver
		Formations tropicales arbustives	TBSh	Semi-aride: évaporation > précipitations
		Désert tropical	TBWh	Aride: 12 mois de sécheresse
		Systèmes montagneux tropicaux	TM	Approximativement > 1 000 m d'altitude (variations locales)
Subtropical	Huit mois ou plus au-dessus de 10°C	Forêt subtropicale humide	SCf	Humide: sans saison sèche
		Forêt subtropicale sèche	SCs	Sécheresse saisonnière: pluies hivernales, étés secs
		Steppe subtropicale	SBSH	Semi-aride: évaporation > précipitations
		Désert subtropical	SBWh	Aride: 12 mois de sécheresse
		Systèmes montagneux subtropicaux	SM	Approximativement > 800-1000 m d'altitude
Tempéré	De quatre à huit mois au-dessus de 10°C	Forêt tempérée océanique	TeDo	Climat océanique: plus de 0° pendant le mois le plus froid
		Forêt tempérée continentale	TeDc	Climat continental: moins de 0° pendant le mois le plus froid
		Steppe tempérée	TeBSk	Semi-aride: évaporation > précipitations
		Désert tempéré	TeBWk	Aride: 12 mois de sécheresse
		Systèmes montagneux tempérés	TM	Approximativement > 800 m d'altitude
Boréal	Jusqu'à trois mois au-dessus de 10°C	Forêt boréale de conifères	Ba	Physionomie de la végétation: prédominance de forêts denses de résineux
		Toundra boréale boisée	Bb	Physionomie de la végétation: prédominance de formations boisées et de forêts clairsemées
		Systèmes montagneux boréaux	BM	Approximativement > 600 m d'altitude
Polaire	Tous les mois au-dessous de 10°C	Polaire	P	Semblable aux critères cités pour le domaine

^a Végétation zonale: résultant de variations des conditions environnementales, c'est-à-dire climatiques, dans la direction nord-sud.

^b Un mois sec est défini comme un mois où les précipitations totales exprimées en millimètres sont égales ou inférieures au double de la température moyenne en degrés centigrades.

systèmes mondiaux a été étudié (Köppen 1931; Trewartha 1968; Thornthwaite 1933; Holdridge 1947). Le système de Köppen modifié par Trewartha a été retenu comme étant le plus adapté, car le nombre de classes correspondait le mieux aux besoins de FRA 2000. En outre, bien que Köppen-Trewartha se fonde sur le climat, il existe une bonne corrélation, démontrée, entre ses sous-zones ou types climatiques et les types de végétation climacique et les sols qu'ils contiennent (Bailey 1996)⁵⁶.

En collaboration avec l'EDC et le PNUE-WCMC, la FAO a donc mis au point un prototype de système de zonage pour FRA 2000 basé sur le modèle Köppen-Trewartha. Le zonage a été réalisé de manière hiérarchique en utilisant les groupes climatiques et les types climatiques de Köppen-Trewartha comme niveaux 1 et 2, respectivement, des zones écologiques de la FAO (tableau 47-2). Un troisième niveau a également été testé pendant le projet pilote, représentant la différenciation à l'intérieur des deux premiers niveaux en fonction de la configuration du relief – en faisant la distinction entre les montagnes avec une zonation

altitudinale et les basses terres. Finalement, le troisième niveau n'a pas été utilisé.

Au niveau 1, niveau le plus général équivalent aux groupes climatiques du modèle Köppen-Trewartha, cinq domaines sont définis en fonction de la température: tropical, subtropical, tempéré, boréal et polaire.

Au deuxième niveau, 20 classes ou zones écologiques sont différenciées, indiquant de grandes zones à végétation relativement homogène, comme la forêt tropicale ombrophile, la forêt tropicale sèche et la forêt boréale de résineux. Les noms des zones écologiques mondiales traduisent la végétation zonale dominante. Les végétations typiquement azonales, comme les mangroves, les landes et les marécages, ne sont pas classées, ni cartographiées séparément.

Le niveau 2 est le niveau de référence ou de travail de la carte des zones écologiques mondiales. Ces zones ont été délimitées à l'aide des données macroclimatiques et des cartes existantes de la végétation climacique ou potentielle. L'utilisation des cartes de la végétation a permis d'obtenir une délimitation plus précise des zones écologiques. Si l'on avait considéré uniquement les cartes climatiques généralisées, les zones de la carte finale n'auraient peut-être pas coïncidé parfaitement avec les limites d'unités de végétation homogènes.

⁵⁶ C'est, dans une large mesure, parce que Köppen a établi ses classes climatiques à partir d'observations sur la répartition des types de végétation naturelle dans les différents continents (Köppen 1931).

Dans chaque domaine (niveau 1), une zone de systèmes montagneux est définie au niveau 2. Ces systèmes contiennent normalement une variété de types de végétation et comprennent des forêts, des arbustes alpins, des formations herbeuses et des rochers nus. Le cadre mondial actuel ne peut tenir compte de la grande diversité des habitats montagneux d'altitude dont la taille est souvent réduite. Le domaine polaire n'est pas davantage subdivisé, car il est dépourvu d'arbres, et ne contient qu'une végétation arbustive ou herbacée disséminée, présente localement. Ici, le deuxième niveau est équivalent au premier.

Le principe de base de délimitation des zones écologiques mondiales implique l'agrégation ou l'adaptation au cadre mondial des cartes écologiques ou de la végétation potentielle régionales. Les différentes étapes sont les suivantes:

- identification des types climatiques de Köppen-Trewartha et des zones montagneuses présents dans une région pour se rapprocher de la classe de zone écologique du niveau 2 du système de la FAO;
- établissement d'une correspondance entre les types régionaux/nationaux de végétation potentielle et les zones écologiques mondiales;
- définition finale et délimitation des zones écologiques mondiales en utilisant les cartes et les données sources consultées pendant les deux premières étapes;
- assemblage des cartes adjacentes;
- validation.

Pour assurer une utilisation optimale des connaissances et des informations régionales, des cartes régionales/nationales existantes de la végétation, biogéographique, écologique et climatique ont été utilisées pour produire la carte des zones écologiques mondiales. Pour certains pays, comme les Etats-Unis, la classification s'est appuyée sur le système climatique de Köppen-Trewartha et l'adaptation au schéma de la FAO a été immédiate. Dans d'autres cas, une étude plus approfondie des critères cartographiques, comme la physionomie, la phénologie, la floristique et la dynamique des types de végétation, a été nécessaire pour établir la correspondance. L'un des avantages de l'utilisation de cartes nationales/régionales existantes est qu'elles peuvent constituer la base d'un zonage écologique régional plus détaillé ou fournir des informations utilisables au-delà de FRA 2000 (voir tableau 47-3).

Les cartes nationales/régionales de la végétation ont également permis d'harmoniser les limites des zones écologiques qui traversent les pays ou les régions. Les experts qui ont participé à l'atelier de Cambridge ont contribué activement à la définition des zones écologiques de leurs régions respectives ainsi qu'à l'assemblage des cartes des régions géographiques contiguës.

La carte des zones écofloristiques de FRA 1990 et plusieurs cartes régionales ont été produites à l'aide du

logiciel SIG Arc/Info de l'ESRI. Il convenait donc de réaliser le reste du travail en utilisant Arc/Info, ou un format importable sous Arc/info. Après vérification que les zones écologiques originales (représentées sous la forme de polygones) étaient correctes sur la carte numérique, la couverture a été éditée et les attributs correspondant aux niveaux 1 et 2 des zones écologiques de la FAO y ont été ajoutés.

Deux problèmes se sont présentés lors de l'assemblage des polygones le long des frontières nationales et régionales. L'un a été le manque d'homogénéité dans la reclassification suivant les zones écologiques mondiales des polygones entre des cartes adjacentes. Ce problème a pu se résoudre facilement en remontant aux cartes originales, en vérifiant la correspondance avec les classes mondiales, et en apportant les modifications nécessaires. L'autre problème était le manque d'alignement entre les limites des polygones des deux cartes adjacentes. Pour le résoudre, la FAO a édité manuellement la couverture et changé l'emplacement des limites, ce qui a imposé parfois une vérification à l'aide de données et de cartes auxiliaires, telles que des compositions de bandes spectrales AVHRR de l'Administration océanique et atmosphérique nationale (NOAA) des Etats-Unis, des données concernant les classes de couvert au sol à l'échelle continentale (la base de données mondiale du couvert végétal de la United States Geological Survey, par exemple) et les données d'un modèle numérique de terrain (MNT).

En fonction de la classification et des directives décrites ci-dessus, la carte mondiale a été dressée suivant une approche région par région. Des études de cas sur l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud ont fourni des expériences et des directives intéressantes pour la cartographie des zones écologiques mondiales dans d'autres régions. Au cours des travaux réalisés au niveau régional, des experts ont participé activement ou ont été consultés. L'EDC a été chargée de produire les cartes des zones écologiques pour les régions tempérées et boréales et, conjointement avec la FAO, elle a élaboré la carte et la base de données mondiales, alors que le LET de Toulouse a produit les cartes des zones écologiques pour les régions tropicales, notamment pour l'Amérique du Sud, l'Afrique et l'Asie. La FAO a donné des orientations techniques et conceptuelles générales. Après la réunion de Cambridge en juillet 1999, il a fallu un an pour produire la première version de la carte mondiale. Cette dernière a été révisée au cours d'une réunion à Salt Lake City, Utah, Etats-Unis (5-7 juillet 2000), et la carte et la base de données finales ont été complétées en octobre 2000.

Après la production des cartes régionales des zones écologiques mondiales, la carte mondiale a été établie par mosaïquage des unités régionales. L'assemblage des cartes a été délicat, notamment pour les vastes régions comme l'Europe et l'Asie où de nombreuses unités avec des limites communes ont dû être assemblées. Les limites des zones

Tableau 47-3. Cartes-sources utilisées pour délimiter les zones écologiques mondiales de la FAO

Région	Nom de la carte	Echelle	Projection	Informations thématiques/critères de classification
Canada et Mexique	Régions écologiques d'Amérique du Nord (CCE 1997)	1:10 millions	Lambert azimutale équivalente	Système de classification globale basé sur le climat, les sols, l'orographie, la végétation et l'utilisation des terres. Système hiérarchique: 15 régions écologiques au niveau 1 et 52 régions au niveau 2.
Etats-Unis	Ecorégions des Etats-Unis (Bailey 1995)	1:7.5 millions	Lambert azimutale équivalente	Classification basée sur le système climatique de Köppen: grands domaines correspondant à des groupes climatiques, subdivisés en divisions correspondant approximativement à des types climatiques.
Amérique centrale	Cartes nationales des zones de vie de Holdridge, transformées en une carte régionale de base (Bolanos et Watson 1991; De la Cruz 1976; Hartshorn 1984; Holdridge 1962; Holdridge et Tosi 1971; Tosi 1970; Tosi et Hartshorn 1978)	Différentes échelles Carte de base: 1:1.5 million	X	Les zones de vie de Holdridge sont définies à l'aide des paramètres suivants: (bio)température, précipitations et évapotranspiration.
Amérique du Sud, Afrique, Asie tropicale	Cartes des zones écofloristiques (LET 2000)	1:5 millions	Lat-Lon	28 groupes de zones écofloristiques sont définis en fonction du climat, de la physionomie de la végétation et de la physiographie (altitude). Ces zones identifient les unités écologiques les plus détaillées, en fonction de critères supplémentaires relatifs à la flore et à l'emplacement géographique.
Proche-Orient	Carte de la végétation de la zone méditerranéenne (UNESCO/FAO 1970)	1:5 millions	X	Répartition des formations végétales potentielles en fonction du climat. Les différentes formations se distinguent principalement par leur physionomie.
Europe	Carte générale de la végétation naturelle de l'Europe (Bohn <i>et al.</i> 2000)	1:10 millions	Conique Equidistante	Répartition des communautés végétales naturelles potentielles correspondant aux conditions climatiques et édaphiques actuelles. Au niveau le plus général, 19 formations végétales sont définies dont 14 zonales et 4 azonales.
Ex-URSS	Carte de la végétation de l'URSS (Isachenko <i>et al.</i> 1990)	1:4 millions	Azimutale équivalente de Lambert	Répartition des grandes formations végétales liées au climat, à l'altitude et aussi à l'utilisation des terres. 133 classes de végétation sont réunies en 13 catégories de végétation.
Chine	Répartition géographique des principales forêts de Chine (Zhu 1992)	X	X	L'objectif principal est d'identifier et de cartographier la végétation forestière de Chine. Classification hiérarchique basée sur le climat et la répartition des types de forêts et des espèces arborées. 27 divisions forestières sont cartographiées.
Australie	Régionalisation provisoire du territoire de l'Australie (Thackway et Cresswell 1995)	1:15 millions	Albers (équivalente)	Les principales caractéristiques définissant les régions biogéographiques sont: le climat, la lithologie/géologie, le relief, la végétation, la flore et la faune et l'utilisation des sols. Au total 80 régions IBRA ont été cartographiées.
Caraïbes, Mongolie, Péninsule coréenne, Japon, Nouvelle-Zélande, Iles du Pacifique	Ecorégions terrestres du monde (WWF 2000)	X	Lat-Lon	Les écorégions sont définies par des caractéristiques écologiques communes, le climat et les communautés animales et végétales. L'objectif principal est la conservation de la biodiversité.

écologiques des parties adjacentes de l'Europe et de l'ex-URSS concordait relativement bien, et seuls quelques ajustements ont été nécessaires. Le même principe a été appliqué aux limites des zones écologiques entre l'Europe et le Proche-Orient. Davantage d'efforts ont été nécessaires pour faire coïncider les différentes zones entre l'Asie tropicale, la Chine et l'ex-URSS; le travail a été rendu plus compliqué par la présence de grands systèmes montagneux sur les zones frontalières. Après avoir surmonté les problèmes d'assemblage de cartes, les unités régionales ont été enregistrées sur un fond de carte mondiale de référence, le *Digital chart of the world* d'ESRI, 1ère édition, décembre 1994 (échelle de base: 1:1 000 000). La carte des zones écologiques mondiales, ainsi que les autres cartes mondiales produites par FRA 2000, sont présentées sur le site Web des forêts de la FAO (www.fao.org/forestry/fo/fra/index.jsp) dans la rubrique «Cartes mondiales».

La carte des zones écologiques mondiales permet de regrouper les informations sur les ressources forestières par zone écologique. Par conséquent, il est maintenant possible d'établir des rapports en fonction des caractéristiques naturelles de la végétation, plutôt qu'en fonction des limites

régionales qui souvent traversent des écosystèmes naturels. Ceci est très important aujourd'hui, car il est de plus en plus évident que de nombreux problèmes environnementaux ne sont pas propres à un pays. L'analyse du changement climatique mondial et des ressources forestières, par exemple, ainsi que les perturbations qui affectent les couloirs biologiques régionaux, exigent des informations dans un contexte géographique plus large. Grâce à la cartographie des zones écologiques, des données importantes ont pu être obtenues sur les caractéristiques des ressources forestières, données pouvant servir à identifier et résoudre des questions intéressantes de nombreux pays, des régions entières, voire l'ensemble de la planète. Pour les besoins du rapport de FRA 2000, la carte du couvert forestier a été superposée avec celle du zonage écologique pour obtenir des statistiques sur la superficie forestière par zones écologiques (tableau 47-4).

CARTE DES AIRES PROTÉGÉES

Le PNUE-WCMC a joué le rôle de coordinateur dans la préparation des cartes des aires protégées et a été entièrement responsable de la compilation de l'information.

Tableau 47-4. Répartition des forêts par zones écologiques, 2000.

Zone écologique	Total forêt %	Afrique %	Asie %	Océanie %	Europe %	Amérique du Nord et centrale %	Amérique du Sud %
Forêt tropicale ombrophile	28	24	17	-	-	1	58
Forêt tropicale humide décidue	11	40	14	6	-	9	31
Forêt tropicale sèche	5	39	23	-	-	6	33
Système tropical montagneux	4	11	29	-	-	30	30
Total forêts tropicales	47	28	18	1	-	5	47
Forêt subtropicale humide	4	-	52	8	-	34	6
Forêt subtropicale sèche	1	16	11	22	30	6	14
Système subtropical montagneux	3	1	47	-	13	38	1
Total forêts subtropicales	9	2	42	7	7	37	5
Forêt tempérée océanique	1	-	-	33	33	9	25
Forêt tempérée continentale	7	-	13	-	40	46	-
Système tempéré montagneux	3	-	26	5	40	29	-
Total forêts tempérées	11	-	17	4	39	39	2
Forêt boréale de conifères	19	-	2	-	74	24	-
Toundra boréale boisée	3	-	-	-	19	81	-
Système boréal montagneux	11	-	1	-	63	36	-
Total forêts boréales	33	-	2	-	65	34	-
Total forêts	100	17	14	5	27	14	23

Cet organisme gère une base de données sur les aires protégées mondiales et a travaillé en collaboration avec la FAO pour actualiser cette information à l'intention de FRA 2000 au titre d'une lettre d'accord officielle.

Une ébauche de carte des aires protégées pour chaque pays a été distribuée à plus de 200 pays en 1997 et 1998. Les cartes décrivaient l'emplacement et les limites des aires protégées enregistrées auparavant. Elles étaient accompagnées d'un formulaire d'enquête pour faciliter la collecte des informations. Environ 25 pour cent des pays ont répondu au questionnaire et fourni de nouvelles données au PNUE-WCMC. Après vérification, le PNUE-WCMC a numérisé les données et les a saisies dans un Système d'information géographique. Quelques activités de suivi avec les pays – qui n'ont donné que de rares informations supplémentaires – ont été entreprises jusqu'à la fin du mois de mai 1999, lorsque le processus cartographique a pris fin officiellement (PNUE-WCMC 2000).

Les informations introduites dans la base de données ont été classées en fonction de deux catégories résultant de l'agrégation des six catégories de l'UICN (catégories Ia à II et III à VI) et numérisées sous forme de points ou de polygones. Les données descriptives comprenaient la définition de l'UICN et différentes métadonnées nécessaires pour comprendre l'origine et l'actualité de l'information.

La carte des aires protégées contient la dernière et la meilleure compilation globale de l'information spatiale des aires protégées du monde. La base de données compte plus de 43 000 polygones et 38 000 points représentant plus de 55 000 aires protégées nationales et internationales (tableau 47-5). Le PNUE-WCMC continuera à mettre à jour les informations dans le cadre de son programme.

La carte des aires protégées a été utilisée par FRA 2000 pour estimer l'état de la protection des forêts dans le monde.

CONCLUSIONS

La carte mondiale des forêts est un support visuel servant à indiquer l'emplacement et l'étendue des principales superficies forestières du monde (bien que les statistiques nationales de la FAO soient dérivées d'autres méthodes). En outre, la carte peut être superposée à d'autres, comme à la carte des aires protégées pour montrer les zones de forêts protégées, ou à la carte des zones écologiques mondiales pour indiquer la répartition des forêts par zone écologique. Cette carte, qui a été produite à l'aide de techniques de traitement d'image avancées et de l'imagerie satellitaire, est la première de ce genre utilisée pour une évaluation mondiale.

La carte de zones écologiques mondiales permet de regrouper des informations mondiales sur les forêts et les autres ressources naturelles suivant leurs caractéristiques écologiques. C'est le seul outil mondial de ce genre car elle a été élaborée et révisée par une équipe d'experts à travers un processus international. Elle a de plus été dressée à partir de données techniques provenant de tous les pays du monde, sous un format numérique, corrigée géométriquement et enregistrée sur une base géographique. Cette carte constitue un outil essentiel pour tous ceux qui entreprennent des études mondiales utilisant des paramètres écologiques. Cela est particulièrement important car l'utilisation du zonage écologique mondial devrait s'accroître à mesure qu'augmente le besoin d'informations relatives aux changements climatiques (Protocole de Kyoto), à la désertification et à la conservation de la diversité biologique. Elle pourra aussi servir aussi aux futures évaluations mondiales périodiques de la FAO.

La carte des aires protégées montre l'emplacement et la répartition des aires protégées dans le monde conformément aux données du PNUE-WCMC. Combinée aux données

Tableau 47-5. Données internationales et nationales sur les aires protégées

Région	Polygones			Points		
	National	International	Total	National	International	Total
Afrique	1 926	293	2 219	2 088	74	2 162
Asie	3 907	288	4 195	2 384	107	2 491
Europe	2 1468	1 587	23 055	19 478	1 915	21 393
Amérique du Nord et centrale	10 119	352	10 471	4 722	92	4 814
Océanie	816	427	1 243	2 739	53	2 792
Amérique du Sud	2 436	158	2 594	1 413	48	1 461
Antarctique			0	28		28
Autre	25	12	37	3 156	517	3 673
Total	40 697	3 117	43 814	36 008	2 806	38 814

statistiques et spatiales sur les forêts, cette carte peut être utilisée pour estimer l'étendue des forêts actuellement sous protection. Le PNUE-WCMC envisage d'actualiser la carte régulièrement. Des exemples illustrés d'aires protégées sont accessibles sur le site Web de la FAO.

Grâce à FRA 2000, les efforts qui seront accomplis à l'avenir pour cartographier le couvert forestier mondial, les zones écologiques et les aires protégées ont désormais une base de référence solide pour continuer. Parce que l'information est numérisée et corrigée géométriquement suivant une base géographique, de nouvelles données peuvent être facilement incorporées à celles existantes. Les cartes du couvert forestier et des zones écologiques sont accessibles pour les utilisateurs du monde entier à titre gratuit sur Internet. La FAO espère que les nouvelles informations disponibles serviront à d'autres projets sur le changement mondial et à des travaux scientifiques.

BIBLIOGRAPHIE

- Bailey, R.G.** 1989. Explanatory supplement to ecoregions of the continents. *Environmental Conservation*, 16(4).
- Bailey, R.G.** 1995. *Description of ecoregions of United States*. USDA Forest Service Publication N° 1391, Washington, DC.
- Bailey, R.G.** 1996. *Ecosystem geography*. New York, Springer Verlag.
- Bailey, R.G.** 1998. *Ecoregion map of North America*. USDA Forest Service Publication N° 1548, Washington, DC.
- Bohn, U., Gollub, G. et Hettwer, C.** 2000. *General map of the natural vegetation of Europe*. Echelle 1:10 millions. Bonn, Allemagne, Federal Agency for Nature Conservation.
- Bolanos, R. et Watson, V.** 1991. *Mapa ecológico de Costa Rica*. Echelle 1:200 000. San Jose, Costa Rica, Tropical Science Center.
- Commission de Coopération Environnementale (CCE).** 1997. *Ecological regions of North America*. Montreal, Canada.
- De la Cruz, R.** 1976. *Mapa de zonas de vida de Guatemala*. Echelle 1:500 000. Instituto Nacional Forestal (INAFOR), Ministerio de Agricultura, Guatemala.
- Hartshorn, G.** 1984. *Ecological life zones of Belize*. Echelle 1:1 400 000. In *Belize country environmental profile: a field study*. San Jose, Costa Rica, Trejos Hnos. Suc.
- Holdridge, L.R.** 1947. Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science*, 105: 367-368.
- Holdridge, L.R.** 1962. *Mapa ecológico de Honduras*. Echelle 1:1 000 000. Organisation des Etats américains.
- Holdridge, L.R. et Tosi, J.A.** 1971. *Mapa ecológico de la República de Nicaragua*. Echelle 1:500 000.
- Isachenko, T.I., Karamysheva, Z.V., Ladygina, G.M. et Safronova, I.N.** 1990. *Map of vegetation of the USSR*. Echelle 1:4 millions. Moscou, Institute of Geography, RAS. (en russe)
- Köppen.** 1931. *Grundrisse der Klimakunde*. Berlin, Walter de Gruyter Co.
- LET.** 2000. *Ecofloristic zones and global ecological zoning of Africa, South America and tropical Asia*. Préparé pour la FAO-FRA 2000 par M.F. Bellan. Toulouse, France.
- PNUE-WCMC.** 2000. *Global FRA 2000 final report*. Royaume-Uni (inédit).
- Preto, G.** 1998. *A proposal for the preparation of the global eco-floristic map for FRA 2000*. Rome, FAO (inédit).
- Simons, H.** 2001. *Global ecological zones mapping*. Document de travail de FRA N° 56. Rome, FAO.
- Thackway, R. et Cresswell, I.D. (éds).** 1995. *An interim biogeographic regionalisation for Australia: a framework for setting priorities in the National Reserves system cooperative program*. Version 4.0. Canberra, Australie, Australian Nature Conservation Agency.
- Thornthwaite, C.W.** 1933. The climates of Earth. *Geographic Review*, 23.
- Tosi, J.A.** 1970. *Mapa ecológico de Panamá*. Echelle 1:500 000. Proyecto de Inventario y Demostraciones Forestales. Panama/PNUD/FAO.
- Tosi, J.A. et Hartshorn, G.S.** 1978. *Mapa ecológico de El Salvador: sistema de zonas de vida del Dr. L. R. Holdridge*. Echelle 1:300 000. Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador/Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Subprograma de Suelos Análogos de Centro América.

- Trewartha, G. T.** 1968. *An introduction to weather and climate*. New York, McGraw-Hill.
- UNESCO/FAO.** 1970. *Vegetation map of the Mediterranean zone*. Notes explicatives. Arid Zone Research Series N° 30.
- WCMC.** 1992. *Global biodiversity: status of the earth's living resources*. Londres, Chapman & Hall. WWF. 2000. *Terrestrial ecoregions of the world*. Washington, DC.
- Zhu, Z.** 1992. *Geographic distribution of China's main forests*. Nanjing, Chine, Nanjing Forestry University.
- Zhu, Z.** 1997. *Develop a new global ecological zone map for GFRA 2000*. Rome, FAO.
- Zhu, Z. et Waller, E.** 2001. *Global forest cover mapping for the United Nations Food and Agriculture Organization Forest Resources Assessment 2000 Program*. Rapport de projet pour FAO. Sioux Falls, South Dakota, Etats-Unis, EROS Data Center.
- Zhu, Z., Waller, D., Davis, R. et Lorenzini, M.** 1999. *Global forest cover map*. Rapport de projet intérimaire. Document de travail de FRAN° 19. Rome, FAO