

CARTE GLOBALE INTEGREE DE L'OFFRE ET DE LA DEMANDE DE BOIS DE FEU

WISDOM



Université nationale autonome du Mexique (UNAM)
Programme de partenariat FAO-CE
Programme sur la dendroénergie - Département des forêts de la FAO

CARTOGRAPHIE GLOBALE INTEGREE DE L'OFFRE ET DE LA DEMANDE EN COMBUSTIBLES LIGNEUX

WISDOM

Une approche méthodologique pour évaluer la durabilité des combustibles ligneux et contribuer à la planification de la dendroénergie

Omar R. Masera

Centre de recherche sur les écosystèmes
Université nationale autonome du Mexique (UNAM)

Rudi Drigo

Planification de la demande et développement des politiques
Programme de gestion durable des forêts dans les pays africains, de la Caraïbe et du Pacifique
Programme de partenariat FAO-CE

et

Miguel A. Trossero

Programme sur la dendroénergie
Département des forêts de la FAO

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'AGRICULTURE ET L'ALIMENTATION
Rome, 2006

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 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.

Tous droits réservés. Les informations contenues dans ce produit d'information peuvent être reproduites ou diffusées à des fins éducatives et non commerciales sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur à condition que la source des informations soit clairement indiquée. Ces informations ne peuvent toutefois pas être reproduites pour la revente ou d'autres fins commerciales sans l'autorisation écrite du détenteur des droits d'auteur. Les demandes d'autorisation devront être adressées au Chef de la Sous-division des politiques et de l'appui en matière de publications électroniques

Division de la communication

FAO

Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italie
ou, par courrier électronique, à copyright@fao.org

© FAO 2007

AVANT-PROPOS

Une utilisation plus durable des combustibles ligneux n'a pas seulement un impact positif sur l'environnement mais peut aussi contribuer à la gestion durable des forêts et à générer des emplois et des revenus et donc à améliorer la sécurité alimentaire dans les pays en développement.

A cette fin, le Programme de dendroénergie de la FAO diffuse amplement des données et informations sur la dendroénergie par le biais de: (i) la promotion et la réalisation d'une terminologie unifiée de la dendroénergie dont l'objectif est d'améliorer la cohérence, la comparabilité et l'échange d'informations sur la dendroénergie; (ii) la révision et l'amélioration continue des Systèmes d'information interactifs sur la dendroénergie (i-WEIS); et (iii) l'élaboration et la diffusion d'outils contribuant à la planification et à la formulation de politiques sur la dendroénergie.

La majorité des outils de planification actuellement utilisés dans le secteur énergétique ont été conçus par des planificateurs de l'énergie pour analyser les différents aspects de ce secteur (dont la dendroénergie) et non pour traiter de l'offre et de la demande en bois de feu.

La quantité croissante d'informations existantes sur les ressources en bois et la consommation de combustibles ligneux facilite le développement d'outils analytiques contribuant à la planification et au développement de politiques en faveur de la dendroénergie.

Le défi auquel fait face la planification de la dendroénergie est d'importance. Il est dû, *en autres*, au caractère interdisciplinaire et intersectoriel complexe de la dendroénergie, qui englobe les domaines de l'énergie, la foresterie, l'agriculture et le développement rural. Les modes de production et la demande en bois de feu, et les impacts sociaux, économiques et environnementaux corrélatifs, sont géographiquement marqués. Une vision globale et une meilleure compréhension des caractéristiques spatiales de l'offre et de la demande en combustibles ligneux sont nécessaires afin de bien évaluer les implications de la production et de l'utilisation actuelle de combustibles ligneux et le potentiel durable des ressources en combustibles ligneux, en particulier pour les pays en développement.

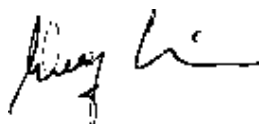
De vastes généralisations sur les réserves en combustibles ligneux et leurs impacts ont souvent abouti à des conclusions trompeuses et n'arrivent pas à attirer la reconnaissance et les ressources requises.

La FAO a assisté les pays membres durant plus d'une décade à réaliser des études détaillées sur les flux de combustibles ligneux avec l'objectif d'analyser les systèmes dendroénergétiques existants et de contribuer à une planification opérationnelle. Toutefois, ces études sont chères et demandent du temps. De nouvelles méthodologies qui utilisent l'information déjà disponible et les techniques actuelles comme le SIG, permettent de visualiser les modèles de production et de consommation de combustibles ligneux au niveau géographique.

La méthodologie de la **Cartographie globale intégrée de l'offre et de la demande en combustibles ligneux (WISDOM)**, développée en intégrant toutes ses observations, et dans le cadre de l'assistance de la FAO aux pays, est le fruit de la collaboration entre le Programme sur la dendroénergie de la FAO et l'Institut d'écologie de l'Université nationale du Mexique (UNAM).

La méthode WISDOM permet d'avoir une représentation géographique des zones prioritaires en combustibles ligneux ou « points chauds en combustibles ligneux » d'un pays (ou d'un groupe de pays) par le biais d'une analyse intégrée des informations et des indicateurs sur la demande/l'offre existantes en combustibles ligneux.

L'objectif de ce document est de décrire les principaux aspects méthodologiques du WISDOM et d'analyser les caractéristiques de la consommation du bois de feu au Mexique afin d'identifier les zones prioritaires où agir (points chauds pour le bois de feu).



Wulf Killmann

Directeur

Division des produits forestiers et de l'économie forestières

Département des forêts

FAO

PREFACE

Les modèles de production et de demande en combustibles ligneux, et leurs impacts sociaux, économiques et environnementaux corrélatifs sont liés à des **sites bien particuliers**. De vastes généralisations sur les réserves en combustibles ligneux et leurs impacts régionaux, ou souvent au sein du même pays, ont porté à des conclusions erronées, à de mauvaises planifications et mises en œuvres inefficaces de projets.

Cette étude défend l'idée qu'une bonne évaluation des implications des modèles actuels de production et d'utilisation des ressources potentielles en combustibles ligneux sur un mode durable, nécessite de disposer d'une vision globale et d'une meilleure connaissance des caractéristiques spatiales de l'offre et de la demande en combustibles ligneux, spécialement dans les pays en développement. Il est nécessaire de réaliser des analyses spatiales de l'offre et de la demande en combustibles ligneux à plusieurs échelles qui permettent d'articuler l'hétérogénéité locale au niveau régional et national. Les études qui couvrent l'ensemble des pays et qui intègrent de manière cohérente les données aux échelles les plus réduites manquent cruellement. Ces études devraient partir d'une représentation spatiale des modèles d'utilisation et de production de combustibles ligneux afin d'identifier les zones prioritaires et les « points chauds » où une intervention est nécessaire.

Ce document présente la méthodologie de la cartographie globale intégrée de l'offre et de la demande en combustibles ligneux (WISDOM), une méthode spatiale pour mettre en évidence et déterminer les **zones prioritaires en combustibles ligneux** ou « points chauds en combustibles ligneux ». Le WISDOM a pour objectif de contribuer à la planification stratégique et à la formulation de politiques par l'intégration et l'analyse des informations et des indicateurs relatifs à la demande et à l'offre existantes en bois de feu. Au lieu de fournir des données absolues et quantitatives, le WISDOM a pour but de fournir des valeurs relatives/qualitatives telles que la zonification des risques ou le classement des zones à risque, soulignant de manière la plus détaillée possible au niveau spatial, la zone nécessitant une attention urgente et, si nécessaire, d'autres récoltes de données. En d'autres termes, le WISDOM doit servir d'outil d'ÉVALUATION et de PLANNIFICATION STRATÉGIQUE pour identifier les zones prioritaires où agir.

La méthodologie WISDOM fonctionne à partir de: a) l'utilisation de bases de données socio-démographiques et sur les ressources naturelles géoréférencées intégrées dans un système d'information géographique; b) une unité spatiale minimale d'analyse pour chaque région d'un pays; c) un cadre modulaire, ouvert et adaptable qui intègre les informations intéressantes sur la dendroénergie provenant de sources multiples; et d) une couverture détaillée des ressources en combustibles ligneux et de la demande provenant de différents utilisateurs d'énergie.

La méthodologie WISDOM offre plusieurs avantages: a) elle permet d'avoir une vision cohérente et **holistique** du secteur de la dendroénergie sur un pays entier ou une région et contribue à déterminer les **zones prioritaires** pour intervenir; b) elle permet de **définir les manques cruels de données** suite au passage en revue et à l'harmonisation des données sur la dendroénergie; c) elle promeut la **coopération et les synergies** entre les parties prenantes et les institutions (de la foresterie, l'agriculture, l'énergie au développement rural). En cela, la méthode WISDOM pourra lutter contre la fragmentation (de l'information, des responsabilités) qui limite tant le développement du secteur; et d) elle permet de concentrer les actions à des cibles circonscrites et **optimise donc l'utilisation des ressources existantes** (humaines, institutionnelles, financières et autres).

Dans ce rapport, l'approche WISDOM est illustrée par une étude de cas sur l'identification des municipalités mexicaines « points chauds » pour le bois de feu consommé par les ménages. L'étude de cas intègre les données spatiales tirées d'études locales détaillées sur la consommation du bois de feu et ses impacts, de séries historiques sociodémographiques du Bureau de recensement national et de statistiques sur l'utilisation des terres et la couverture végétale obtenues lors du dernier Inventaire forestier national mexicain. L'analyse contribue à identifier les 273 municipalités (en dehors de l'ensemble des 2 435 unités du pays) où une action est la plus urgente.

TABLE DES MATIÈRES

<i>Avant-propos</i>	i
<i>Préface</i>	iii
<i>Table des matières</i>	v
<i>Remerciements</i>	vi
EVALUER L'UTILISATION DURABLE DES COMBUSTIBLES LIGNEUX: LA NÉCESSITÉ D'UTILISER DES APPROCHES SPATIALES FORMELLES	1
L'approche WISDOM	3
Question méthodologique et structure	5
1. SELECTION de la base spatiale (unité administrative d'analyse minimale)	6
2. Module de DEMANDE	9
3. Module d'OFFRE.....	12
4. Module d'INTÉGRATION: Combiner l'offre et la demande en combustibles ligneux	14
5. Identification des « points chauds en combustibles ligneux »	14
Aspects pratiques pour réaliser une analyse WISDOM	16
Etude de cas: identifier les points chauds de consommation du bois de feu au Mexique	19
Etape 1: Déterminer l'Unité spatiale administrative minimale d'analyse: le « municipio » ...	21
Etape 2: Développement du module de demande.....	22
Etape 3: Elaboration du module d'offre	23
Etape 4: Module d'intégration.....	25
Etape 5: Identification des points chauds du Mexique pour le bois de feu au niveau des municipio	26
Remarques de conclusion pour l'Etude de cas sur le Mexique	32
Conclusions	34
Références bibliographiques	35
Annexe 1. Base de données cartographiques pour l'Afrique	38

REMERCIEMENTS

Ce document a été rédigé en étroite collaboration avec le Centre de recherche sur les écosystèmes (CIECO) de l'Université nationale autonome du Mexique (UNAM) et du Programme sur la dendroénergie de la Division des produits forestiers de la FAO.

Il a été ébauché par Omar R. Masera, Professeur d'Énergie et d'environnement au Centre de recherche sur les écosystèmes de l'UNAM, Rudi Drigo, Consultant de la Composante de dendroénergie du « Programme de gestion durable des forêts dans les pays d'Afrique ACP », du Projet de Partenariat FAO-CE, et par Miguel A. Trossero, forestier senior de la Division des produits forestiers, du Département des forêts de la FAO.

De nombreuses autres personnes ont fourni leur contribution, une assistance et leurs apports personnels pour la finalisation de ce document, en particulier Adrián Ghilardi et Gabriela Guerrero (UNAM) pour leur aide dans le rassemblement et l'analyse des données sur le Mexique et Massimiliano Lorenzini pour ses conseils dans le domaine du SIG.

Nous remercions aussi sincèrement la Commission européenne pour ses contributions financières à la composante dendroénergie du projet sur l'information et l'analyse pour la gestion durable des forêts, un effort national et international intégratif impliquant les pays tropicaux de l'Amérique latine (GCP/RLA/133/EC) et les pays de l'Afrique subsaharienne (GCP/RAF/354/EC).

EVALUER L'UTILISATION DURABLE DES COMBUSTIBLES LIGNEUX: LA NÉCESSITÉ D'UTILISER DES APPROCHES SPATIALES FORMELLES

Les modèles de production et consommation de combustibles ligneux, et leurs impacts sociaux, économiques et environnementaux corrélatifs sont assez complexes et fortement liés à des sites géographiques spécifiques (Mahapatra et Mitchell, 1999; RWEDP, 1997 et 2000). Généraliser sur les réserves en combustibles ligneux au niveau régional, national et même sous-national sans compréhension claire des systèmes dendroénergétiques d'une zone conduit encore communément à des hypothèses biaisées et donc à une mauvaise planification et à des actions inefficaces (RWEDP, 2000). Par exemple, s'agissant des impacts environnementaux, même dans les régions ayant un solde négatif de la demande/l'offre globales, pas toutes les zones de cette région souffrent du manque de combustibles ligneux et, de même, les régions avec un équilibre global positif peuvent avoir des zones déficitaires avec de sérieux impacts sur les ressources naturelles (FAO, 1981; RWEDP, 1997 et 2000). En fait, le besoin d'informations sur les combustibles ligneux souvent très générales et pas assez détaillées au niveau spatial, a conduit à une mauvaise interprétation des effets de l'utilisation des combustibles ligneux sur l'environnement et leur durabilité: allant de la désignation des combustibles ligneux comme principales causes directes de la déforestation et de la dégradation de la forêt (comme dans l'approche « crise des combustibles ligneux »¹) (Geist et Lambin, 2002; Detrinidad, 1993; Goldemberg, 1985), à la négation de toute influence significative des combustibles ligneux sur ces processus (ESMAP, 2001). Les études locales détaillées sont donc nécessaires avant d'établir ce genre de conclusions (WRM, 2001; Kaale, 1990; Clarke et Shrestha, 1989).

D'autres part, des études locales approfondies sont parfois réalisées telles que **l'analyse des flux en combustibles ligneux selon les zones géographiques**², mais ces approches sont chères et demandent beaucoup de temps et restent souvent confinées ou sont sporadiques, n'arrivant pas à produire une perspective globale nationale nécessaire pour concevoir des politiques nationales efficaces. Ce problème explique en partie pourquoi les questions liées à la dendroénergie et leurs aspects corrélatifs ne sont pas au centre des préoccupations dans les politiques et les programmes des secteurs énergétiques, de la foresterie et du développement rural (voir Encadré 1: Le syndrome de Cendrillon).

On défend ici l'idée qu'une évaluation correcte des implications des modèles actuels d'utilisation des combustibles ligneux et ressources potentielles en combustibles ligneux sur un mode durable nécessite une connaissance plus approfondie des modèles spatiaux de l'offre et de la demande en combustibles ligneux, en particulier pour les pays en développement. Il faut réaliser des analyses spatiales explicites de l'offre et la demande³ en combustibles ligneux sur plusieurs échelles qui permettent d'articuler l'hétérogénéité locale entre les niveaux régionaux et nationaux (RWEDP, 1997). Les études couvrant le pays entier et qui intègrent de manière satisfaisante les données recueillies à petites échelles et donc assez détaillées spatialement pour orienter les décisions et les actions sur les zones prioritaires ou « points chauds », manquent cruellement.

Une représentation spatiale détaillée des modèles et de l'évolution future de l'utilisation des combustibles ligneux est aussi nécessaire pour bien estimer l'offre durable⁴ en ressources de combustibles ligneux (FAO, 1981). Dans ce sens, il faut comprendre que mesurer avec exactitude

¹ Pour se documenter sur l'approche « crise des combustibles ligneux » et ses prémisses voir ESMAP (2001) et Masera (1995).

² L'analyse des flux de combustibles ligneux par zones spatiales est une méthodologie pour étudier les dynamiques locales dendroénergétiques. Elle a été utilisée dans plusieurs pays (voir Masera *et al.*, 1997 pour le cas du Mexique) et les résultats obtenus au niveau local ont été étendus au niveau national pour orienter les politiques énergétiques. Cependant, si cette approche permet de recueillir des informations pour étudier les différentes situations de la dendroénergie dans un pays donné, spécialement au niveau local, elle est chère et demande du temps.

³ Dans ce document, les termes « offre » et « production » en combustibles ligneux sont employés sans distinction; les termes « demande » et « consommation » en combustibles ligneux sont aussi employés sans différenciation lorsqu'ils sont utilisés dans un contexte technique et non avec une connotation économique.

⁴ Par exemple, la majorité des études actuelles sur le potentiel énergétique global de la biomasse se base encore sur des calculs approximatifs pour des régions entières ou utilise des références spatiales très peu précises (Hoogwijk *et al.*, 2002). Des estimations plus précises sur les potentiels énergétiques de la biomasse doivent être calculés à partir d'informations plus détaillées sur les modes de consommation et l'offre en combustibles ligneux au niveau local.

les déficits en combustibles ligneux (comme les études réalisées utilisant le modèle traditionnel de déficit en bois de feu) (De Montalambert et Clément, 1983; Newcombe, 1984) pose un défi méthodologique et financier important, en particulier si on considère le peu de ressources normalement allouées à ce secteur spécifique (ESMAP, 2001). Les approches plus réalisables s'orientent vers l'identification des zones nationales problématiques ou potentielles en se basant sur l'identification des modèles et tendances relatifs aux combustibles ligneux. Dans une seconde étape, des analyses plus poussées peuvent être réalisées, permettant d'utiliser plus efficacement le peu de ressources existantes et de produire de meilleurs résultats.

Actuellement, toutefois, peu a été réalisé dans ce domaine. Des études plus détaillées sur les modes d'utilisations des combustibles ligneux et de l'offre dans ce domaine ont été réalisées localement et présentent de sérieux problèmes d'intégration de l'information au niveau national (Masera *et al.*, 1998). Dans la majorité des cas, les données nationales ne sont pas assez détaillées spatialement pour expliquer les variations locales alors que les études locales, même si elles sont parfois de très grande qualité, sont trop fragmentées et discontinues pour fournir un cadre général. On connaît encore peu, par exemple, les quantités, superficies, sites géographiques et dynamiques de la quantité de bois existante: des stratégies concernant les plantations aux méthodes traditionnelles de récolte du bois (Kartha et Leach, 2001). En plus des inventaires forestiers conventionnels, il faut réaliser des analyses des ressources ligneuses pour intégrer les différents paysages: agriculture, pâturages, forêts et jardins potagers (RWEDP, 2000). De même qu'il faut analyser la demande en combustible ligneux et intégrer l'ensemble des divers consommateurs urbains et ruraux de combustibles ligneux (bois de feu, charbon de bois, et autres) ainsi que la consommation des ménages et les utilisations à des fins productives (Kartha et Leach, 2001).

Encadré 1. Le syndrome de Cendrillon

Malgré son rôle indubitable, la dendroénergie souffre toujours d'un large manque de reconnaissance au niveau de la planification nationale. Ce manque de visibilité politique de la dendroénergie, sorte de Cendrillon parmi les autres combustibles et sources d'énergie, a limité les actions plus efficaces garantissant l'utilisation durable des combustibles ligneux. Plusieurs facteurs contribuent à ce problème:

Le caractère intersectoriel complexe de la dendroénergie qui touche à la fois l'énergie, la foresterie, l'agriculture et le développement rural, et se traduit par une fragmentation des compétences institutionnelles, faisant que personne n'est directement responsable des questions relatives à la dendroénergie.

Les données sur la demande et l'offre en combustibles ligneux sont très peu adaptées aux besoins et restent fractionnées entre les différentes agences ce qui empêche de disposer de visions holistiques et d'une claire définition des priorités. Le fait que les sources sur l'approvisionnement en combustibles ligneux soient globalement incomplètes, par exemple, biaise les perceptions sur:

- Le rôle des forêts dans l'approvisionnement en combustibles ligneux comparé au secteur agricole et, à son tour;
- le rôle de la demande en énergie parmi les éléments moteurs de déforestation et les processus de dégradation.

Les Départements des forêts de la majorité des pays en développement reconnaissent que les combustibles ligneux sont importants, souvent même le plus important des produits tirés de la forêt; néanmoins, aux niveaux politiques les plus élevés, la dendroénergie n'est généralement pas listée parmi les priorités concernant les forêts.

Pour accroître la reconnaissance de l'ensemble des questions touchant la dendroénergie, et pour que les décideurs politiques soient plus aptes à en saisir les enjeux, il est nécessaire de disposer d'outils de planification qui contribuent à l'harmonisation et à l'intégration des données sur la consommation et la demande en combustibles ligneux. Ces éléments doivent offrir des perceptions claires et holistiques des modes d'utilisation des combustibles ligneux et de l'évolution de la consommation y compris de ses impacts et orienter les décideurs politiques et les gouvernements sur où et comment établir des priorités.

L'APPROCHE WISDOM

Ce document présente la méthodologie de la cartographie globale intégrée de l'offre et de la demande en combustibles ligneux, un outil de planification spatiale pour souligner et déterminer les **zones prioritaires en combustibles ligneux** ou « points chauds en combustibles ligneux ». On reconnaît que les combustibles ligneux sont liés à une série de déterminants socioéconomiques et environnementaux qui interagissent les uns sur les autres et par conséquent, les points chauds en combustibles ligneux peuvent être définis en termes de spécificité au niveau du type de consommation, de production, et de leurs impacts environnementaux potentiels.

Les points chauds en combustibles ligneux peuvent donc être listés selon un nombre de critères fixés par les utilisateurs. Par exemple, si l'on identifie des zones ayant potentiellement de forts impacts sociaux, la zonification peut être réalisée selon le nombre et la densité des utilisateurs de combustibles ligneux et la rareté des ressources en combustibles ligneux. Les études qui analysent la dégradation potentielle causée par la collecte des combustibles ligneux devront essayer d'identifier les régions où la consommation de combustibles ligneux est élevée, élastique, et en augmentation, où l'offre en combustibles ligneux est critique, en raison de la perte ou de la dégradation de la végétation naturelle et où l'équilibre demande-offre indique un déficit ou encore la situation est telle que ce scénario pourrait advenir dans un futur proche.

La méthode WISDOM ne remplacera pas l'analyse détaillée de l'équilibre entre la demande/l'offre en biomasse nationale pour une planification opérationnelle, mais contribue plutôt à planifier à un niveau global comme la planification stratégique et la formulation de politiques à travers l'intégration et l'analyse de la demande et de l'offre existante liée à l'exploitation d'informations et d'indicateurs. Plutôt que de fournir des données absolues et quantitatives, la méthode WISDOM a pour but d'offrir des valeurs relatives/qualitatives permettant par exemple la zonification des risques ou la classification critique, afin de faire apparaître, au niveau spatial le plus détaillé, les zones nécessitant l'attention la plus urgente, et si nécessaire, d'autres collectes de données. En d'autres mots, le WISDOM doit servir d'outil d'EVALUATION et de PLANIFICATION STRATEGIQUE pour identifier les zones prioritaires où agir.⁵

La méthode WISDOM est élaborée à partir de:

- **Bases de données géoréférencées.** Une des principales caractéristiques de l'approche est la base spatiale sur laquelle les données sont articulées. L'analyse et la présentation des résultats de tous les modules sont faites avec l'aide d'un Système d'information géographique (SIG).
- **L'unité spatiale d'analyse minimale au niveau sous-national.** La résolution spatiale est définie au début de l'étude, à partir du niveau de détail souhaité (étude nationale, étude régionale) et est contrainte par les principaux paramètres ou variables de remplacement qui seront utilisés pour « spatialiser » l'information. Dans la majorité des cas, les données démographiques disponibles telles que les unités des recensements, et les données sur l'utilisation des terres/de couverture végétale représentent la principale référence de définition de la base spatiale, qui sont sous-nationales et de préférence plus détaillées que le niveau national dans tous les cas.
- **Structure modulaire et ouverte.** Le WISDOM fonctionne à partir de trois modules de base: un module de demande, un module d'offre et un module d'intégration. Les deux premiers modules requièrent différentes compétences et sources de données. Même si la base spatiale commune de report des données est définie, chaque module est développé en totale autonomie utilisant l'information existante et des outils analytiques et est orienté vers la collecte, l'harmonisation, l'inter-référenciation et le géo-référenciation de toutes les informations disponibles et pertinentes pour le type d'étude.
- **Cadre adaptable.** Comme cela a été mentionné auparavant, l'information intéressante sur la dendroénergie provient de diverses sources, allant des données de recensement aux études pilotes ou d'enquêtes locales aux estimations projetées dont les sources restent inconnues et qui sont souvent incomplètes et mal documentées. Les variables de remplacement peuvent être utilisées pour « spatialiser » les valeurs discontinues. En

⁵ Actuellement, la méthodologie WISDOM se concentre sur les combustibles ligneux. Cependant, des modifications peuvent être apportées pour intégrer tous les types de biocarburants (résidus agricoles, fumier, déchets et restes des activités forestières et agricoles, déchets urbains solides, etc.) dans l'approche.

résumé, la méthode WISDOM essaye de faire que toutes les connaissances existantes soient utilisées pour une meilleure compréhension des types de consommation et d'offre de combustibles ligneux.

- **Couverture globale des ressources en combustibles ligneux et de la demande par les différents utilisateurs.** Le cadre analytique prend en compte tous les types de sources de combustibles ligneux (par exemple le bois de feu et le charbon de bois) provenant des forêts (commerciales et non-commerciales), des arbres hors forêt, des arbustes et des terres boisées. Les différents utilisateurs de combustibles ligneux sont aussi étudiés: ménages ruraux et urbains, petites industries, etc.

La méthodologie WISDOM a entre autres pour avantage de:

- fournir une **vision cohérente et globale** du secteur de la dendroénergie sur un pays entier ou une région et contribuer à déterminer les **zones prioritaires** où intervenir;
- constituer un cadre ouvert et un **outil flexible** fait pour s'adapter aux informations existantes sur la demande en combustibles ligneux et aux différents types d'offre;
- permettre de **définir les manques les plus graves d'information** grâce à une révision complète et une harmonisation des données relatives à la dendroénergie;
- promouvoir la **coopération et les synergies** entre les parties prenantes et les institutions (Forêts, Agriculture, Energie, Développement rural, etc.). En cela, le WISDOM pourra combattre la fragmentation (de l'information, des responsabilités) qui limite tant le développement du secteur;
- permettre la concentration des actions vers des cibles précises et donc **d'optimiser l'utilisation des ressources existantes** (humaines, institutionnelles, financières, etc.)⁶;
- accroître la **reconnaissance politique** face aux décideurs du rôle et des priorités intersectorielles réels de la dendroénergie.

Dans les chapitres suivants, l'approche WISDOM est décrite en détail et illustrée avec des exemples provenant d'une étude de cas sur le Mexique.

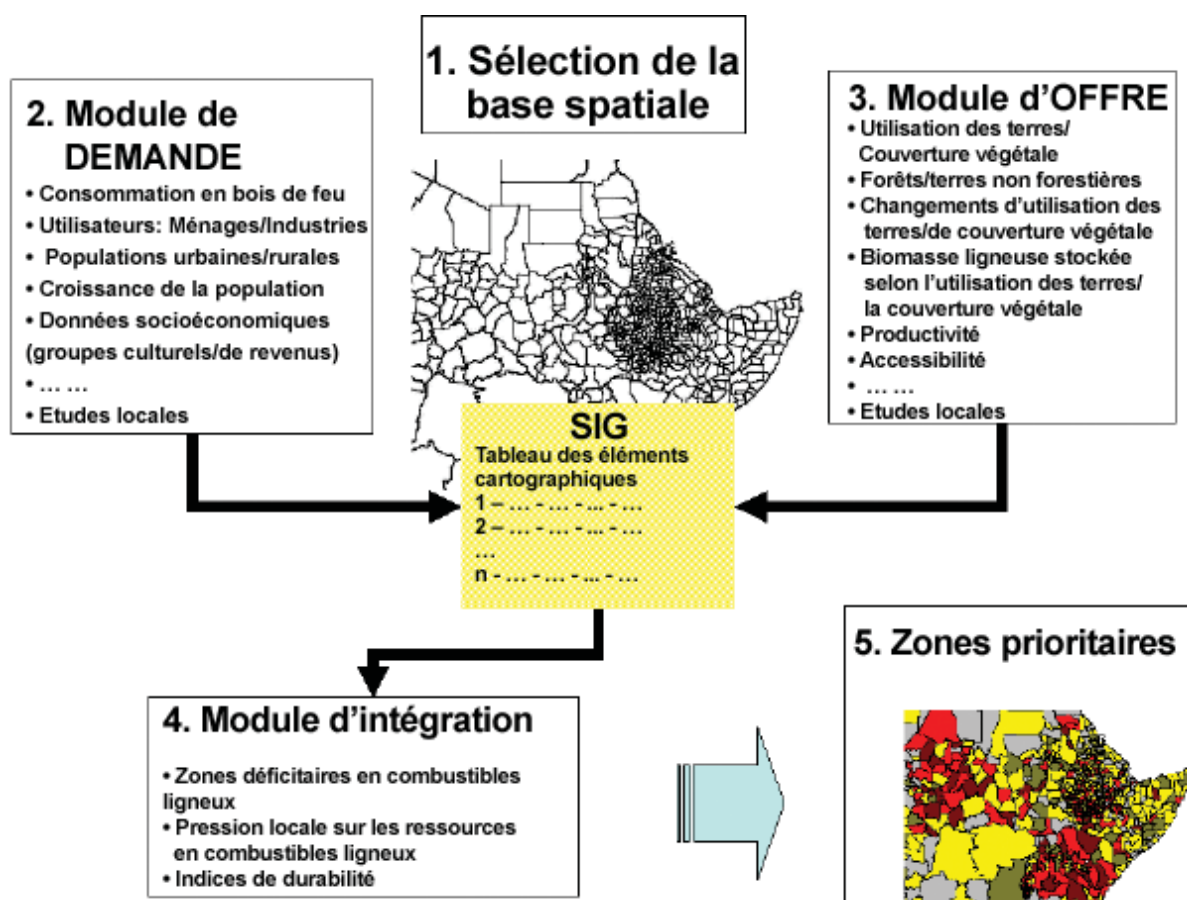
⁶ Une de ces actions sera probablement la récolte des données locales mises à jour pour confirmer les résultats des analyses nationales ou régionales (qui se basent toujours sur des informations moins détaillées et de basse résolution), et la création d'une base de données pour la planification opérationnelle.

QUESTION METHODOLOGIQUE ET STRUCTURE

La méthodologie WISDOM doit être utilisée en suivant cinq étapes principales (Voir Figure 1):

1. Définir l'unité spatiale administrative d'analyse minimale.
2. Développer le module de DEMANDE.
3. Développer le module d'OFFRE.
4. Développer le module D'INTEGRATION.
5. Sélectionner les zones prioritaires ou « points chauds en combustibles ligneux ».

Figure 1. Etapes du WISDOM



1. SELECTION DE LA BASE SPATIALE (UNITE ADMINISTRATIVE D'ANALYSE MINIMALE)

Pour les études nationales, l'analyse sera réalisée au niveau administratif le plus simple lorsque les paramètres démographiques, sociaux et économiques existent, par exemple la commune. Au niveau régional, lorsque plusieurs pays sont étudiés, les séries de données administratives régionales sont encore essentielles mais un niveau administratif plus simple peut être préféré. Le premier ou second niveau sous-national peut convenir, selon la taille du pays concerné, qui peut correspondre au niveau de l'état, du district ou de la province (Tableau 1). La Figure 2 présente des exemples de cartes où apparaissent les unités administratives les plus simples qui peuvent être retenues par l'approche WISDOM, au moins au niveau régional et national.

Tableau 1. Informations nécessaires à différentes échelles d'analyse

Echelle	WISDOM régional	WISDOM national
Monde	X	
Région	X	
Sous-région	X	
Pays	X	X
1 ^{er} niveau des unités sous-nationales (Etat, unité fédérale, ...)	X	X
2 ^d niveau des unités sous-nationales (district, province, ...)	(X)	X
3 ^{ème} niveau des unités sous-nationales (canton, municipalité, ...)		(X)
4 ^{ème} niveau des unités sous-nationales (village, ...)		(X)

Note: X: nécessaires (X): préférées. Pour avoir des informations sur les unités administratives (1er et 2d niveaux sous-nationaux) de tous les pays, veuillez visiter le site Web suivant:
<http://www.eki.ee/knab/adm2.htm>.

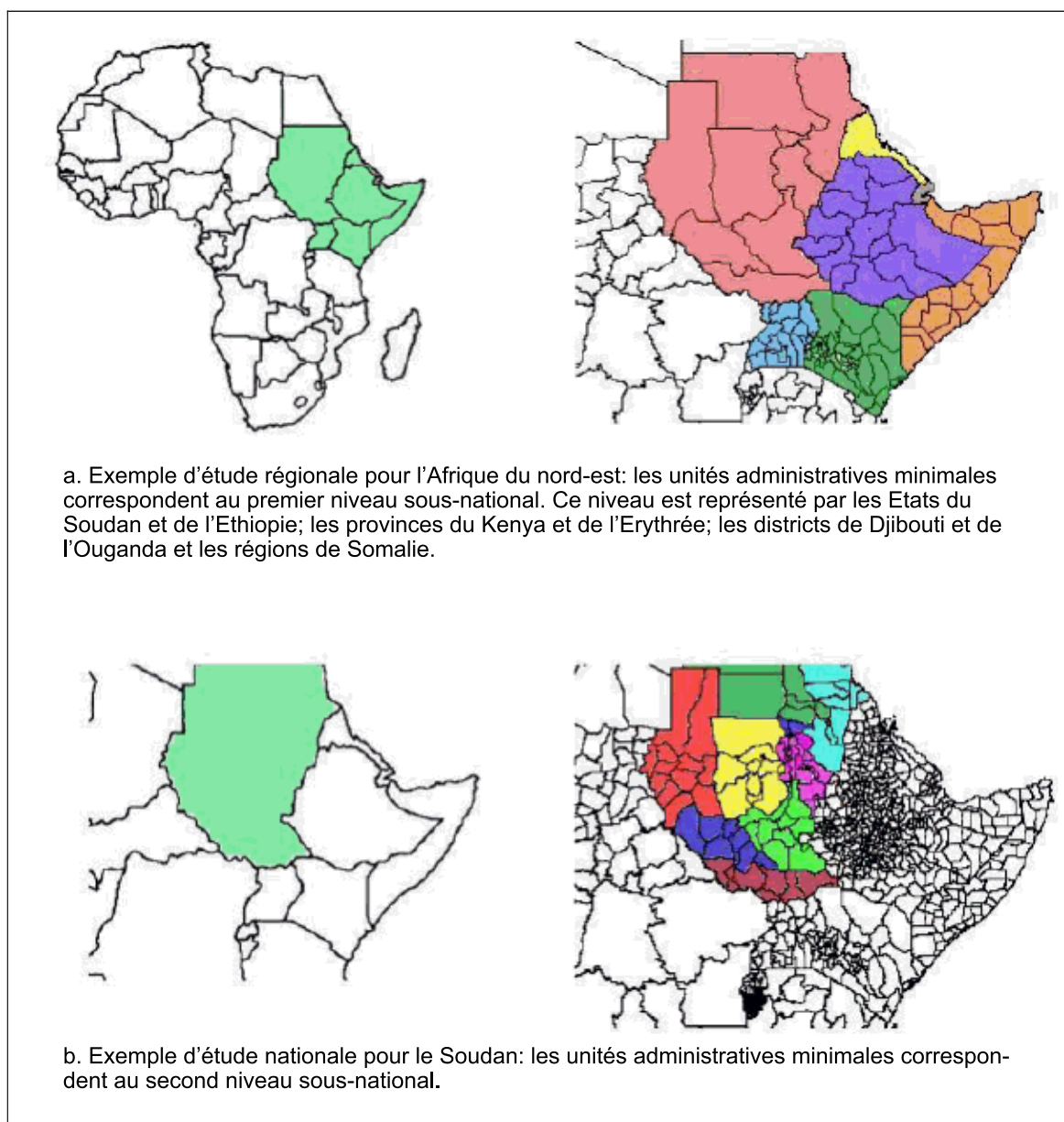
La carte administrative régionale de base déterminera la résolution spatiale des modules de demande et d'offre et, par conséquent, le niveau d'analyse de la méthode WISDOM et les zones prioritaires. De nombreux pays disposent de leurs unités administratives sous forme de séries de données digitales qui facilitent l'analyse. Les recensements et les autres informations socioéconomiques sont aussi de plus en plus disponibles sous forme digitale et de manière très détaillée. Au Mexique par exemple, les données socio-démographiques municipales sont disponibles sur internet.⁷

Ces dernières années, des progrès considérables ont été réalisés dans la réalisation de cartes de densité de la population régionale fournissant la distribution discontinue de la population provenant en premier lieu des données des recensements régionaux. La base de données globale sur la population produite par le Projet de télédétection terrestre sur la population mondiale du Laboratoire d'Oak Ridge, base de données de résolution 30" x 30" (seconde d'arc), est particulièrement intéressante. Si ce type de produit est utilisé comme base de développement du module de demande, l'unité spatiale de référence sera la cellule 30" x 30" ou ses agrégations. Cas par cas, l'approche WISDOM devra s'adapter selon les informations disponibles, les autres pouvant soit être directes (la consommation en combustibles ligneux et les tendances, la productivité durable de combustibles ligneux) soit indirectes (variables de remplacement liées à la demande et à l'offre en combustibles ligneux). Il est donc difficile d'identifier une série de données fixe.

⁷ Bureau national des statistiques du Mexique (INEGI), <http://www.inegi.gob.mx>, Base de données SIMBAD.

A cette étape, un outil de représentation spatiale et d'analyse doit être mis en place en tant que clé de mise en œuvre du WISDOM. En fait, la possibilité de comparer les informations statistiques et spatiales est un élément essentiel du processus global. La technologie du Système d'information géographique (SIG) développée durant ces dernières décennies offre des possibilités sans précédent pour combiner les informations statistiques et spatiales et pour visualiser les résultats des analyses spatiales afin que les responsables publics, les citoyens privés et la communauté scientifique puissent les comprendre facilement (Marble, 1998). Le fait que le SIG soit une technologie liée à l'environnement et au sol en fait, lorsqu'elle est utilisée avec d'autres bases de données et modèles, un outil très utile pour la formulation et la mise en œuvre de stratégies de développement (Yeh, 1997; Pakharel et Chandrashekar, 1997; Kersten *et al.*, 1997).

Figure 2. Exemples de cartes d'unités administratives minimales (exemples en Afrique du nord-est (régional) et au Soudan (national))



Le principal lien entre les données spatiales et statistiques est présenté dans le « tableau des éléments cartographiques » (Figure 1). Ce tableau, dont la base de données est structurée en lignes et colonnes, contient les attributs et éléments d'identification géographique de base de tous

les données individuelles de la carte digitale (codes d'identité et noms, zones, périmètres, coordonnées, etc.), et peut être étendu indéfiniment en ajoutant des éléments thématiques se référant à la même série d'éléments de la carte. Chaque ligne identifie un élément unique de la carte tel qu'une unité administrative ou une implantation humaine alors que les colonnes reportent les éléments géographiques et thématiques associés à tous les éléments. Le Tableau 2, illustration possible d'un tableau d'éléments cartographiques, présente tout d'abord quelques données (lignes) et domaines (colonnes) de la carte digitale des communes brésiliennes (4 579 unités).

Une des caractéristiques du WISDOM est l'enrichissement progressif du tableau des composantes cartographiques afin d'inclure toutes les informations disponibles directement ou indirectement liées à la demande et à l'offre en combustibles ligneux (étapes 2 et 3).

Tableau 2. Exemple de tableau d'éléments cartographiques

Eléments du SIG					Eléments thématiques (Modules de demande, d'offre et d'intégration)				
Num #	Zone	Périmètre	CODE ID	NOM admin.	Thème 1 Recensement 91	Thème 2 Recensement 80	Thème 4 Forêt2K	Thème 5 Def902K	Thème n.....
1	13635896.5	28173.8	1400407	NORMANDIE	11170	7713	0.86784	-0.07845	
2	46755967.6	68430.2	1400100	BOA VISTA	142813	51662	0.95823	-0.00840	
3	23863175.3	31792.4	1600501	OIAPOQUE	7543	5028	0.98250	-0.01750	
4	15030224.0	29873.7	1600204	CALCOENE	5185	2834	0.97482	-0.02518	
5	27039699.2	38606.4	1400050	ALTO ALEGRE	11195	3475	0.98127	-0.00879	
6	15170360.4	20716.7	1400159	BONFIM	9453	4524	0.94874	-0.01138	
7	24876483.3	30872.8	1400308	MUCAJAI	13148	3163	0.98695	-0.00985	
8	76832247.1	60527.8	1500503	ALMEIRIM	33270	33082	0.95450	-0.02209	
9	113375415.0	71985.0	1505304	ORIXIMINA	41089	29594	0.95539	-0.01800	
...									
n									

Modifié à partir du IBGE 1994.

2. MODULE DE DEMANDE

Le module de Demande a pour objectif de visualiser la distribution spatiale de la consommation en combustibles ligneux (si possible articulée par secteurs et principaux types d'utilisateurs) et ses dynamiques globales. Elle a aussi pour objectif d'identifier ces zones qui montrent différentes dynamiques de consommation (par exemple, les besoins croissants en combustibles ligneux). Plusieurs aspects spécifiquement liés aux besoins en combustibles ligneux doivent être pris en considération lors de la conception du module (Tableau 3).

Il faut insister sur le fait que la méthode *WISDOM* n'est pas un outil pour prédire l'évolution de la demande en combustibles ligneux⁸; au contraire, elle a pour objectif de présenter les caractéristiques de la demande en combustibles ligneux elle-même (ou du regroupement de leurs variables de remplacement) qui sont importantes pour ensuite identifier les zones prioritaires. Les principales sources d'information pour développer ce module ont été les statistiques démographiques et les autres paramètres socioéconomiques collectés et conservés par les services nationaux de statistiques et les études et enquêtes techniques possédant des informations sur la consommation unitaire par type d'utilisateur et de mécanisme.

Tableau 3. Caractéristiques générales de la demande en combustibles ligneux dans les pays en développement

Principaux secteurs d'utilisateurs: • ménages (ruraux et urbains); • petites industries (artisan potier, fabricant de briques, boulangers, etc.). Principaux usages: • cuisine, chauffage de l'eau, chauffage, processus de cuisson à usage industriel. Principaux types de combustibles ligneux: • le bois de feu et le charbon de bois; • les combustibles peuvent aussi provenir des scieries et des résidus forestiers. Principales caractéristiques des modes de consommation: • <u>Les utilisateurs ruraux</u> sont dispersés au niveau spatial; la consommation est normalement fortement élastique et liée à la croissance de la population. Les combustibles ligneux sont avant tout collectés et proviennent de diverses sources comprenant les branches et le bois mort. • Dans de nombreuses régions, <u>les utilisateurs urbains</u> dépendent du charbon de bois (par exemple en Afrique). Le combustible est surtout acheté et provient habituellement de régions à fortes exploitations intensives. • <u>Les utilisateurs industriels</u> sont très souvent concentrés dans des petites zones et peuvent exercer une pression sur les ressources existantes. Ces consommateurs peuvent avoir divers types d'activités allant du vendeur d'aliments de rue et d'autres types d'activités commerciales aux petites et grandes industries. • La consommation à l'unité dépend des conditions climatiques, des équipements existants et du manque de combustibles ligneux ainsi que de la disponibilité des substituts aux combustibles ligneux. Autre élément d'ordre général: • En général, une grande partie des combustibles ligneux provient des espèces d'arbres non commerciales, à la fois des forêts et des arbres hors forêts.

Note: Dans les pays en développement, les résidus agricoles et principalement les bouses de vache sont aussi communément utilisés comme combustible, en plus des combustibles ligneux normaux. Leur proportion par rapport à la consommation totale de biomasse tirée des combustibles varie fortement de pays à pays. En général, l'utilisation de résidus agricoles et de fumier est plus commune en Asie qu'en Afrique et en Amérique latine.

⁸ Plusieurs modèles ont été utilisés et testés à ce propos, à la fois au niveau national et international. Voir par exemple Broadhead *et al.* (2002) pour un modèle international, et Devadas (2001) et Díaz (2000) pour des modèles nationaux.

Plusieurs critères peuvent être choisis pour déterminer les zones prioritaires en termes de demande en combustibles ligneux. Par exemple, on peut s'intéresser aux domaines qui présentent:

- Une forte consommation en combustibles ligneux.
- Une forte densité d'utilisateurs de combustibles ligneux.
- Un fort taux de croissance de la consommation ou des utilisateurs de combustibles ligneux par foyer ou utilisateur industriel.
- Une forte résistance à évoluer vers d'autres combustibles.

Le degré de précision des critères choisis et la priorisation des zones correspondantes dépendront de l'objectif spécifique de l'étude. Par exemple, on peut chercher à identifier les zones disposant de plus grandes opportunités commerciales pour de nouvelles technologies, des zones où les impacts sur la santé sont plus importants, etc.

Diverses variables peuvent être utilisées pour les différents critères. Par exemple, la consommation de combustibles ligneux est une fonction de la population totale, le pourcentage d'utilisateurs de combustibles ligneux et la consommation par personne (ou unité); la résilience de l'utilisation de combustibles ligneux (définie ici comme l'habilité ou la volonté de passer à d'autres combustibles) est une fonction des revenus des ménages et des pratiques culturelles, ces dernières étant souvent liées aux groupes culturels. Estimer les taux de croissance des utilisateurs implique de disposer de séries historiques de variables pertinentes; par exemple, au moins deux recensements par pays ou études nationales. Le Tableau 4 présente les variables potentielles qui peuvent être utilisées dans l'analyse.

Lorsque cela est possible, il est important d'évaluer la demande selon les combustibles ligneux (bois de feu, charbon de bois, liqueur noire, huile pyrolytique, etc.), chacun ayant un impact différent sur les sources d'offre et la durabilité de l'offre qui peuvent exiger deux lignes séparées d'analyse. Par exemple, le bois de feu et le charbon de bois, les deux combustibles ligneux les plus communs, proviennent de sources parfois assez distinctes et ont des impacts très différents sur ces sources.

Comme cela est présenté dans le Tableau 4, les sources des données sont très différentes. Intégrer les données sur la consommation tirées d'études couvrant normalement seulement une partie du pays ou des régions, avec des variables sociodémographiques provenant de divers recensements reste un défi majeur pour le développement du module.

Tableau 4. Variables potentielles pour utiliser le Module de Demande

Variable/domaines	Répartition requise	Sources possibles et remarques
Consommation en combustibles ligneux		
Ménages Utilisation de combustibles ligneux par personne Nombre d'utilisateurs au temps t	Par type de combustible (bois de feu, charbon de bois, etc.). Selon la pop. urbaine/rurale. Par association de combustibles (seulement combustible ligneux, association bois de feu/consommateurs de LPG). la pop. urbaine/rurale par unité administrative la plus simple analysée.	Les estimations existent au niveau national, rarement au niveau sous-national; souvent basées sur les données des projets. Les estimations peuvent différer de source à source. Recensement national et/ou carte de densité des populations LandScan ⁹ de 1998/2000.
Utilisateurs industriels^a Utilisation de combustibles ligneux par unité de produit Nombre d'utilisateurs au temps t	Par type (et taille) d'industries. Par unité administrative minimale d'analyse.	Les estimations se basent habituellement sur les données des projets ou études. Recensement national/études pour les industries (rarement détaillées pour les industries faisant partie du secteur informel).
Densité d'utilisateurs		
Saturation (% d'utilisateurs)	Urbain/rural. Ménage/industriel. Seulement combustibles ligneux; multiples utilisateurs de combustibles.	Recensement national et/ou venant indirectement d'enquêtes locales.
Utilisateurs par km ²	Identique à la ligne de dessus.	Recensement national pourrait être évalué par le biais d'une analyse SIG.
Taux de croissance de la consommation/des utilisateurs		
Utilisateurs /Consommation Taux de croissance annuels moyens	Urbain/rural. Ménage/industriel. Utilisateurs exclusifs de combustibles ligneux; utilisateurs de combustibles multiples.	Projections de populations par les NU seulement disponibles au niveau national. Séries de temps régionaux des services statistiques nationaux. Les cartes de croissance de la population (après LandScan) devraient être réalisées prochainement.
Résistance à changer de combustibles		
Groupes culturels importants	Groupes ethniques.	Recensement national.
Niveaux de revenus	Niveaux de revenus entre population urbaine/rurale.	Etudes nationales des revenus-dépenses des ménages.

Notes: Déterminer la consommation actuelle et attendue de combustibles ligneux est une tâche complexe, et dépend souvent de variables sociodémographiques, techniques, environnementales, culturelles, et économiques (Masera, 1995). Le principal défi de ce module est de trouver si des variables directes ou de remplacement, disponibles au niveau national, peuvent servir pour estimer la consommation.

^a.: Les utilisateurs industriels comprennent les activités commerciales comme les vendeurs de rue d'aliments et autres.

⁹ Base de données sur la population mondiale produite par le Projet LandScan du Laboratoire Oak Ridge qui est une base de données sur la population mondiale de résolution 30" x 30" (seconde d'arc).

3. MODULE D'OFFRE

Le Tableau 5 présente brièvement les caractéristiques de l'offre en combustibles ligneux dans les pays en développement. Le module d'offre de la méthode WISDOM a pour but d'offrir une représentation spatiale des sources de combustibles ligneux naturelles et liées à l'homme, leurs capacités de stockage, les évolutions au cours du temps et leurs capacités de production. Les combustibles ligneux ne sont pas produits ou récoltés exclusivement à partir des forêts; ils sont aussi obtenus à partir de tous les **types de végétation/d'utilisation des terres**, ce qui entraîne la croissance de la biomasse ligneuse, par exemple les arbres en zones agricoles (RWEDP, 2000). A ce sujet, les zones agricoles et les terres boisées marginales peuvent constituer une garantie, comme les forêts, d'offre régulière de combustibles ligneux pour satisfaire la demande (RWEDP, 1996).¹⁰

Les combustibles ligneux peuvent aussi être récoltés directement (collecte du bois dans les forêts ou sur les arbres hors forêt) ou peuvent provenir d'autres activités (résidus des industries forestières ou « bois récupéré » après construction/démolition) (RWEDP, 2000).

Tableau 5. Caractéristiques générales de l'offre en combustibles ligneux dans les pays en développement

Principales sources de production de combustibles ligneux

- Sources très diverses comprenant toutes les utilisations des terres produisant du bois comme:
 - forêts
 - terres boisées
 - plantations (forêts et agriculture)
 - cultures itinérantes
 - agroforesterie et arbres hors forêts
 - zones d'agriculture
 - résidus forestiers provenant des industries forestières

Pratiques de collecte

- Sources aussi très diverses et comprenant entre autres:
 - Ramassage de bois mort
 - Branches élaguées/coupées
 - Coupes d'arbres selon une « exploitation sélective »
 - Coupe en taillis/recépage
 - Petite coupe (formations ligneuses naturelles)
 - Eclaircies et défrichement des plantations par rotation

Productivité de la biomasse ligneuse

- La productivité de la biomasse ligneuse est très variable – même au sein d'une même classe d'utilisation des terres, selon les paramètres écologiques, la classe de sites et les types de gestion.

L'analyse de l'offre en combustibles ligneux et l'identification des zones prioritaires peuvent aussi s'effectuer selon différents critères. Si l'analyse a pour but d'identifier les zones pouvant manquer de combustibles ligneux dans le présent ou le futur, il faudra alors s'intéresser aux zones qui montrent:

¹⁰ Une étude fouillée conduite par le Programme régional sur la dendroénergie (RWEDP) dans huit pays d'Asie montre que le pourcentage de combustibles ligneux provenant des arbres hors forêts va de 87% (pour le Bangladesh) à 34% (pour le Népal) (RWEDP, 1996).

- des taux de réduction rapide des forêts et des terres boisées dus aux changements d'utilisation des terres;
- des taux de dégradation et de fragmentation rapides dus à la forte pression;
- une faible productivité de biomasse;
- les questions d'accessibilité qui limitent la production (distance, pente, restrictions juridiques) ou qui, au contraire, peuvent favoriser la surexploitation.

A la différence des zones qui possèdent un plus fort potentiel de production de combustibles ligneux et qui sont constituées de forêts bien préservées et accessibles ou d'autres zones de forte productivité.

Le Tableau 6 liste et décrit brièvement les principales variables à utiliser pour développer le Module d'Offre.

Tableau 6. Variables qui peuvent être utilisées dans le Module d'Offre

Variable	Répartition requise	Sources possibles et remarques
Classe d'Utilisation des terres/couverture végétale	Toutes les classes d'Utilisation des terres/couverture végétale doivent être prises en compte, y compris les cultures.	Les cartes internationales sont trop imprécises. Les cartes à très bonne résolution à systèmes de classification détaillés doivent être préférées (par exemple les systèmes de classification des sols LCCS de la FAO) ¹¹ .
Changements d'utilisation des terres/couverture végétale	Les taux bruts de déforestation ne doivent pas être utilisés. Les transitions relatives aux couvertures végétales (par exemple les matrices de transition d'utilisation des terres) sont plus adaptées pour ce type d'analyse.	Les bonnes études sur les changements de couverture végétale sont rares. Les sources les plus prometteuses au niveau international sont l'enquête conduite par la FAO (ERF 1990-2000) ¹² et l'étude de haute résolution TREES II ¹³ du Centre de recherche européen.
Réserve de biomasse ligneuse par utilisation des terres/couverture végétale	La réserve de biomasse pour toutes les classes d'utilisation des terres/couverture végétale doit être prise en compte y compris les terres arables, les terres broussaillieuses, etc.	Les études sur la biomasse sont rares. Les estimations tirées des inventaires (volumes de biomasse) peuvent être utilisées pour évaluer les valeurs de biomasse pour les classes de référence d'utilisation des terres/couverture végétale et en déduire toutes les autres. Il est important d'inclure les estimations de la biomasse ligneuse totale du fait que les inventaires sont très souvent restreints à la biomasse commerciale provenant des forêts. Les estimations doivent aussi inclure la biomasse en bois mort.
Production de biomasse moyenne par classe d'utilisation des terres/couverture végétale	Indices de productivité à créer pour toutes les classes d'utilisation des terres/couverture végétale, à partir des références existantes.	Les estimations quantitatives précises sont difficiles à produire. Les données de rendement tirées des inventaires et zonifications écologiques pourront permettre de déduire un « indice de productivité ». Les sources possibles sont entre autres: ZAE, Indices de fertilité des sols, et autres. Il est essentiel d'inclure la productivité totale (plutôt que commerciale) de la biomasse ligneuse. Des estimations de la productivité du bois mort sont aussi importantes.
Accessibilité	Zones inaccessibles pour des raisons légales (les zones protégées par exemple) et physiques (pentes, distance).	Séries de données nationales ou internationales (cartes des zones protégées de l'UICN, modélisation de terrain, par exemple GTOPO 30, produits dérivés DCW, etc.).

¹¹ Système de classification de la couverture du sol de la FAO (LCCS) développé dans le cadre du Projet AFRICOVER.

¹² Etude pantropicale de télédétection réalisée dans le cadre de l'ERF 1990 et 2000, couvrant 10% des régions tropicales sur la période 1980-1990-2000.

¹³ Etude de haute résolution sur les forêts tropicales humides réalisées par le Projet JRC TREES II couvrant la période 1990-1997.

En terme général, on peut supposer que la capacité d'offre en combustibles ligneux (WSC) de tout site donné (l) et à tout moment (t), est une fonction de plusieurs facteurs:

$$\text{WSC}_{lt} = f [(\text{utilisation des terres/couverture végétale, productivité de la biomasse, accessibilité}) \text{ demande en combustibles ligneux, ...}]$$

La valeur WSC quantitative est extrêmement difficile à déterminer précisément du fait qu'elle dépend de la capacité (du potentiel) d'une zone à produire de la biomasse, qui peut varier de manière significative (ESMAP, 2001). De plus, la majorité des recherches dans ce domaine s'est concentrée sur la détermination des quantités de bois utiles produites par espèce d'arbre commerciale (par exemple l'augmentation annuelle de pieds), qui n'intéresse par l'offre rurale en combustibles ligneux (Kaale, 1990). D'autres part, estimer l'offre en combustibles ligneux des zones non forestières, est encore particulièrement compliqué du fait du degré élevé de variabilité de la couverture ligneuse et de la productivité de ces zones. Dans de nombreux cas, la capacité des systèmes d'exploitation agricoles de produire des combustibles ligneux dépend du niveau de la demande et de l'accessibilité aux sources alternatives qui devraient produire plus ou moins prioritairement par rapport aux autres produits (Mahapatra et Mitchell, 1999).

L'objectif du WISDOM n'est pas de quantifier avec précision le solde entre la demande et l'offre mais plutôt de contribuer à une évaluation globale de la situation actuelle (comme faire apparaître les tendances), et l'analyse du module de l'offre pourrait inclure des indices de productivité de biomasse indicatifs calculés à partir des caractéristiques du climat/sol, et avant tout exploiter les informations relatives à l'utilisation des terres/la couverture végétale et aux couches spatiales/statistiques qui peuvent en être déduites.

4. MODULE D'INTÉGRATION: COMBINER L'OFFRE ET LA DEMANDE EN COMBUSTIBLES LIGNEUX

Une fois développés les modules de demande et d'offre au sein du système SIG, l'étape suivante consiste à intégrer l'information afin d'identifier les « points chauds en combustibles ligneux » importants. A ce niveau, une série de variables liées à la fois à la consommation et à l'offre en combustibles ligneux devrait déjà exister pour chaque unité d'analyse administrative la plus petite.

Plusieurs variables (ou indicateurs) peuvent être déterminées pour combiner l'offre et la demande en combustibles ligneux afin de mieux comprendre leurs impacts potentiels. Chaque indicateur devra être sélectionné séparément selon le nombre de données disponibles et leur précision. Les types d'indicateurs possibles sont:

$$\text{Zones déficitaires en combustibles ligneux} = [\text{Offre WF} - \text{Demande WF}]$$

où, strictement parlant, les zones déficitaires sont celles qui ont des valeurs négatives, toutefois, en raison des difficultés à obtenir des informations précises sur à la fois l'offre et la demande, différents seuils peuvent être définis pour que ces zones « déficitaires » en combustibles ligneux soient des unités qui présentent une gamme de valeurs proche de zéro.

$$\text{Pression potentielle sur les forêts} = [\text{Demande WF} / \text{Superficie totale de forêt}]$$

Cet indicateur dont l'unité est en tonne/ha/an (ou m³/ha/an) donne donc une idée de la productivité moyenne de la forêt locale nécessaire pour supporter la demande courante en combustibles ligneux. Si la demande est supérieure au niveau de productivité normal de la forêt locale, une forte pression s'exerce sur les ressources forestières. L'analyse peut aussi être affinée pour intégrer les zones non forestières.

5. IDENTIFICATION DES « POINTS CHAUDS EN COMBUSTIBLES LIGNEUX »

L'étape finale est l'identification des zones où l'action est la plus urgente et nécessaire en termes de demande et d'offre ou des deux à la fois. Diverses analyses statistiques peuvent être utilisées pour le regroupement final des régions d'un pays en termes de priorité. Ces analyses comprennent: a) les techniques de regroupement de données; b) les analyses factorielles (par exemple les

principaux composants); c) les analyses en grappe; d) l'indexation, et autres. Les lecteurs peuvent se référer à la vaste littérature sur ce sujet pour une description complète des approches, et de leurs principaux avantages et désavantages comparatifs.¹⁴

Une procédure alternative est la définition d'un indice global (par exemple: l'indice en combustibles ligneux prioritaires) (Masera *et al.*, 2003) qui reflète les principaux aspects des zones analysées à la fois en termes d'offre et de demande en combustibles ligneux. Un effet positif de l'indexation est la réduction de l'imprécision résultant du manque de données. Ce genre d'indice pourrait tout d'abord être défini pour chacune des variables:

$$Wf_{ij} = X$$

où :

$$X = 1, 2... n$$

et Bf_{ij} est l'indice en combustibles ligneux par unité d'analyse « i » (par exemple un canton), selon un regroupement de variables « j » dans un nombre donné de catégories « n » (par exemple, en termes de trois niveaux de consommation: faibles, moyens, élevés). Les groupes (valeurs de l'indice) peuvent être obtenus en divisant la variable concernée en intervalles égaux ou « groupes naturels ». Les indices peuvent être discontinus ou continus.

Dans le but de souligner le caractère spatial des aspects spécifiques, les paramètres de demande/offre individuels indexés peuvent être croisés, par exemple, la consommation actuelle par rapport aux forêts accessibles et aux ressources forestières, les tendances de l'urbanisation par rapport aux taux de changement des ressources naturelles en bois, etc. Un indice global pour chaque unité spatiale reflétant la priorité de l'unité en termes de consommation, production et d'impacts sur les combustibles ligneux, peut donc être défini ainsi:

$$WF_j = S (Bf_{ij} * w_{ij})$$

où:

BF_j est l'indice en combustibles ligneux global par l'unité spatiale « j », et

w_{ij} la priorité donnée à chaque variable « i ».

Finalement, les unités spatiales peuvent être classées selon la valeur de l'indice global dans une série de catégories, de faible priorité à forte priorité, permettant de déterminer les « points chauds en combustibles ligneux ».

Conclusion de l'analyse

Après avoir réalisé les cinq étapes, l'approche WISDOM doit offrir:

- Une base de données géoréférencées, articulées au niveau de l'unité administrative minimale d'analyse disposant d'informations pertinentes pour comprendre l'évolution de la demande et de l'offre en combustibles ligneux.
- Une série de cartes couvrant les différents aspects de la demande et de l'offre en combustibles ligneux.
- Une zonification du pays/des régions selon la priorité en combustibles ligneux à utiliser et les impacts potentiels qui vont avec.

¹⁴ Par exemple, Hair, J.F. *et al.* (1992) décrit bien les analyses statistiques multivariées les plus utilisées. Les statistiques standard proposent normalement une section sur l'analyse multivariée. Le site Web: <http://trochim.human.cornell.edu/tutorial/flynn/multivar.htm> contient une présentation par étape sur la manière de conduire une analyse multivariée.

ASPECTS PRATIQUES POUR REALISER UNE ANALYSE WISDOM

Comme cela a été dit auparavant, l'approche WISDOM est conçue pour optimiser l'utilisation des ressources et de l'information existantes. Cette section présente les principaux aspects pratiques et questions relatives à l'élaboration de l'analyse WISDOM avec les bases de données cartographiques et socioéconomiques qui peuvent être utilisées à ce propos.

Définir les objectifs et les échelles

Pour réaliser une étude de cas WISDOM, il est nécessaire de clairement définir les objectifs de l'exercice et l'unité administrative minimale d'analyse, afin de déterminer le niveau de détail et quel effort il faudra fournir pour collecter les données nécessaires (RWEDP, 2000).

Pour décider quel type de données est nécessaire, le type d'offre en bois, d'utilisateurs et de secteurs à couvrir doit être spécifié. Par exemple, dans les zones rurales, des circuits commerciaux complètement différents existent par rapport à ceux des zones urbaines. Pour analyser les ménages et les usages industriels des combustibles ligneux, on peut utiliser des informations intégrées tirées de différentes sources et qui prennent en compte différentes variables. Les méthodes de collecte des combustibles ligneux ainsi que la productivité et les impacts environnementaux diffèrent grandement entre les zones agricoles et les zones forestières et entre les régions arides et humides.

Compléter le module de demande

La forte hétérogénéité des modèles de consommation en combustibles ligneux au niveau social et environnemental et la difficulté de réaliser des études de terrain consistantes et régulières couvrant tout le pays ou des zones très étendues font que les données sur l'utilisation et l'offre en dendroénergie manquent fréquemment ou sont fragmentées. Pour cela, compléter le module de demande WISDOM requiert de disposer de données intégrées récoltées lors d'enquêtes et d'études locales et de recensements nationaux ou régionaux et même de bases de données internationales (voir Annexe 1).

Comme l'approche WISDOM utilise des informations statistiques séparées pour chaque unité régionale au sein d'un pays, il est aussi nécessaire de disposer de séries de données complètes en plus de ces unités afin de « spatialiser » l'information sur les cartes. Les manques de données peuvent être comblés de trois manières: 1) en utilisant des variables proches pour « spatialiser » les valeurs discontinues (par exemple en utilisant la population rurale comme donnée proche pour les utilisateurs de combustibles ligneux); 2) en extrapolant l'information disponible au niveau du projet à l'entière région étudiée (par exemple pour extrapoler la consommation en bois de feu par personne). Cette procédure peut être valide dans le cas où les données ne doivent pas être très précises où lorsque les estimations de consommation en combustibles ligneux couvrent au moins des régions représentatives ou des situations dans la zone étudiée; et 3) en comblant des manques particuliers ou importants de données avec de nouvelles données provenant d'études de terrain. Cette option peut coûter très cher, aussi faut-il concevoir l'étude avec précaution pour essayer de réduire le coût et l'effort nécessaires pour compléter les données à un certain niveau donné de précision. Différentes méthodologies pour étudier les combustibles ligneux peuvent être utilisées à cette fin, voir par exemple RWEDP (2000) et Arias et Riegelhaupt (2002).

Les séries de données socioéconomiques internationales ou continentales sont de plus en plus faciles à rassembler ce qui peut contribuer à résoudre en partie les manques potentiels de données au niveau national ou régional. Un exemple de ce genre de base de données est la base de données générale sur la population produite par le Projet population du Laboratoire national d'Oak Ridge (LandScan Global Population Project) qui présente des données de résolution 30" x 30" (seconde d'arc) (voir Annexe 1).

Compléter le Module d'Offre

Les principales sources d'information pour remplir ce module sont les inventaires forestiers nationaux et les enquêtes écologiques détaillées sur la productivité de la biomasse selon les catégories d'utilisation des terres. Comme pour le module de demande, l'information provenant de ces sources doit être récoltée au niveau de l'unité administrative minimale d'analyse.

Les inventaires détaillés d'utilisation des terres/couverture végétale sont de plus en plus nombreux à la fois au niveau national qu'international. Les données de télédétection par satellite et les techniques analytiques se sont considérablement améliorées depuis le début de ce genre de recherche où les résultats des classifications étaient souvent surestimés. Aujourd'hui, une grande variété de données existe, avec des résolutions spatiales spécifiques et radiométriques qui permettent de répondre à tous les besoins. Les méthodes analytiques se sont améliorées profitant de la combinaison d'outils très sophistiqués mais faciles à utiliser, faciles à interpréter et permettant un contrôle de la qualité. Les informations produites sur l'utilisation des terres/couverture végétale sont conçues pour répondre de mieux en mieux aux besoins des utilisateurs à la différence des anciennes cartes auto-référencées. Un bon exemple pouvant largement faciliter les analyses WISDOM en Afrique est la récente cartographie de la couverture végétale réalisée dans le cadre du Projet AFRICOVER de la FAO qui couvre les pays d'Afrique de l'Est et centrale (Burundi, République démocratique du Congo, Egypte, Erythrée, Kenya, Rwanda, Somalie, Soudan, Tanzanie, Ouganda)¹⁵. Les résultats d'AFRICOVER sont très prometteurs comme par exemple la couverture complète détaillée de tous les pays (échelle 1:100 000 - 1:200 000) et le Système de classification de la couverture des sols (LCCS) adopté qui représente bien la large variété de végétation, de faible densité, caractéristique des paysages africains, et qui offre aussi une bonne base pour l'estimation des réserves de biomasse ligneuse (Drigo, 2001).

Concernant les changements de couverture végétale, les taux de déforestation nationaux calculés à partir de l'information existante sont publiés périodiquement pour tous les pays du monde au sein du programme ERF de la FAO (FAO, 2001a; FAO 2001b). Toutefois, ces données nationales sont trop génériques et contribuent peu à l'analyse WISDOM. Seuls quelques pays tropicaux entreprennent des études de suivi régulières à partir desquelles obtenir les modèles de changement régionaux (Inde, Brésil limité aux frontières légales de l'Amazonie), et rien en Afrique. Des informations plus riches ont été produites sur les changements de couverture végétale pour la ceinture tropicale, par région et principales zones écologiques par l'Etude de télédétection de l'Evaluation des ressources forestières (ERF RSS) réalisées durant l'Evaluation de 1990, et poursuivies lors de l'Evaluation 2000 (FAO, 1996; Drigo, 1996; FAO, 2001a). Cette étude a produit de très bonnes informations sur les processus de changement de couverture végétale et sur les tendances pour les périodes 1980-1990 et 1990-2000 à travers l'analyse de séries temporelles satellitaire sur un échantillon statistique de 10% de terres tropicales. Parmi les informations importantes générées par cette étude, figure le diagramme de flux de biomasse qui fournit des indications utiles sur la perte ou le gain en biomasse ligneuse associée à chaque changement de couverture végétale (FAO, 1996).

D'autres signes de l'évolution de la couverture végétale dans les régions tropicales humides ont été mis en évidence sur la période 1990-1997 par le Projet TREES II du Centre de recherche européen (European Joint Research Center) à partir d'un échantillon statistique d'images satellite de haute résolution couvrant les formations de forêts denses tropicales humides (Achard *et al.*, 2002). Aucune de ces deux études n'a produit des résultats au niveau national, mais chacune des unités d'échantillonnage analysées dans ces études¹⁶, dont la taille varie entre 1 et 3,2 millions d'hectares, peuvent fournir des vues intéressantes sur les types de changements locaux. Il est donc fortement recommandé, pour le bénéfice des nombreux utilisateurs potentiels, que toutes les données spatiales et statistiques des unités échantillonnées obtenues soient accessibles sur le Web.

Comme il est difficile de trouver des données nationales précises sur les processus de changement d'utilisation des terres et leur distribution dans un pays donné et que souvent il existe peu d'alternatives, il faut donc utiliser tous les petits bouts d'informations disponibles et extrapoler pour l'entière zone d'intérêt. Dans le cas où les estimations sûres de changement au niveau national manquent, il est conseillé de consulter les unités d'échantillonnage des deux études mentionnées ci-dessus, si elles font défaut dans le pays étudié. Dans ce cas, l'indice de changement de couverture végétale du module WISDOM d'offre pourrait être développé à partir: (i) des résultats détaillés des unités d'échantillonnage, (ii) des modèles de changements régionaux et écologiques produits par les mêmes études, et (iii) d'autres références, comme les taux nationaux de déforestation.

L'information sur les réserves de biomasse et la productivité des forêts naturelles et des plantations peut être obtenue à partir des données sur la couverture végétale associées aux données

¹⁵ Les données Africover sont accessibles sur <http://www.africover.org/>

¹⁶ L'ERF RSS a analysé 117 unités d'échantillonnage, chacune d'elles couvrant une image entière Landsat (185 x 185 km). L'étude à haute résolution TREES a analysé 93 unités d'échantillonnage, 39 desquelles ont couvert des images Landsat entières et 54 ont couvert des quarts d'image (approximativement 100 x 100 km).

d'inventaires conventionnelles sur les forêts (volume et rendement)¹⁷. Par exemple, les LCCS utilisés dans plusieurs pays africains, calculés à partir de critères de classification, présentent de manière séparée trois strates de végétation (arbres, taillis et herbacées), qui peuvent être combinées aux estimations de volume et de rendements locaux pour produire des cartes de densité de la biomasse. Les estimations de réserve de biomasse et de productivité des formations non forestières telles que les terres broussailleuses, les jardins potagers familiaux, les coupe-vent, les arbres le long des routes, les arbres des exploitations agricoles, etc., qui peuvent constituer des sources importantes de combustibles ligneux pour la population rurale, sont moins communes (RWEDP, 1997; Millington, 1994; Kaale, 1990; Ryan et Openshaw, 1991). Habituellement, cet aspect doit être résolu par déduction et extrapolation des études détaillées réalisées par un projet ou au niveau micro-régional.

Les valeurs de productivité de la biomasse peuvent aussi être adaptées en termes d'accessibilité physique ou juridique. L'accessibilité physique peut être définie dans un système d'information géographique qui exploite des données sur les pentes obtenues à partir de modélisation de terrain (par exemple GTOPO 30; cartes digitales provenant de cartes mondiales), utilisant une analyse intermédiaire à partir des réseaux de routes et de la distribution des implantations et d'autres paramètres. Le manque d'accessibilité d'un point de vue légal pourra discriminer ces zones, comme les parcs nationaux où l'extraction de bois est interdite. Les représentations de ces zones peuvent être tirées de cartes nationales ou internationales telles que les cartes d'aires protégées de l'UICN.

Coûts et ressources humaines nécessaires

Les coûts pour réaliser une analyse WISDOM pourront fortement varier selon: 1) les ressources humaines et le matériel disponible au début de l'étude; et 2) l'existence et l'accès à des bases de donnée, études, recensements et cartes géoréférencées.

Avec une unité de SIG déjà opérationnelle, et le plein accès aux informations socioéconomiques et environnementales nécessaires pour l'étude, un expert du SIG et un analyste du WISDOM peuvent couvrir l'analyse entière de la zone en un ou deux mois presque indépendamment. L'accès à la plupart des bases de données n'est pas trop cher et deux ou trois personnes suffisent pour collecter et analyser les données. Des consultants de haut niveau ne sont pas nécessaires du fait que la méthodologie d'analyse WISDOM est relativement simple.

De plus, si une unité SIG totalement nouvelle doit être créée et être opérationnelle et que l'accès aux données de base est plutôt conflictuel, les coûts seront multipliés. Dans ce cas, des périodes de temps assez longues seront nécessaires. L'acquisition du matériel pour développer un SIG constituera une des composantes majeures des coûts. Au contraire, les coûts de formation ne seront pas très élevés. Un programme informatique de formation de base au SIG centré sur les éléments nécessaires pour conduire une analyse WISDOM ne doit pas prendre plus de deux semaines par exemple.

¹⁷ Pour une illustration de cette méthodologie utilisée en Afrique subsaharienne, se référer à Millington (1994).

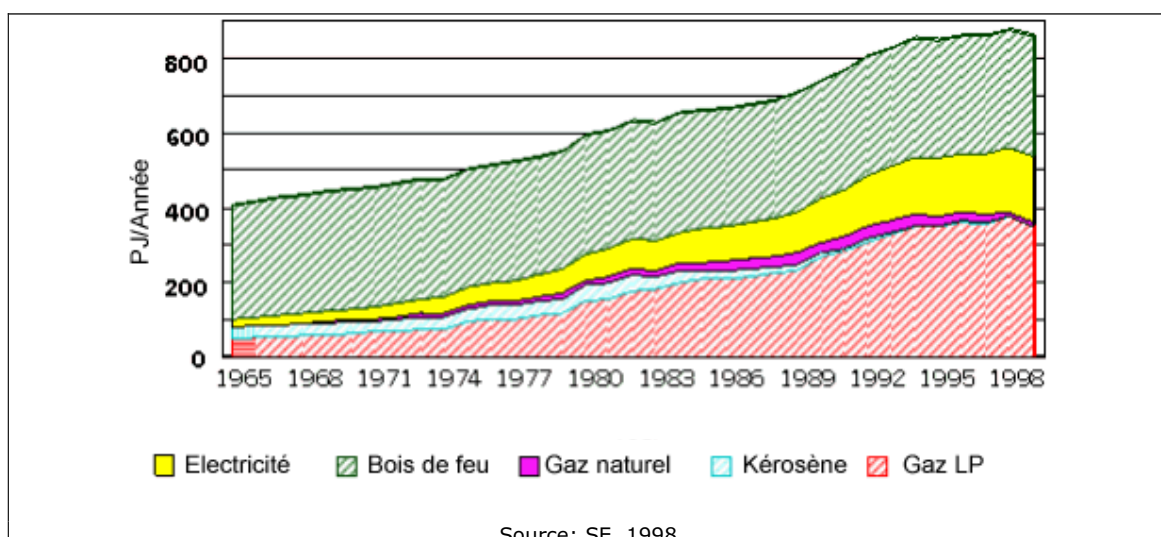
ETUDE DE CAS: IDENTIFIER LES POINTS CHAUDS DE CONSOMMATION DU BOIS DE FEU AU MEXIQUE

Une étude de cas détaillée a été réalisée sur le Mexique pour illustrer l'approche WISDOM¹⁸. Ce document en présente les caractéristiques majeures et conclusions; les lecteurs peuvent se référer au rapport original pour une version plus détaillée (Masera *et al.*, 2003, FAO, 2005).

Mode d'utilisation actuel des combustibles ligneux au Mexique

Actuellement, les biocarburants représentent environ 8% de la demande énergétique totale du Mexique (SE, 1998), 46% de l'énergie domestique utilisée (Figure 3) et plus de 80% de la demande en énergie du secteur rural (Masera, 1996b). Les trois principaux types de biocarburants utilisés dans le pays sont la bagasse, utilisée dans l'industrie de la canne à sucre, le bois de feu et le charbon de bois. Le bois de feu est de loin le combustible ligneux dominant, le charbon de bois étant principalement utilisé par les petits commerces de rue et pour les barbecues. La quantité totale de bois de feu utilisée représente trois fois le total du bois commercial légalement coupé dans le pays (Masera, 1996a).

Figure 3. Consommation en énergie domestique au Mexique 1965-1998



Au Mexique, environ un quart de la population (25 millions de personnes) cuisine en utilisant du bois de feu. Le bois de feu est aussi utilisé dans de nombreuses petites industries artisanales comme la poterie, les vendeurs de « tortilla » (omelettes), les fabricants de briques et autres. L'utilisation du bois de feu se concentre dans les zones rurales et les petites villes. Le bois de feu vendu sur les marchés provient avant tout de la nature. Le bois de feu est essentiellement extrait des zones forestières (y compris des terres dégradées et des forêts semi-arides); nombreuses sont les espèces utilisées qui n'ont aucune valeur commerciale et l'usage des résidus agricoles et des bouses de vache n'est pas très répandu (Masera, 1996a; Masera *et al.*, 1997).

Les modèles de consommation de bois de feu sont extrêmement diverses, montrant une forte hétérogénéité en termes de saturation et de croissance des utilisateurs et des impacts environnementaux potentiels sur le pays. Les études présentant la répartition spatiale de l'utilisation du bois de feu, la disponibilité des ressources en combustibles ligneux et « les points chauds en combustibles ligneux » manquent encore cruellement, rendant la mise au point du WISDOM nécessaire. Le Tableau 6 présente les premiers résultats de l'étude WISDOM. Chaque étape et résultat obtenus seront résumés dans les autres parties de ce chapitre.

¹⁸ Note de l'éditeur: Après la préparation du document ci-joint, et avant sa traduction en français, la méthodologie WISDOM a été appliquée au niveau national par le Sénégal (FAO, 2004) et la Slovaquie (FAO, 2006a) et au niveau régional pour l'Afrique de l'Est (FAO, 2006b) et pour le sud-est asiatique (FAO sous-pressé).

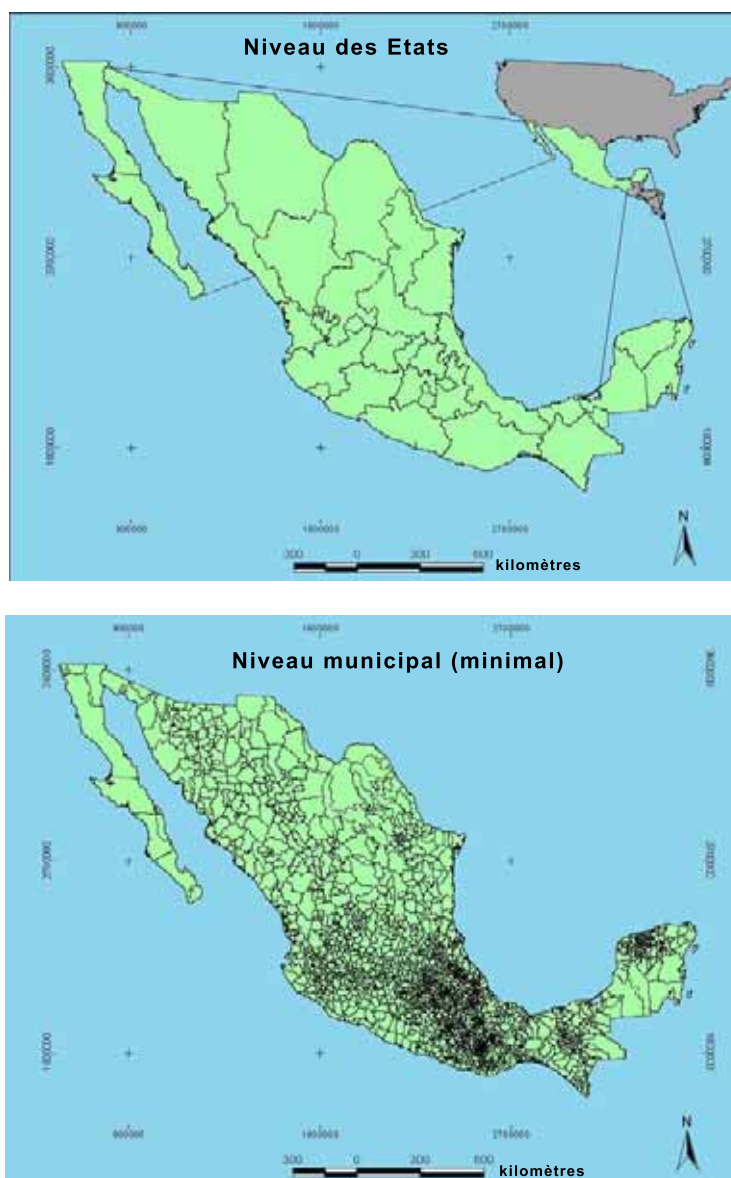
Tableau 6. Principales caractéristiques de l'étude de cas du Mexique

Principales caractéristiques de l'utilisation des combustibles ligneux au Mexique	La demande en combustibles ligneux est concentrée dans les zones rurales. Le gros du bois de feu est aussi ramassé ou acheté sur les marchés locaux. La majorité du bois de feu provient des forêts commerciales et non commerciales (une petite quantité provient aussi des zones agricoles). Ce sont avant tout les ménages qui le consomment; la demande des petites industries est importante pour certaines régions spécifiques.
Objectif et étendue de l'analyse	Déterminer les « points chauds » en bois de feu du pays pour l'année 2000. Les « points chauds » ont été définis comme des zones qui montrent: la forte demande en bois de feu des ménages pour l'usage domestique; la forte densité et croissance des utilisateurs de bois de feu; la résistance au changement pour adopter d'autres combustibles (en raison des aspects sociaux et culturels) et le peu de ressources en combustibles ligneux tirées des forêts, souvent insuffisantes. L'analyse est centrée sur le bois de feu, les ménages, et sur les utilisateurs exclusifs de bois de feu.
Unité spatiale administrative minimale d'analyse	L'unité choisie est le « Municipio » (commune), déterminée à partir de la base de données géoréférencées actuelle qui couvre tout le pays du Bureau national mexicain des statistiques (INEGI). Le pays possède 2 460 municipios, dont 2 435 ont été sélectionnés pour cette étude.
Module de demande	Les deux principales sources pour le développement du module sont: a) le recensement national de la population de 1980/1990/2000; et b) une collecte détaillée tirée d'enquêtes locales/régionales/nationales sur l'utilisation de l'énergie domestique.
Module d'offre	Le module de base sur l'Inventaire forestier national 2000 a été réalisé sur une échelle de 1/250,000 pour tout le pays. Les 69 classes d'utilisation des terres et de couverture végétale d'origine ont été regroupées en sept principales classes (Velázquez <i>et al.</i> , 2001). La productivité de biomasse moyenne a été calculée pour chaque classe d'utilisation des terres/couverture végétale.
Module d'intégration et système SIG	Un SIG a été créé en utilisant une plateforme ArcSIG. La base de données du SIG contient des informations sur la demande et l'offre en bois de feu pour chacun des 2 435 municipios du pays. Différentes variables ont été créées intégrant l'offre et la demande telles que la pression sur les ressources en combustibles ligneux, le déficit potentiel en combustibles ligneux, et autres.
Zones prioritaires	Une série de variables non corrélées ont été sélectionnées, regroupant les municipios en cinq principales catégories: élevée, moyennement élevée, moyenne, moyennement faible et faible (par exemple consommation élevée, consommation moyennement élevée, et ainsi de suite), pour chaque variable. Une indexation simple de toutes les variables puis un regroupement pour classer les municipios en cinq catégories ou niveaux de priorité ont ensuite été effectués.

ETAPE 1: DETERMINER L'UNITE SPATIALE ADMINISTRATIVE MINIMALE D'ANALYSE: LE « MUNICIPIO »

Le municipio (canton) a été choisi comme unité administrative minimale d'analyse pour réaliser l'analyse WISDOM (Fig. 4) et une base de données géoréférencées couvrant le pays entier et articulée en deux niveaux: les états et le niveau national, a été créée par le Bureau national mexicain des statistiques (INEGI); 2 460 unités ont été identifiées et intégrées au SIG. Pour chaque unité, une information de base existe telles que les coordonnées, la superficie, et le périmètre. La base de données doit être harmonisée et contrôlée du fait que depuis 1980, les 70 municipios ont évolué (création de nouveaux municipios ou émergence de certains autres), et garder seulement les municipios qui peuvent être suivis durant la période des années 20.

Figure 4. Unité spatiale administrative du Mexique



ETAPE 2: DEVELOPPEMENT DU MODULE DE DEMANDE

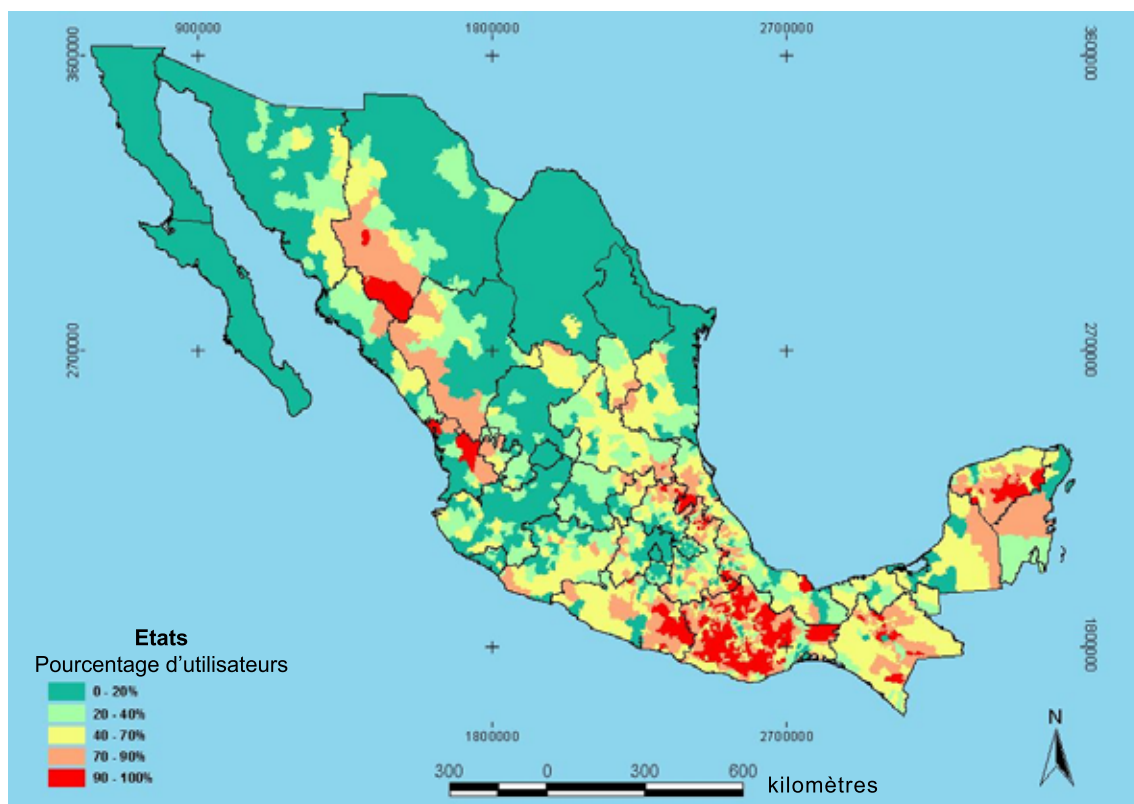
Le recensement INEGI (disponible électroniquement pour l'analyse au niveau du municipio) a été utilisé comme source d'information de base pour le module. Le recensement inclue des variables sociodémographiques générales ainsi que des variables liées à la qualité de vie de la population mexicaine. Les variables suivantes ont été utilisées dans l'étude (Tableau 7). Voir aussi la Fig. 5 pour une illustration de la distribution géographique des utilisateurs de bois de feu en tant que pourcentage de l'ensemble des ménages du Mexique.

Tableau 7. Variables utilisées dans le module de demande

Variables originales tirées du Recensement (1980/1990/2000)	• Population (urbaine, rurale, total). • Nombre total de ménages. • Ménages qui utilisent exclusivement du bois de feu. • Nombre d'utilisateurs exclusifs de bois de feu. • Pourcentage de la population appartenant à un groupe ethnique. • Indice socioéconomique.
Paramètres originaux tirés des études	Consommation moyenne par personne utilisant exclusivement le bois de feu des principales zones écologiques (tempérées, tropicales sèches, tropicales humides, semi-arides et zones humides).
Nouvelles variables calculées	• Saturation des utilisateurs de bois de feu (% des ménages utilisant seulement le bois de feu sur le total des ménages). • Consommation annuelle en bois de feu (estimation de la consommation moyenne par personne x la taille du ménage et x le nombre d'utilisateurs exclusifs de bois de feu). • Consommation annuelle de bois de feu tiré des forêts (estimé comme ci-dessus, mais en soustrayant la proportion de bois de feu tirée des zones non forestières). • Taux de croissance annuels moyens des utilisateurs exclusifs de bois de feu (1990-2000). • Densité d'utilisateurs de bois de feu (A) (utilisateurs exclusifs de bois de feu par km², utilisant la superficie totale de la municipalité). • Solde en bois de feu (productivité de la forêt – consommation annuelle en bois de feu tiré des zones forestières).

Note: Toutes ces variables sont détaillées au niveau du municipio. Les variables sélectionnées pour déterminer les « points chauds en combustibles ligneux » sont indiquées en gras.

**Figure 5. Saturation des utilisateurs de bois de feu au niveau du "municipio".
Mexique 2000**

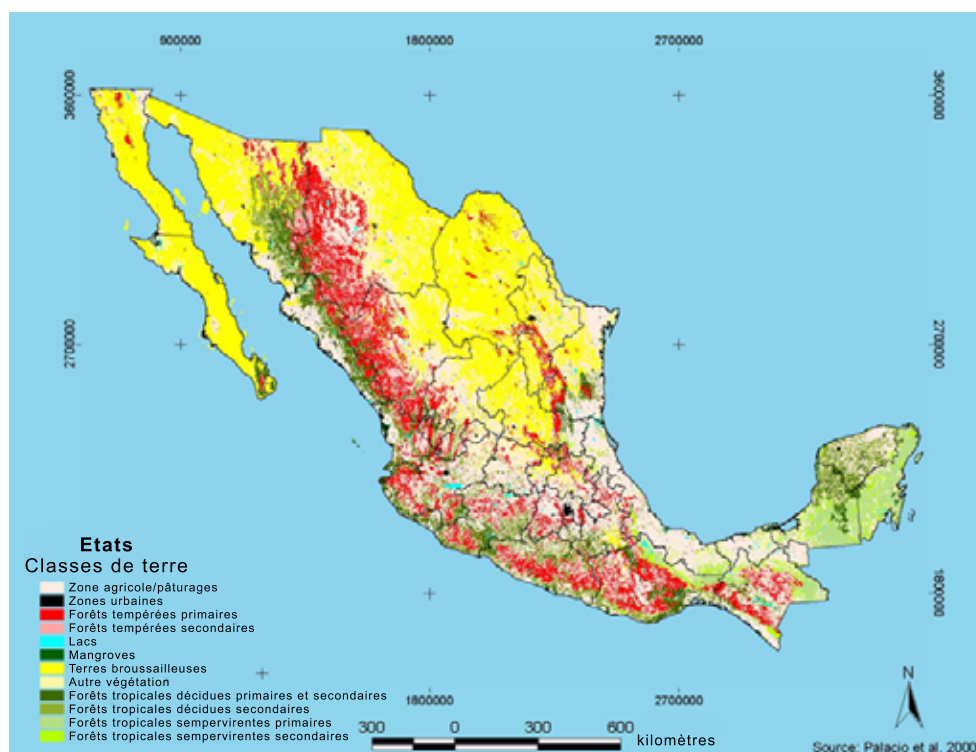


ETAPE 3: ELABORATION DU MODULE D'OFFRE

Le module d'offre a été réalisé à partir de la cartographie tirée du dernier Inventaire forestier national mexicain (Palacio *et al.*, 2000). Elle a été effectuée sur une période d'un an à partir de données provenant de l'INEGI et de l'imagerie Landsat ETM-7. La procédure a suivi la méthode d'interprétation interdépendante (FAO, 1996), qui inclue notamment une mise à jour visuelle des classes modifiées entre la base de données référence (Séries II) et l'image du moment (Landsat ETM-7 de 2000). La légende est hiérarchisée en quatre niveaux, à savoir les formations végétales, les types de végétation, les communautés et sous-communautés végétales, arrivant à un total de 75 classes. L'inventaire a été évalué grâce à des photographies aériennes digitales (échelle $\pm 1:15\,000$).

Une légende simplifiée a été déduite de cette étude avec les classes d'utilisation des terres/de couverture végétale générale: 1) zone agricole/pâturages; 2) zones urbaines; 3) et 4) forêts tempérées (primaires et secondaires); 5) lacs; 6) terres broussailleuses; 7) mangroves; 8) autre végétation; 9) et 10) forêts tropicales décidées (primaires et secondaires); 10) et 11) forêts tropicales sempervirentes (primaires et secondaires). (Fig. 6)

Une base de données a été créée grâce au SIG, employant une série de variables relatives à l'offre détaillée en combustibles ligneux au niveau du municipio. Des estimations de la productivité de la biomasse en surface par principaux types de végétation ont été réalisées en utilisant différentes enquêtes de terrain existantes et après une revue bibliographique, avant tout comme un exercice d'illustration (Fig. 6). Une analyse plus précise devra être réalisée le plus rapidement possible et étudier de manière plus approfondie les productivités ligneuses selon les principales classes d'utilisation des terres/couverture végétale du Mexique. Le Tableau 8 présente les différentes variables utilisées pour élaborer le module d'offre en combustibles ligneux.

Figure 6. Carte simplifiée de la végétation du Mexique en 2000**Tableau 8. Variables utilisées dans le module d'offre**

Variables originales provenant de l'Inventaire forestier national (2000)	Superficie pour chaque utilisation de terre/couverture végétale (ha)
Paramètres d'origine des études	Productivité totale de biomasse en surface selon la classe de forêt (tonne/ha/an).
Nouvelles variables calculées	Superficie forestière totale (ha); comprend les forêts tempérées, tropicales, les fourrés, les mangroves et les autres forêts. Biomasse produite à partir des forêts (tonnes/an).

Note: Toutes ces variables sont détaillées au niveau du municipio. Les variables sélectionnées pour déterminer les « points chauds en combustibles ligneux » sont en gras.

Pour estimer la production de biomasse des forêts mexicaines présentée dans le Tableau 8, la productivité de biomasse moyenne (en tonne/ha/an) pour chaque principal type de forêt a été estimée et intégrée dans le module d'offre. La Figure 7 présente la distribution de la productivité de la biomasse des forêts dans le pays. Une analyse plus détaillée des types de productivité des forêts, en utilisant par exemple les conditions climatiques et de sols, serait nécessaire pour une estimation plus précise de la production totale de biomasse au niveau du municipio.

Figure 7. Productivités de la biomasse hypothétique pour les forêts mexicaines (tonnes/ha/an)



ETAPE 4. MODULE D'INTEGRATION

L'information collectée dans les modules d'offre et de demande a été intégrée pour obtenir une série de nouvelles variables ou d'indicateurs. Cette procédure a été répétée durant l'élaboration du WISDOM, certaines variables sur la demande dépendant de variables présentes dans le module sur l'offre (par exemple l'utilisation en bois de feu par personne) et vice versa.

Deux principales variables intégrées d'intérêt au niveau du municipio ont pu en être déduites:

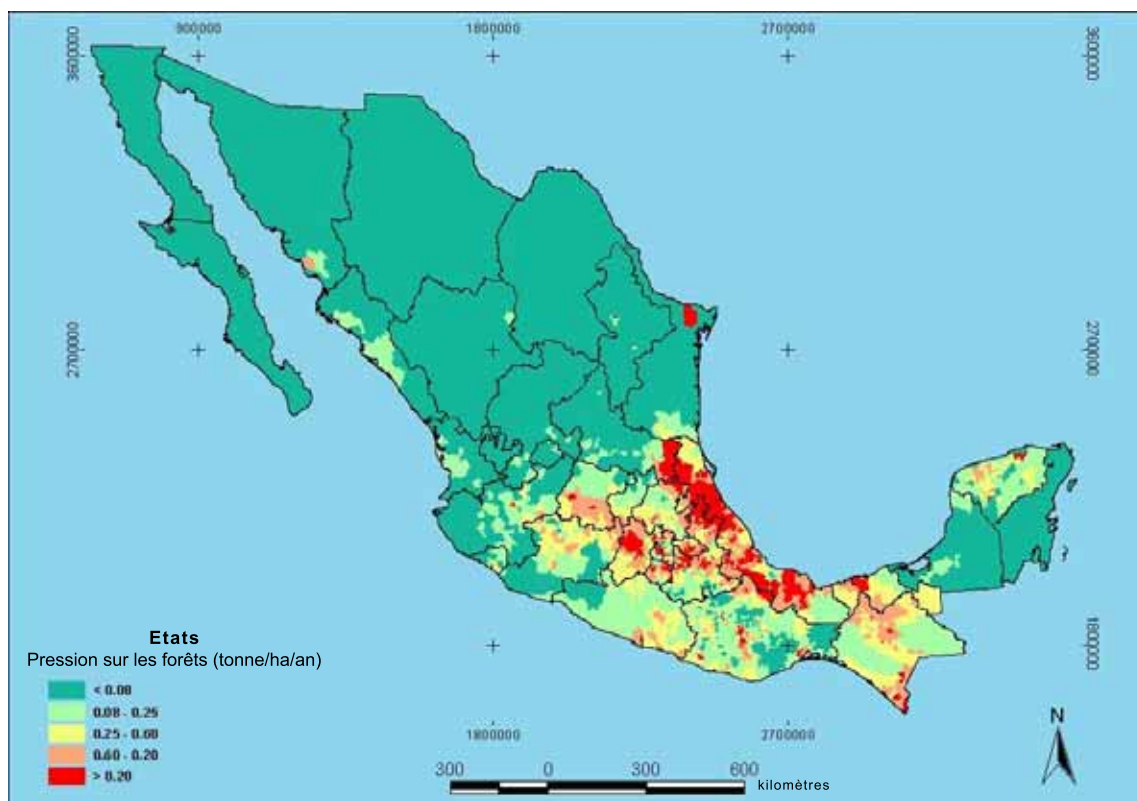
- **Pression sur les ressources forestières** (demande en bois de feu tiré des forêts/superficie totale de forêt) en tonne/ha/an.
- **Solde en bois de feu** (productivité de la biomasse forestière – demande en bois de feu tiré des forêts) en tonne/an.

La quantité de bois de feu récoltée en forêt a été calculée comme la demande totale en bois de feu moins la proportion de bois de feu provenant des zones non forestières. Ce dernier facteur a été calculé à partir des études locales réalisées dans les différentes zones écologiques (tempérées, tropicales humides, tropicales sèches, semi-arides et zones humides). Par exemple, dans les régions tropicales du Mexique, environ 20% du bois de feu consommé provient des zones non forestières ce qui peut inclure les arbres des terres agricoles, les zones abandonnées ou de recroissance dues à la culture itinérante, et d'autres zones. Des études plus détaillées couvrant

toutes les zones écologiques doivent être réalisées afin d'obtenir une estimation plus précise de ces proportions.

La Figure 8 illustre la distribution de la pression potentielle sur les ressources forestières due à l'utilisation des combustibles ligneux. Les zones en rouge sont les municipios qui présentent la pression la plus forte de collecte de bois de feu (> 2 tonnes/ha/an).

Figure 8. Pression potentielle sur les forêts locales du fait de la collecte du bois de feu (tonnes/ha/an)



ETAPE 5: IDENTIFICATION DES « POINTS CHAUDS » DU MEXIQUE POUR LE BOIS DE FEU AU NIVEAU DES MUNICIPIO

La dernière étape de l'analyse a consisté à déterminer les « points chauds » pour le bois de feu. Quatre sous-étapes majeures ont été suivies pour cela :

1. Sélection d'une grande série de variables liées à la consommation et à l'offre en bois de feu par municipio à utiliser par municipalités prioritaires.
2. Classification des municipios en 5 groupes en termes de variables individuelles.
3. Création d'un indice de priorité intégré pour le bois de feu (FPI) par municipio.
4. Classification des municipios en 5 groupes selon l'indice FPI.

1) Sélection d'une série finale de variables

Une matrice de corrélation a été créée avec les différentes variantes possibles liées à la demande et à l'offre en bois de feu. La matrice et l'analyse produites ont permis de sélectionner une série de variables minimales non corrélées pour l'établissement des municipalités prioritaires au niveau

national. La classification par priorité a pour but d'identifier les municipalités à forte demande en bois de feu, forte densité et croissance des utilisateurs de bois de feu, et résistance à l'évolution vers d'autres combustibles (pour des raisons sociales et culturelles), et de faibles ressources ou ressources insuffisantes en combustibles ligneux. L'analyse a clairement montré que plusieurs variables sont étroitement corrélées. Par exemple, il existe une étroite corrélation entre la consommation du bois de feu et les utilisateurs de bois de feu et entre le niveau de revenus et la saturation des utilisateurs de bois de feu.

Le Tableau 9 présente l'analyse de corrélation. Cette analyse statistique a permis de choisir une série finale des six variables sans corrélation ou à faible corrélation suivantes:

- Nombre total d'utilisateurs exclusifs de bois de feu.
- Saturation des utilisateurs de bois de feu (proportion des ménages qui utilisent seulement le bois de feu).
- Densité des utilisateurs (nombre d'utilisateurs qui utilisent seulement du bois de feu/superficie municipale totale).
- Pourcentage de personnes faisant partie d'un groupe ethnique.
- Taux de croissance annuelle des utilisateurs qui utilisent seulement du bois de feu (1990-2000).
- Solde en bois de feu (productivité totale de la forêt – consommation annuelle du bois de feu tiré des zones forestières).

Tableau 9. Coefficients de corrélation pour la série entière de variables sur le bois de feu

Variable	Coefficients de corrélation Les corrélations marquées sont significatives à $p < .05000$ N=2401 (Données manquantes non comptées)									
	Niveau de revenu	Nombre d'utilisateurs exclusifs de bois de feu	Saturation des utilisateurs de bois de feu	Consommation annuelle de bois de feu « forestier »	Densité d'utilisateurs (A)	Densité d'utilisateurs (B)	% de pop. indigène	Taux de croissance des utilisateurs de bois de feu	Solde en bois de feu	Pression sur les forêts
Niveau de revenu	1	-0.14	-0.84	-0.16	-0.21	0.04	-0.50	-0.24	0.15	0.03
Nombre d'utilisateurs qui utilisent seulement le bois de feu	-0.14	1	0.13	0.97	0.17	-0.01	0.07	0.25	0.05	-0.01
Saturation des utilisateurs de bois de feu	-0.84	0.13	1	0.15	0.24	-0.03	0.64	0.32	-0.14	-0.02
Consommation annuelle de bois de feu « forestier »	-0.16	0.97	0.15	1	0.17	-0.02	0.10	0.24	0.04	-0.01
Densité de consommateurs (A)	-0.21	0.17	0.24	0.17	1	0.11	0.28	0.14	-0.15	0.06
Densité de consommateurs (B)	0.04	-0.01	-0.03	-0.02	0.11	1	-0.01	0.02	-0.02	0.98
% Population indigène	-0.50	0.07	0.64	0.10	0.28	-0.01	1	0.21	-0.09	-0.01
Taux de croissance des utilisateurs de bois de feu	-0.24	0.25	0.32	0.24	0.14	0.02	0.21	1	-0.08	0.02
Solde du bois de feu	0.15	0.05	-0.14	0.04	-0.15	-0.02	-0.09	-0.08	1	-0.01
Pression sur les forêts	0.03	-0.01	-0.02	-0.01	0.06	0.98	-0.01	0.02	-0.01	1

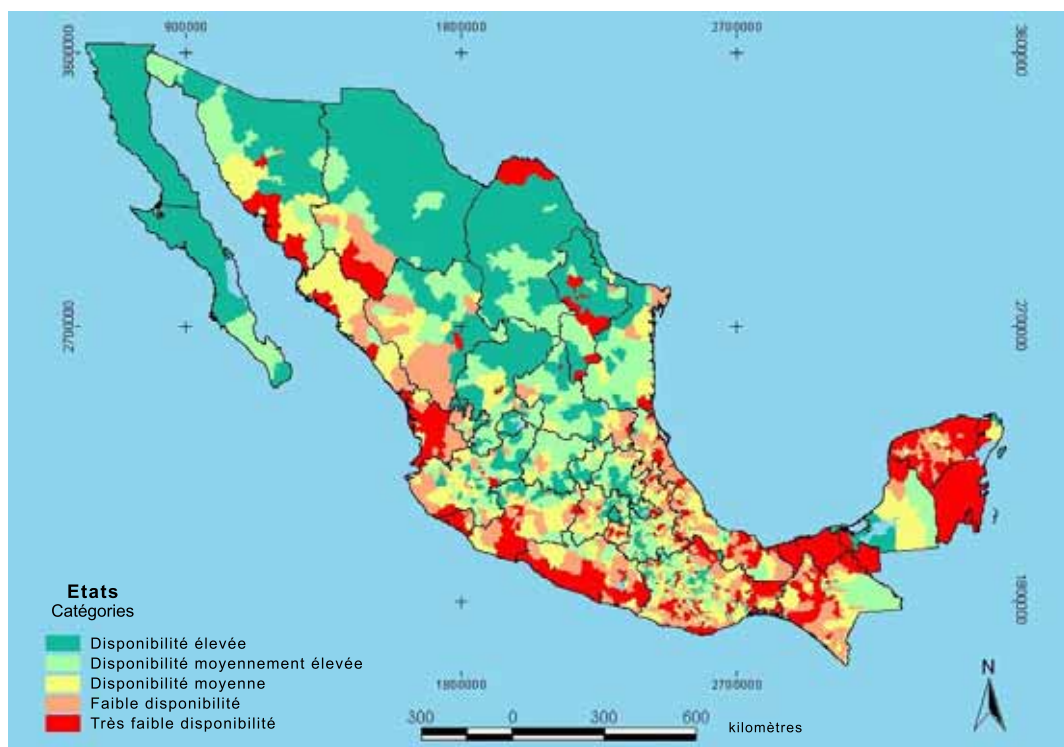
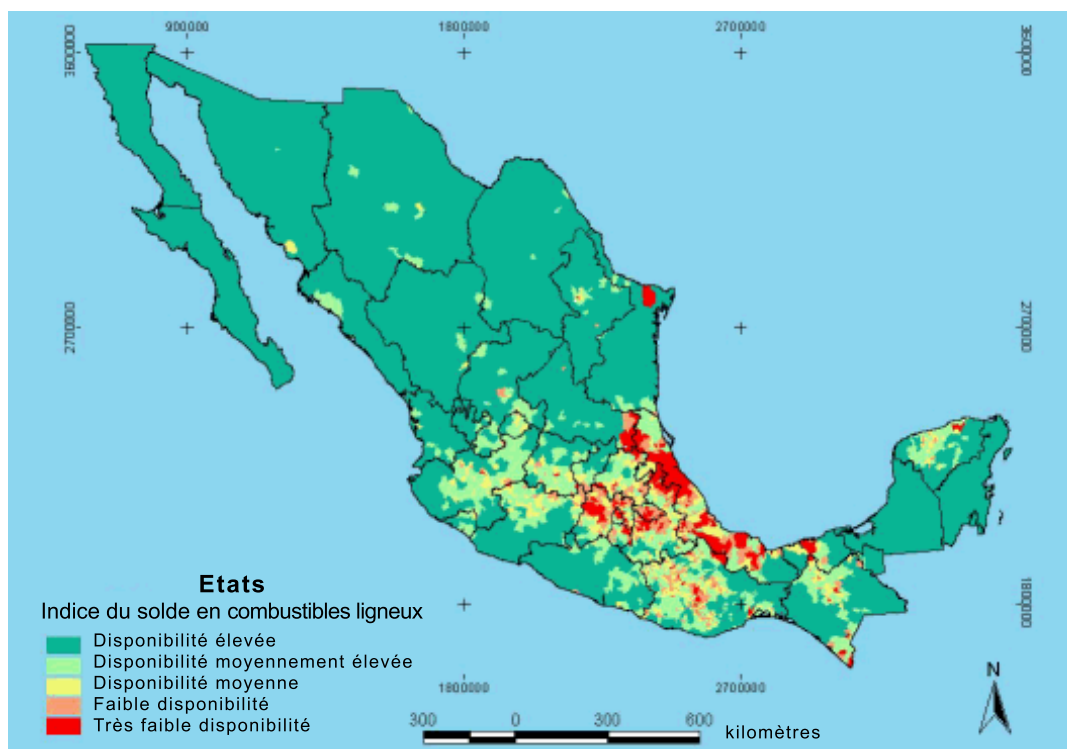
Note: Les coefficients statistiquement significatifs étant sûrs à 95% sont indiqués en gras.

2) Regroupement de municipios pour chaque variable:

Pour chacune des variables sélectionnées, les municipios ont été regroupés et classés en cinq catégories, reflétant la gravité (ou la priorité) du problème:

- Groupe 1 = priorité peu élevée
- Groupe 2 = priorité moyenne à basse
- Groupe 3 = priorité moyenne
- Groupe 4 = priorité moyenne à élevée
- Groupe 5 = priorité élevée

Au sujet de la proportion d'utilisateurs de bois de feu par exemple, les municipalités les moins prioritaires sont celles étant les moins saturées et celles fortement prioritaires révèlent une forte saturation d'utilisateurs. Les cartes thématiques ont été préparées pour chaque variable. Les Figures 9 et 10 illustrent cette analyse de la croissance des utilisateurs de bois de feu et l'équilibre entre la production de biomasse de la forêt et la demande en bois de feu provenant des autres zones forestières. Il est intéressant de noter la distribution géographique irrégulière des différents groupes de municipios par rapport aux différents critères.

Figure 9. Croissance des utilisateurs de bois de feu au Mexique en 1990-2000**Figure 10. Solde en bois de feu par municipalité au Mexique en 2000**

3) Elaboration d'un Indice intégré de priorité pour le bois de feu (FPI)

La troisième étape de l'analyse a consisté à élaborer un « indice de priorité » global pour chaque municipio qui intègre les six variables identifiées dans une série finale. Afin de réaliser cette analyse, chaque municipio a reçu une valeur pour chaque variable, allant de 1 à 5 selon son degré de priorité (priorité peu élevée = 1; priorité élevée = 5), puis un indice de priorité global pour le bois de feu a été calculé de la manière suivante:

$$FP_{ij} = \sum_{i=1}^6 I_i * P_i$$

où:

FP_{ij} = indice de priorité pour le bois de feu pour chaque municipio "j"

I_i = indice pour chaque variable utilisée dans l'analyse (6 en total), allant de 1 à 5.

p_j = poids, fixé à 1 dans ce cas.

4) Classement des municipios en 5 groupes selon le FPI: définissant les municipalités à « points chauds ».

A chaque municipio a été assigné un indice numérique qui intègre les différentes préoccupations concernant la consommation de bois de feu et la disponibilité des ressources, l'étape finale étant le regroupement en cinq catégories définies dans la section précédente, allant d'une faible priorité à une forte priorité (Fig. 11 et 12).

L'analyse des 2 402 municipios d'origine utilisés pour calculer le FPI a produit les résultats suivants:

- **Priorité élevée pour 262 municipios**
- **Priorité moyennement élevée pour 388 municipios**
- **Priorité moyenne pour 462 municipios**

Le Tableau 10 présente les valeurs moyennes des variables intéressantes sélectionnées sur la consommation de bois de feu et les ressources forestières pour chaque groupe de municipios classé par le FPI. Il est facile d'identifier que les municipalités prioritaires sont celles qui présentent le nombre d'utilisateurs le plus élevé et la consommation de bois de feu la plus forte, la densité et la croissance des utilisateurs la plus élevée, la population indigène la plus nombreuse (une variable de remplacement liée à la résistance à évoluer vers d'autres combustibles) et le surplus en ressources de bois de feu le plus faible.

Une analyse statistique a été réalisée pour corroborer la signification des groupes. Une ANOVA globale a confirmé que les groupes étaient statistiquement différents à 95% de certitude. Les différences entre tous les groupes sont aussi statistiquement significatives pour la majorité des groupes et des variables, comme on peut le voir dans l'analyse du tableau présentant les erreurs moyennes et standard graphiques pour chaque groupe (Figures 13 A et B).

Figure 11. "Municipios" prioritaires en termes d'utilisation de bois de feu et de disponibilité en ressources de bois de feu, Mexique 2000

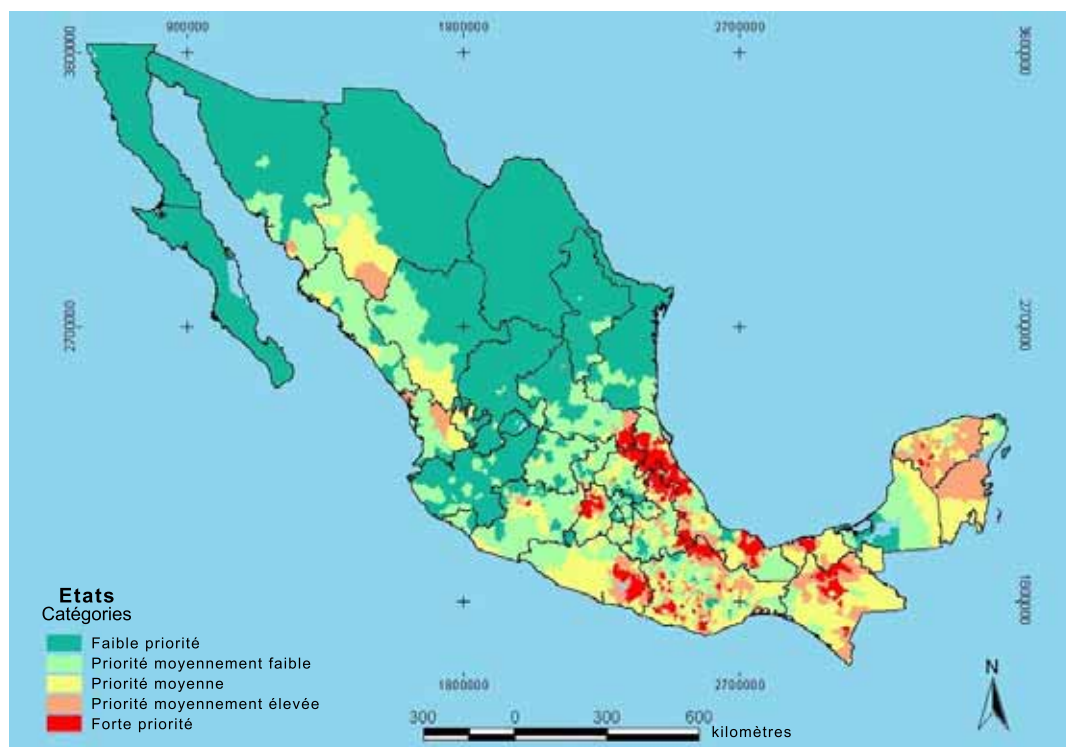


Figure 12. Municipios prioritaires en termes d'utilisation du bois de feu et de disponibilité en ressources de bois de feu, Mexique 2000. Détail pour le sud-est du Mexique (Etats de Chiapas, Oaxaca, et Guerrero)

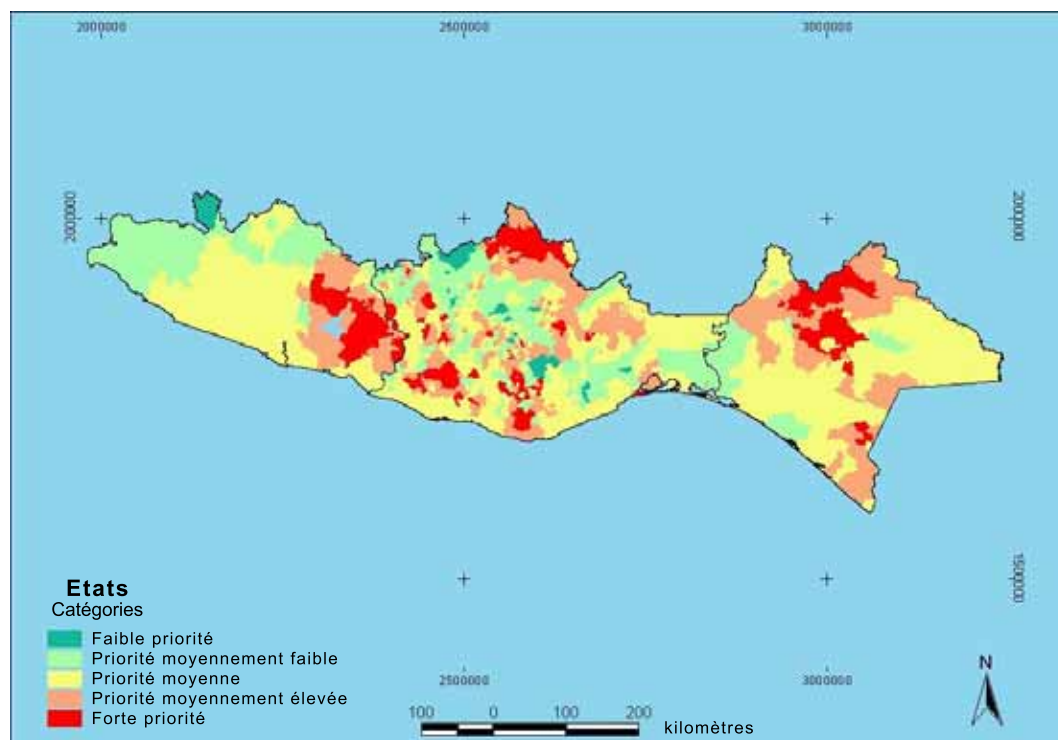
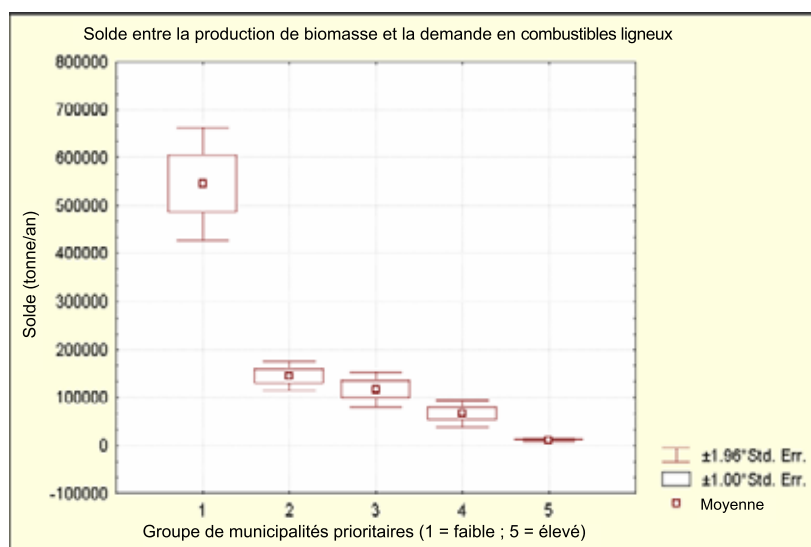
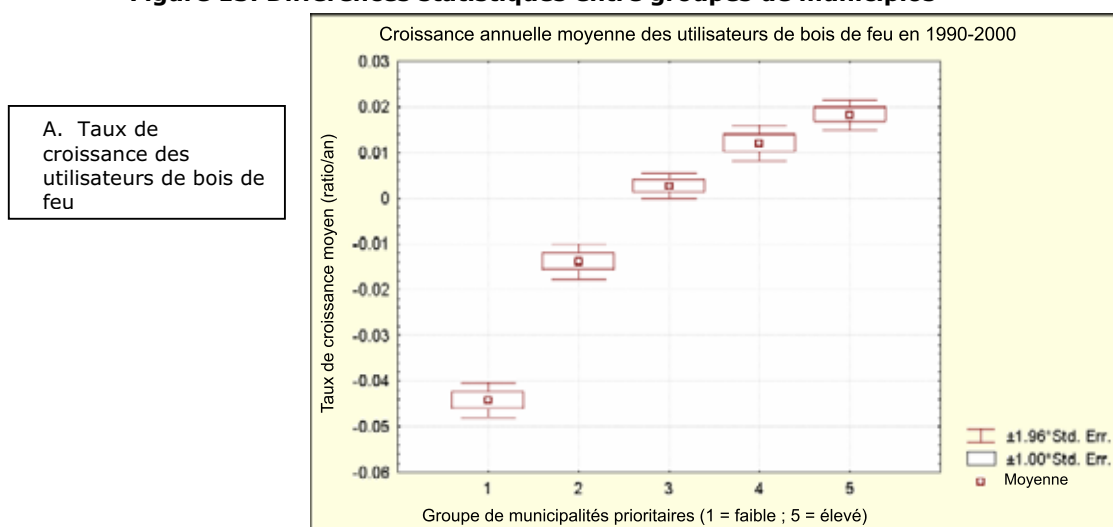


Tableau 10. Caractéristiques de chaque groupe prioritaire de municipios selon les variables sélectionnées

FPI Groupes	Niveau de revenus	Utilisateurs exclusifs de bois de feu	Saturation des utilisateurs de bois de feu (%)	Consommation annuelle tirée des forêts (tonnes/an)	Densité d'utilisateurs (A) (utilisateurs/km ²)	Population indigène (%)	Taux de croissance des utilisateurs de bois de feu (%)	Solde en bois de feu (tonne/an)
Priorité élevée	1.7 (1.0)	15,217 (15,989)	86 (13)	4,743(5,402)	1.02(0.62)	68.2 (30.7)	2 (3)	20,816(34,196)
Priorité moyennement élevée	2.6 (1.4)	11,628(13,087)	72 (24)	4,199(5,740)	0.61(0.73)	43.7 (37.2)	1 (4)	68,390(270,546)
Priorité moyenne	3.2 (1.7)	9,765(12,636)	59 (28)	3,840(6,635)	0.38(0.51)	23.3 (30.6)	0 (3)	120,299(394,389)
Priorité moyennement faible	4.0 (1.8)	5,880(7,262)	41 (28)	2,272(3,462)	0.22(0.21)	6.4 (15.0)	-1 (5)	144,756(404,451)
Faible priorité	5.1 (1.5)	2,436 (2,918)	17 (18)	952 (1,336)	0.05(0.05)	0.8 (2.1)	-4 (5)	543,977(1,487,274)
Tous les groupes	4 (2)	7,583(10,862)	48 (33)	4,773(7,514)	0.35(0.52)	20.5 (32.1)	-1% (5)	214,836(829,019)

Note: Les valeurs de déviation standard figurent entre parenthèses.

Figure 13. Différences statistiques entre groupes de municipios

REMARQUES DE CONCLUSION POUR L'ETUDE DE CAS SUR LE MEXIQUE

L'analyse WISDOM réalisée pour le Mexique a permis de:

- Identifier et classer les municipalités « points chauds » de bois de feu selon une série de critères liée à la consommation de bois de feu et à ses impacts sur les ressources forestières locales. L'analyse contribue à améliorer la gestion durable du bois de feu des municipalités mexicaines en termes social et environnemental.
- Etablir un SIG détaillé qui permette une représentation spatiale instantanée des municipios, selon une série de critères prédéfinis. Le SIG peut aussi être utilisé pour développer des scénarios futurs sur la situation du bois de feu dans le pays étudié et peut aussi être reliée aux autres problèmes tels que les émissions de gaz à effets de serre produites par l'utilisation du bois de feu.
- Développer un outil puissant de planification stratégique qui facilite l'usage plus efficace des ressources financières et humaines relativement peu nombreuses et permet de les concentrer dans les domaines qui requièrent l'attention la plus urgente.

CONCLUSIONS

Ce document a présenté l'approche WISDOM, une méthodologie d'analyse spatiale des systèmes dendroénergétiques dont le but est d'identifier les zones en combustibles ligneux prioritaires en termes de série de critères prédéfinis. Il a aussi souligné les ressources matérielles et humaines nécessaires pour réaliser ce type d'analyse et présenté les bases de données mondiales disponibles et utiles sur le sujet. Enfin, l'approche WISDOM a été illustrée avec une étude de cas sur le Mexique.

Une représentation spatiale détaillée de la situation des combustibles ligneux est clairement un des prérequis pour promouvoir l'utilisation durable des combustibles ligneux dans les pays en développement. Cette analyse spatiale constitue aussi un outil très utile pour la planification stratégique: elle contribue à la fois à mieux comprendre la situation actuelle et future de la dendroénergie avec ses tendances et à mieux diriger le peu de ressources financières et humaines disponibles vers les zones qui nécessitent plus d'attention. Associée à d'autres séries d'outils de planification de l'énergie, l'approche WISDOM peut contribuer à concevoir de bonnes politiques et à agir plus efficacement.

Un long chemin reste à parcourir en termes de développement méthodologique et d'applications potentielles du WISDOM. L'approche doit tout d'abord être testée sur les différents types d'études de cas caractérisant différentes situations contrastées. Les études de cas qui nous intéressent comportent:

- des situations où il existe de nombreuses possibilités de commercialisation dans les centres urbains avec une forte demande en charbon de bois;
- des situations où une forte proportion de combustibles ligneux provient des zones agricoles ou de la biomasse non ligneuse.

Le nouveau défi soulevé par ces études de cas contrastées servira à rendre la méthodologie plus forte et adaptable aux circonstances variées que l'on peut rencontrer dans les différents pays¹⁹.

Il reste deux autres aspects à intégrer dans l'analyse spatiale présentée dans ce document:

a) Classer les ressources en combustibles ligneux selon des catégories d'accessibilité. Pas toutes les ressources en combustibles ligneux sont accessibles de manière identique aux populations, que cela soit en termes de contraintes physiques (par exemple la distance avec des villes ou des villages, l'existence de routes, de pentes, etc.) ou en termes de contraintes sociales/juridiques (par exemple la présence de zones naturelles protégées ou de zones où il n'est pas possible de ramasser du bois du fait de l'utilisation de la terre par le propriétaire ou de règlements spécifiques). Toutes les ressources en combustibles ligneux doivent donc être classifiées selon un « facteur d'accessibilité » pouvant mieux refléter la quantité de combustible présente et les zones de forêt qui pourraient être le plus affectées par la collecte de bois. Actuellement, les systèmes d'information géographique permettent de réaliser des analyses détaillées de l'accessibilité physique aux ressources forestières qui peuvent prendre en considération différentes séries de contraintes biophysiques locales ceci à partir d'une méthode relativement simple (voir par exemple l'analyse d'accessibilité réalisée pour la dernière évaluation des ressources forestières mondiales de la FAO (FAO, 2001)).

b) Faire que l'analyse WISDOM au niveau national/régional et les interventions locales tiennent plus compte l'une de l'autre. Après avoir identifié les « points chauds en combustibles ligneux » au niveau national/sous-national, une analyse spatiale plus détaillée doit être réalisée dans chaque zone prioritaire. A cette fin, il vaut mieux connaître la situation locale en combustibles ligneux (par exemple: les différents modes de production, récolte, transformation et enfin conversion en énergie, prenant en compte le contexte global des ressources forestières). Masera *et al.* (1998) présente un exemple de ce type d'analyse pour la région du centre du Mexique. L'analyse de la situation locale du combustible ligneux permet d'étudier la réalité et les problèmes existants afin d'intervenir de la bonne manière. Une série d'actions logiques peut donc être enclenchée de la planification au niveau national aux interventions locales. Il faut noter que cette dernière étape aura aussi besoin d'être planifiée et de disposer d'outils de mise en œuvre et d'une approche participative qui intègre vraiment la population locale.

¹⁹ Note de l'éditeur: Après la préparation de ce document, et avant sa traduction en français, la méthodologie WISDOM a été appliquée au niveau national au Sénégal (FAO, 2004) et en Slovaquie (FAO, 2006a) et au niveau régional en l'Afrique de l'Est (FAO, 2006b) et pour le sud-est asiatique (FAO sous-pression).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Achard, F., Eva, H., Stibig, H. J., Mayaoux, P., Gallego, J., Richards, T. et Malingreau, J. P. 2002. *Determination of Deforestation Rates of the World's Humid Tropical Forests*. Science 297, 999-1002.

Arias, T. et Riegelhaupt, E. 2002. *Guía para estudios de demanda, oferta y abastecimiento de combustibles de madera*. Programa de Asociación Comunidad Europea; Programa de Manejo Forestal Sostenible. GCP/RAF/354/EC; GCP/RLA/133/EC-Wood Energy Component. FAO/Communauté européenne, Rome.

Broadhead, J., Bahdon, J. et Whiteman, A. 2001. *Past trends and future prospects for the utilization of wood for energy*. Global Forest Products Outlook Study, Document de travail N°5. FAO, Rome.

Clarke, H. R. et Shrestha, R. M. 1989. *Traditional Energy Programs with an Open Access Forest Resource: Policy Implications*. The Energy Journal Vol 10, N°4: 45-57.

De Montalembert, M. R. et Clément, J. 1983. *Woodfuel Supplies in the Developing Countries*. Etude FAO forêts N°42. FAO, Rome.

Detrinidad, M. E. 1993. *Algunas consideraciones para normar, regular y controlar el manejo de bosques tropicales secos utilizados en la producción de leña en Nicaragua*. Documento del Instituto Nicaraguense de Recursos Naturales y del Ambiente (IRENA) et Servicio Forestal Nacional du Nicaragua (SFN).

Devadas, V. 2001. *Planning for rural energy system: Part III*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 5: 271-297.

Díaz, R. 2000. *Consumo de leña en el sector residencial de México: evolución histórica y emisiones de CO²*. National University of Mexico (UNAM). Thèse de Master, Mexique City.

Drigo, R. 1996. *Survey of Pan-tropical Forest Resources Based on Multi-date High Resolution Satellite Data*. Proceedings of the EUROSTAT Esquilino Seminar (27 - 29 novembre 1995), pp. 111 à 141.

Drigo, R. 2001. *Wood energy information in Africa*. Document de travail FOPW/01/4, Projet de la FAO GCP/RAF/354/EC. FAO, Rome.

ESMAP. 2001. *Sustainable Woodfuel Supplies from the Dry Tropical Woodlands*. Energy Sector Management Assistance Programme and United Nations Development Programme. Banque mondiale, Washington D.C.

FAO. 1981. *Map of the woodfuel situation in the developing countries*. Supplément d'*Unasylva*. Rome.

FAO. 1995. *Monitoring of Forest Resources at District Level Using Multi-date Satellite Data*. Assistance to the Andhra Pradesh WB/GOI Forestry Project. Rapport de mission par R. Drigo. Rome.

FAO. 1996. *Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Etude FAO forêts N°130. Rome.

FAO. 2001a. *Global Forest resources Assessment 2000*. Rapport principal. Etude FAO forêts N°140. Rome.

FAO. 2001b. *Comparison of forest area and forest area change estimates derived from FRA 1990 and FRA 2000*. Document de travail de l'ERF N°59. Rome.

FAO. 2004. WISDOM Senegal – Analysis of woodfuel production/consumption patterns in Senegal. Version préliminaire préparée par R. Drigo pour le FAO Wood Energy Programme.

FAO. 2005. Fuelwood “hot spots” in Mexico: a case study using WISDOM – Woodfuel Integrated Supply-Demand Overview Mapping. Préparé par R. O. Masera, G. Guerrero, A. Ghilardi, A. Velasquez, J. F. Mas, M. Ordonez, R. Drigo et M. Trossero. FAO Wood Energy Programme et Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM). Voir: <http://www.fao.org/docrep/008/af092e/af092e00.HTM>

FAO. 2006a. Woodfuel Integrated Supply / Demand Overview Mapping (WISDOM) - Slovenia - Spatial woodfuel production and consumption analysis. Préparé par R. Drigo et Ž. Veselič. Département des forêts de la FAO–Document de travail sur la dendroénergie. Voir: <http://www.fao.org/docrep/009/j8027e/j8027e00.HTM>

FAO. 2006b. WISDOM – East Africa. Woodfuel Integrated Supply/Demand Overview Mapping (WISDOM) Methodology. Spatial woodfuel production and consumption analysis of selected African countries. Préparé par R. Drigo pour le Département des forêts de la FAO-dendroénergie. Voir: <http://www.fao.org/docrep/009/j8227e/j8227e00.HTM>

FAO. Sous-pressé. Wood-energy supply/demand scenarios in the context of poverty mapping. A WISDOM case study in Southeast Asia for the years 2000 and 2015. Préparé par Rudi Drigo pour FAO Environment and Natural Resources Service (SDRN) et le Service des produits forestiers (FOPP). Environment and Natural Resources Working Paper No. 27. FAO, Rome.

Geist, H. J. et Lambin, E. F. 2002. *Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation*. Bioscience Vol 52, N°2: 143-150.

Goldemberg, J. 1985. *Madera para Energía y Perspectivas Energéticas*. IX Congrès forestier mondial. Ciudad de México.

Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L. et Black, W. C. 1992. *Multivariate data analysis* (3ème éd.). Macmillan, New York.

Hoogwijk, M., Faaij, A., van den Broek, R. et Berndes, G. 2002. *The Global Potential of Bioenergy*. Proceedings of the 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry, and Climate Protection, 17-21 juin, Amsterdam, Pays-Bas.

Kaale, B. K. 1990. *Traditional fuels*, in: Pastzor J. et Kristoferson L. A. (éds.) *Bioenergy and the Environment*. Institut de l'environnement du Programme des Nations Unies pour l'environnement/PNUE. Westview Press, Oxford.

Kartha, S. et Leach, G. 2001. *Using modern bioenergy to reduce rural poverty*. Rapport à la Fondation Shell. Fondation Shell. Londres. (www.shellfoundation.org).

Mahapatra, A. K. et Mitchell, C. P. 1999. *Biofuel consumption, deforestation, and farm level tree growing in rural India*. Biomass and Bioenergy 17:291-303.

Marble, D. F. 1998. *Geographic Information System Technology and Decision Support Systems*. In: *Proceedings of the Thirty-second Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. (www.ieee.org).

Masera, O. 1995. *Socioeconomic and Environmental Implications of woodfuel Use Dynamics and Fuel Switching in Rural Mexico*. PhD Thesis, Energy et Resources Group, Université de Californie, Berkeley.

Masera, O. 1996a. *Deforestación y degradación forestal en México*. Documentos de trabajo N°19, Grupo Intredisciplinario de Tecnología Rural Apropiada (GIRA A.C.) Pátzcuaro, Mexique.

- Masera, O.** 1996b. *Uso y Conservación de Energía en el Sector Rural: El caso de la leña*. Documentos de Trabajo N°21, Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiaada (GIRA A.C.). Pátzcuaro, Mexique.
- Masera, O., Navia, J., Arias, T. et Riegelhaupt, E.** 1997. *Patrones de Consumo de Leña en Tres Micro-regiones de México: Síntesis de Resultados*. Proyecto FAO/MEX/TCP/4553(A). Grupo Intredisciplinario de Tecnología Rural Apropiaada (GIRA A.C.). Pátzcuaro, Mexique.
- Masera, O., Masera, D. et Navia, J.** 1998. *Dinámica de uso de los recursos forestales de la Región Purhépecha: El papel de las pequeñas empresas artesanales*. Grupo Intredisciplinario de Tecnología Rural Apropiaada (GIRA A.C.). Pátzcuaro, Mexique.
- Masera, O., Guerrero, G., Ghilardi, A., Velásquez, A., Mas, J. F., Ordóñez, M. et Drigo, R.** 2003. *Identifying household woodfuel Hot Spots using the WISDOM approach: a case studies for México*. Programme sur la dendroénergie, Division des produits forestiers. FAO, Rome.
- Millington, A. C., Ryan, P., Douglas, T. D. et Critchley, R. W.** 1994. *Estimating Woody Biomass in Sub-Saharan Africa*. Banque mondiale, Washington D.C.
- Newcombe, K.** 1984. *An Economic Justification for Rural Afforestation: The Case of Ethiopia*. Energy Department Paper N°16. Banque mondiale, Washington, D.C.
- Pakharel, S. et Chandrashekar, M.**, 1997. *Integrated Rural Energy Decision Support System*, in: **Kersten, G., Mikolajuk, Z., Rais, M. et Gar-On Yeh, A.** (éds.) *Decision Analysis and Support for Sustainable Development*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Palacio, J.L., Bocco, G., Velásquez, A., Mas, J. F., Takaki, F., Victoria, A., Luna, L., Gómez, G., López, J., Palma, M., Trejo, I., Peralta, A., Prado, J., Rodríguez, A., Mayorga, R. et González, F.** 2000. *La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. N°43: 183-203.
- RWEDP.** 1996. *Woodfuel Flows*. RWEDP Report N°30, FAO/Programme de développement régional de la dendroénergie, Bangkok, Thaïlande.
- RWEDP.** 1997. *Regional study on wood energy today and tomorrow in Asia*. Regional Wood Energy Development Programme in Asia GCP/RAS/154/NET. Document de terrain N°50. FAO / Pays-Bas. Bangkok, Thaïlande.
- RWEDP.** 2000. *Basics of Wood Energy Planing - A Manual*. Regional Wood Energy Development Programme in Asia GCP/RAS/154/NET. FAO/Pays-Bas. Bangkok, Thaïlande.
- Ryan, P. et Openshaw, K.** 1991. *Assessment of Biomass Energy Resources: a Discussion on its Need and Methodology*. Banque mondiale, Washington D.C.
- Secrétariat à l'énergie (SE).** 1998. *Balance Nacional de Energía*. Gobierno de México, Secrétariat à l'énergie, Mexique D.F.
- Velásquez, A., Mas, J. F., Mayorga-Saucedo, R., Palacio, J. L., Bocco, G., Gómez-Rodríguez, G., Luna-González, L., Trejo, I., López-García, J., Palma, M., Peralta, A., Prado-Molina, J. et González-Medrano, F.** 2001. *El inventario forestal nacional 2000. Potencial de usos y alcances*. Ciencias, 64:13-19.
- WRM.** 2001. *Cameroon: research questions myths about woodfuel use and deforestation*. Bulletin N°43. World Rainforest Movement. Montevideo, Uruguay.
- Yeh Gar-On, A.** 1997. *Decision Support with Geographic Information Systems*. in: **Kersten, G., Mikolajuk, Z., Rais, M. et Gar-On Yeh, A.** (éds.) *Decision Analysis and Support for Sustainable Development*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

ANNEXE 1. BASE DE DONNEES CARTOGRAPHIQUES POUR L'AFRIQUE

Brève présentation de cartes digitales sélectionnées dans le **GeoNetwork**²⁰, le site de la FAO sur les données et informations spatiales.

Cartes administratives

	Unités administratives en Afrique (1993). Application possible pour une analyse WISDOM: BASE SPATIALE: 1er et 2d niveau administratif régional d'un pays. Catégorie ISO Topic Mots clés thématiques Mot clé du site Date de publication Résumé décrivant la série de données Frontières. Limites administratives, limites régionales, frontières. Afrique. 1993 Frontières administratives nationales et régionales de l'Afrique. Carte administrative de l'Afrique.
	Unités administratives du nord-est de l'Afrique. Application potentielle pour une analyse WISDOM: BASE SPATIALE: 1er et 2d niveau administratif régional du pays. Catégorie ISO Topic Mots clés thématiques Mot clé géographique Date de publication Résumé décrivant la série de données Autres informations Frontières. Frontières, Corne de l'Afrique, Limites administratives, Afrique du nord-est. Afrique. 1994 Unités administratives à Djibouti, en Érythrée, Éthiopie, au Kenya, en Somalie, Soudan et Ouganda. La région est sous-divisée en 1 220 unités cartographiques homogènes qui correspondent à des unités administratives. Les niveaux d'unité utilisés dans chaque pays sont présentés selon: le nom du pays, l'unité administrative et le nombre d'unités: Djibouti, Districts, 5; Érythrée, <i>Woredas</i>, 40; Éthiopie, <i>Awrajas</i>, 309; Kenya, Districts, 41; Somalie, <i>Degmad</i>, 74; Soudan, Conseils de zone, 85; et Ouganda, cantons, 143. Objectif Contact technique Echelle Edition Accroître les procédures de suivi des cultures et de prévision des unités d'alerte régionales et nationales. Nom: Freddy Nachtergaele Unité: AGLL Nom de l'organisation: FAO-NU 1:5 000 000 Première version.

²⁰ GeoNetwork est accessible sur: <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.search>



Zones protégées africaines.

Application potentielle pour une analyse WISDOM:

MODULE D'OFFRE: indices d'accessibilité.

Catégorie ISO Topic	Biote.
Mots clés thématiques	Biote, FORETS PROTÉGÉES, RESERVES NATURELLES, CONSERVATION DE L'ENVIRONNEMENT, RESERVES FORESTIERES.
Mot clé géographique	Afrique.
Date de publication	1990
Résumé décrivant la série de données	Zones qualifiées pour l'intégration dans les catégories I-VIII à gérer par l'Union de la conservation mondiale, préparé par le Centre mondial de surveillance de la conservation (WCMC), Cambridge, Royaume-Uni.
Contact technique	Nom: FAOGIS Unité: SDRN Nom de l'organisation: FAO-NU
Echelle	1:5 000 000
Commentaire sur la qualité de la carte	Bonne. Veuillez noter que quelques zones de conservation sont très restreintes et qu'il est donc difficile de les visualiser sur une carte statique GIF.

Distribution de la population

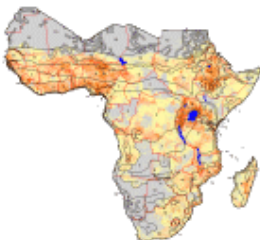


Densité de population pour l'Afrique.

Application potentielle pour une analyse WISDOM:

MODULE DE DEMANDE.

Catégorie Iso Topic	Société.
Mots clés thématiques	Société, DISTRIBUTION DE LA POPULATION, DENSITE DE POPULATION.
Mot clé géographique	Afrique.
Date de publication	1996
Résumé décrivant la série de données	Estimation de la densité de population par km2.
Contact technique	Nom: Freddy Nachtergaele Unité: AGLL Nom de l'organisation: FAO-NU
Commentaire sur la qualité de la carte	Bonne, d'importance historique.



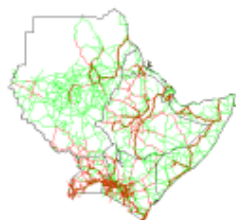
Population rurale de l'Afrique subsaharienne.

Application potentielle pour une analyse WISDOM:

MODULE DE DEMANDE.

Catégorie ISO Topic	Société.
Mots clés thématiques	Etude d'ensemble du système d'exploitation, STRUCTURE DE LA POPULATION, Société, Afrique subsaharienne.
Mot clé géographique	Afrique.
Date de publication	2001
Date de départ	2001
Date de fin	
Résumé décrivant la série de données	La Banque mondiale a, parmi les éléments de sa stratégie pour le développement rural, recherché la contribution de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) afin d'évaluer comment les systèmes d'exploitation peuvent évoluer et s'adapter sur les trente prochaines années. Entre les différents objectifs assignés, la Banque mondiale a demandé à la FAO de fournir des directives sur les priorités d'investissement relatives à la sécurité alimentaire, la réduction de la pauvreté, et la croissance économique, et en particulier d'identifier les approches et technologies prometteuses qui contribueront à ces objectifs. Les résultats de l'étude sont résumés dans une série de sept documents, comprenant six rapports régionaux et une vision d'ensemble contenue dans ce volume. Ce document qui résume les résultats de six analyses régionales et aborde les tendances globales, les aspects transversaux et les modalités de mise en œuvre possibles, présente une vue d'ensemble de l'étude complète. Ce document est étayé par deux rapports d'études de cas sur l'importance du développement des systèmes d'exploitation globaux.
Autres informations	Les informations proviennent de la base de données de 1998 sur la population mondiale du Projet de télédétection terrestre du Laboratoire national d'Oak Ridge (LandScan Global Population). Les estimations de la population rurale ont été obtenues en soustrayant les zones de population urbaine. Les cellules du tableau sur les zones d'implantations et en partie habitées ont été retirées des séries de données sur la couverture terrestre ainsi que les figures de densité de population (limitées) pour produire un résultat net qui équivaut à la population rurale connue. Les séries de données matricielles ont été intégrées dans un type de dossier matriciel ASCII.
Objectif	Les systèmes d'exploitation présentés dans cette étude sont considérés fournir un bon cadre pour classer les actions de développement et les investissements selon les priorités pour accélérer le développement de l'agriculture et spécialement réduire la pauvreté rurale et la faim.
Contact technique	Nom: FAOGIS Unité: SDRN Nom de l'organisation: FAO-NU

Infrastructures



Les routes en Afrique du nord-est.

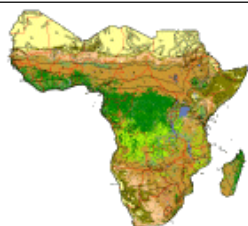
Application potentielle pour une analyse WISDOM:

MODULE D'OFFRE: indice d'accessibilité.

Catégorie ISO Topic	Transport.
Mots clés thématiques	Transport, ROUTES, TRANSPORT PAR ROUTE, INFRASTRUCTURE, Afrique du nord-est, Corne de l'Afrique.
Mots clés géographiques	Afrique.
Date de publication	1994
Résumé décrivant la série de données	Routes à Djibouti, en Erythrée, Ethiopie, Kenya, Somalie, Soudan et Ouganda.

Objectif	Renforcer les procédures de suivi et de prévision des cultures des unités d'alerte régionales et nationales.
Contact technique	Nom: René Gommès Unité: SDRN Nom de l'organisation: FAO-NU
Echelle	1:5 000 000
Edition	Première version.

Couvert végétal, couvert forestier



Couvert végétal de l'ORNL de l'Afrique subsaharienne.

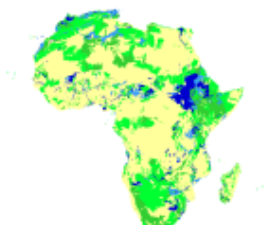
Application potentielle pour une analyse WISDOM:

MODULE D'OFFRE: estimations des stocks de biomasse.

Catégorie ISO Topic	Couverture de la Terre par carte d'imagerie de base (ImageryBaseMapsEarthCover).
Mots clés thématiques	Etude des systèmes d'exploitation mondiaux, UTILISATION DES TERRES, ImageryBaseMapsEarthCover, Afrique subsaharienne.
Mot clé géographique	Afrique.
Date de publication	2001
Date de commencement	2001
Autres informations	Données provenant de la base de données sur la population mondiale de 1998 du Laboratoire national d'Oak Ridge (LandScan Global Population). La base de données de télédétection terrestre est élaborée à partir des données de la base de données de l'étude géologique nord-américaine (USGS) (Global Land Cover Characteristics, GLCC) avec les modifications substantielles suivantes: 1. La base de données de télédétection terrestre (de résolution de 30 secondes d'arc) a été géoréférencée dans une matrice regroupant toutes les données mondiales. La base de données originale GLCC a été réalisée à partir d'une projection Goode Homolosine. 2. Un gros effort a été fourni pour concilier la précision de position des diverses bases de données internationales. Des disparités entre les bases de données se sont davantage fait sentir pour sur les côtes du littoral. Sur la côte sud de la France, par exemple, des erreurs de positionnement se chiffrent à plusieurs kilomètres et celles-ci ont été corrigées. A l'échelle mondiale, la base de données de télédétection terrestre des littoraux est établie à partir du vecteur mondial sur les littoraux du NIMA (World Vector Shoreline, WVS) à une échelle de 1:250 000. Cette ligne de côte diffère un peu de la ligne classique représentant la limite avec la mer des unités administratives et celle-ci diffère aussi de la limite terre/eau indiquées dans la base de données matricielles du GLCC. Dans la base de données finale de télédétection terrestre, la Version 1.1, le WVS est prioritaire, et l'eau est assignée à toutes les cellules s'étendant à plus d'une cellule et demie au-delà du trait de côte WVS. Lorsque la surface terrestre a dû être élargie pour atteindre le littoral WVS, nous avons inséré une 'terre sans classification'. 3. La base de données de télédétection terrestre sur la couverture terrestre contient une classe 'urbaine' bien meilleure. Nous avons remplacé la classe 'urbaine' USGS par deux nouvelles classes: développée et en partie développée. La classe développée est composée par les cellules urbaines du GLCC plus toutes les cellules incluses dans les cercles du Bureau de recensement P-95. Les classes en parties développées proviennent de la télédétection des éclairages nocturnes au niveau mondial et contiennent toutes les cellules ayant une fréquence de valeur de 90% ou plus. La classe 'en partie développée' comprend habituellement les aires suburbaines, les petites villes, et les industries éparses, les aéroports, etc.

Objectif Les systèmes d'exploitation présentés dans cette étude fournissent un bon cadre de classification des actions de développement et des investissements selon les priorités pour accélérer le développement de l'agriculture et spécialement réduire la pauvreté rurale et la faim.

Contact technique Nom: FAOGIS
Unité: SDRN
Nom de l'organisation: FAO-NU



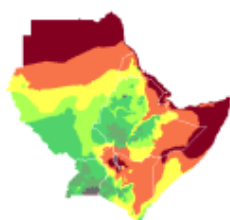
Indice de fertilité des sols pour l'Afrique.

Application potentielle pour une analyse WISDOM:

MODULE D'OFFRE: estimations de productivité de la biomasse.

Catégorie ISO Topic Information géo-scientifique.
Mots clés thématiques FERTILITE DES SOLS, Information géo-scientifique.
Mot clé géographique Afrique.
Date de publication 1997
Résumé décrivant la série de données Carte des sols mondiale interprétée en termes de séries de données sur la fertilité des sols de la FAO/UNESCO
Contact technique Nom: Freddy Nachtergaele
Unité: AGLL
Nom de l'organisation: FAO-NU

Echelle 1:5 000 000



Durée de la période de croissance en Afrique du nord-est.

MODULE D'OFFRE: estimations de la productivité de la biomasse.

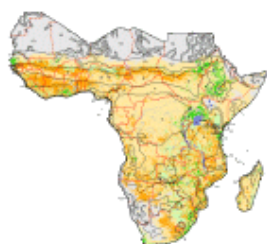
Catégorie ISO Topic Agriculture.
Mots clés thématiques Agriculture, Corne de l'Afrique, CULTURES, CLIMAT, Afrique du nord-est.
Mot clé géographique Afrique.
Date de publication 1994
Résumé décrivant la série de données Durée de la période de croissance à Djibouti, Erythrée, Ethiopie, Kenya, Somalie, Soudan et Ouganda.
Autres informations Pour planifier et assurer la compatibilité avec les autres données de base (comme les statistiques démographiques et agricoles), l'information est présentée selon les unités géographiques qui respectent largement les limites administratives. La région a donc été sous-divisée en 1 220 unités cartographiques homogènes qui correspondent aux unités administratives ou en subdivisions de celles-ci lorsqu'il existe des forts gradients écologiques. Ces unités cartographiques constituent les éléments de base présentés dans cette carte.

Objectif Renforcer les procédures de suivi et de prévision des cultures des unités d'alerte régionales et nationales.

Contact technique Nom: René Gommès
Unité: SDRN
Nom de l'organisation: FAO-NU

Echelle 1:5 000 000

Edition Première version.

**Cultures permanentes et terres arables en Afrique subsaharienne.****Application potentielle pour une analyse WISDOM:****MODULE D'OFFRE: Estimations de la productivité du bois de feu.**

Catégorie ISO Topic	Exploitation agricole.
Mots clés thématiques	ETUDE INTERNATIONALE DES SYSTEMES D'EXPLOITATION, TERRE ARABLE, CULTURES, Exploitation agricole, Afrique subsaharienne.
Mot clé géographique	Afrique.
Date de publication	2001
Autres informations	Elaboré à partir des données du CGIAR obtenues au Centre de données du Système d'observation des ressources terrestres EROS (USGS) en 1998, de résolution 1 km, qui est une base de données sur le couvert végétal mondial, la version 1.2 dont les données NDVI sont mensuelles (allant d'avril 1992 à mars 1993). Les terres agricoles comprennent les cultures irriguées et pluviales sèches, les pâturages aménagés, les vergers, les vignobles et les plantations. Les terres dont la végétation est réduite comprennent les déserts, les semi-déserts et la toundra. Les séries de données matricielles ont été intégrées dans un type de dossier matriciel ASCII.
Objectif	Les systèmes d'exploitation présentés dans cette étude sont considérés fournir un bon cadre pour classer les actions de développement et les investissements selon les priorités pour accélérer le développement de l'agriculture et spécialement réduire la pauvreté rurale et la faim.
Contact technique	Nom: FAOGIS Unité: SDRN Nom de l'organisation: FAO-NU
Edition	Première version.