

# Utilisation d'un S.I.G. pour la gestion des ressources forestières : exemple d'application à un inventaire forestier régional

par

P. LEJEUNE (\*), H. LECOMTE (\*\*), H. PREVOT (\*\*\*)

## Résumé

Le développement des Systèmes d'Information Géographiques (S.I.G.) ouvre de nouvelles perspectives dans le domaine de l'estimation des ressources forestières par voie d'inventaires, dont l'objectif principal est de déterminer les surfaces et les volumes sur pied par types de peuplement au sein d'une région donnée.

La technique d'estimation des surfaces par comptage de points, classiquement utilisée dans le cas d'échantillonnages systématiques, peut être avantageusement remplacée par la création, au sein d'un S.I.G., d'une carte numérique des peuplements forestiers, pouvant être reliée avec les données de l'inventaire au sol.

Une méthodologie est proposée pour produire une telle carte au départ de photos aériennes infrarouges couleurs au 1/25 000. Le traitement de l'information géographique est réalisé à l'aide du logiciel ILWIS.

La méthode a été testée sur une zone pilote de 20 000 ha de forêt. Le taux d'erreurs d'interprétation du type de peuplement est de l'ordre de 15 %. Il est inférieur à 6 % si l'on ne considère que les confusions portant sur les essences présentes.

La combinaison de cette carte avec la couche contenant les placettes de l'inventaire a permis d'estimer l'ensemble des volumes sur pied par types de peuplement.

Mots-clés : Système d'Information Géographique (S.I.G.), inventaire forestier, photographie aérienne.

---

(\*) Unité de Gestion et Economie Forestières. Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux. Passage des Déportés, 2. B-5030 GEMBLoux (Belgique).

(\*\*) Projet de recherche «Inventaire forestier wallon». Unité de Gestion et Economie Forestières. Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux. Passage des Déportés, 2. B-5030 GEMBLoux (Belgique).

(\*\*\*) Unité de Statistique et d'Informatique. Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux. Passage des Déportés, 2. B-5030 GEMBLoux (Belgique).

## 1. Introduction

Protéger et gérer rationnellement les ressources naturelles en général et forestières en particulier, apparaît au niveau mondial comme un défi majeur pour les années à venir.

L'estimation des ressources, au niveau d'une région ou d'un pays, est le préalable à toute politique forestière digne de ce nom. Dans cette optique, l'inventaire forestier par échantillonnage constitue un outil fondamental permettant la connaissance de données quantitatives relatives à ces ressources [BRENAC, 1980].

On assiste depuis le milieu des années 80 à une explosion du marché des Systèmes d'Information Géographiques (S.I.G.) dans de nombreux domaines dont celui de la gestion des ressources forestières [DANGERMOND, 1991]. Les forestiers ont été attirés très tôt par les potentialités offertes par les S.I.G. La possibilité de gérer et de combiner les nombreuses sources d'informations nécessaires à leurs prises de décisions, sous forme de couches cartographiques superposables à souhait (Figure 1), avait de quoi en séduire plus d'un [de STEIGUER, GILES, 1981].

Avec un peu de recul, il apparaît cependant que les énormes possibilités offertes par ces techniques ont été jusqu'ici fort peu utilisées, et que l'appellation S.I.G. est employée dans beaucoup d'applications de manière abusive [MOLENAAR, 1992]. Ainsi, la cartographie assistée par ordinateur, bien que très intéressante pour le forestier ou le gestionnaire de l'environnement, reste souvent la seule composante véritablement exploitée dans la panoplie des techniques présentes dans les S.I.G. Cette prépondérance des applications purement cartographiques se marque également si l'on étudie les possibilités offertes par les logiciels proposés sur le marché [PARKER, 1989].

L'analyse spatiale, qui peut s'avérer très intéressante par exemple dans les problèmes de mobilisation des ressources forestières [BRINKER, JACKSON, 1991 ; FISHER, NIJKAMP, 1992], de même que la modélisation et l'application des modèles créés [GROSSMANN, EBERHARDT, 1992] constituent sans aucun doute les véritables créneaux d'utilisation de ces techniques géomatiques.

L'objectif de cet article est de présenter un exemple d'intégration des données d'un inventaire forestier régional dans un S.I.G., en mettant l'accent sur la liaison de l'inventaire proprement dit (données ponctuelles) avec une cartographie des peuplements (données surfaciques) basée sur des photographies aériennes.

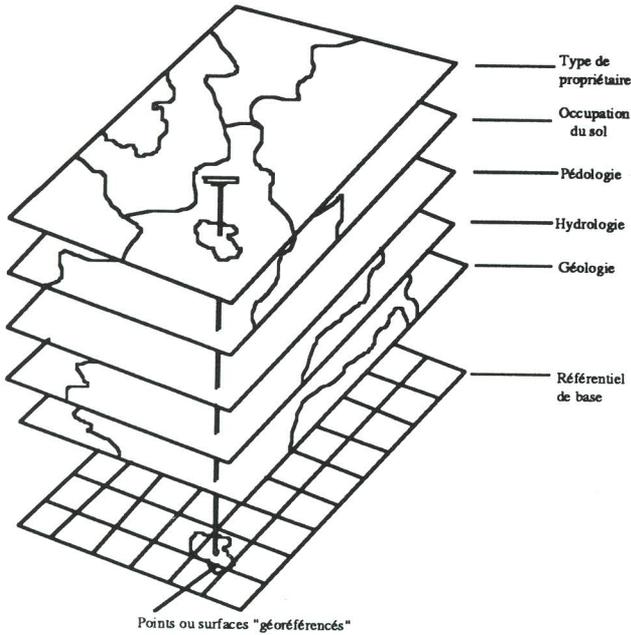


Figure 1. — Représentation schématique du concept de superposition des couches d'informations au sein d'un S.I.G. (d'après de STEIGUER, GILES, 1981).  
*Schematic representation of the concept of overlaying information layers in a G.I.S. (Geographic Information System).*

## 2. Les inventaires forestiers nationaux

Les inventaires forestiers nationaux ont pour objectif premier de produire une image aussi précise que possible de l'état des ressources forestières d'un pays ou d'une région. Les principaux renseignements fournis ont trait aux surfaces occupées par types de peuplements, ainsi qu'aux volumes de bois présents sur ces surfaces [LECOMTE, RONDEUX, 1992].

Les méthodes de travail mises en oeuvre reposent essentiellement sur une phase de collecte de données au sol. Celle-ci relève le plus souvent de l'échantillonnage de type systématique, stratifié ou non, au cours duquel une portion infime mais répartie sur l'ensemble du territoire boisé est visitée et fait l'objet d'une prise de mesures sur les arbres présents (grosesseur, hauteur, forme, etc.).

Lors du traitement des données, on distinguera d'une part le calcul

des valeurs moyennes des différentes variables dendrométriques (volume par ha, nombre de tiges par ha, circonférence moyenne, hauteur dominante, etc.) ainsi que des erreurs d'échantillonnage qui s'y rapportent, et d'autre part l'estimation des surfaces occupées par les différents types de peuplements. Dans le cas d'un inventaire systématique par échantillonnage et en l'absence d'une cartographie des massifs forestiers, cette dernière estimation relève du comptage de points. La précision escomptée est essentiellement liée au nombre de points ainsi qu'au morcellement des surfaces à estimer [BOUCHON, TOMIMURA, 1979 ; GOODCHILD, 1980]. Ainsi l'estimation des surfaces pour des zones de référence plus petites que la région tout entière (commune, cantonnement) peut se révéler hasardeuse. En outre le comptage de points engendre certains problèmes au niveau de la mise en place des unités d'échantillonnage (placettes à cheval sur différents peuplements) et du traitement des données qui en résulte.

Si la constitution, au départ d'un S.I.G., d'une cartographie des peuplements est chose courante dans le cadre d'inventaires forestiers de gestion [SHEFFIELD, ROYER, 1989], cette démarche est beaucoup moins fréquente au niveau des inventaires à grande échelle. Bien que la création d'un tel document requière une quantité importante de travail, elle présente cependant un double avantage : elle permet de définir spatialement la mosaïque forestière et fournit une estimation précise des surfaces occupées par types de peuplements, quelle que soit la superficie totale considérée.

En outre, l'élaboration de cette carte au sein d'une base de données informatisée permet par la suite de simplifier les opérations de mise à jour. Elle ouvre également la voie à une utilisation conjointe de cette carte avec d'autres « couches » à introduire dans le S.I.G. (cartes topographiques et pédologiques notamment).

L'exemple que nous allons présenter dans cet article a été développé dans le cadre d'un programme visant à mettre au point une méthodologie pour un inventaire permanent des ressources forestières de la Wallonie [RONDEUX, 1991].

### 3. Cartographie des peuplements forestiers

#### 3.1. CHOIX DES SOURCES D'INFORMATIONS

Plusieurs sources d'informations peuvent être utilisées pour mener à bien une cartographie des massifs forestiers d'une région. Les données de type satellitaire sont les principales à être utilisées pour cartographier des zones forestières très étendues, comme par exemple au Canada [LECKIE,

1990]. Les principaux avantages de ce support d'informations sont le faible coût par unité de surface [BONNOR, 1982], ainsi qu'une fréquence relativement élevée des prises de données successives [SIURTAINE *et al.*, 1989]. Malheureusement, pour des forêts telles que les nôtres, présentant un morcellement important ainsi qu'une proportion élevée de peuplements mélangés, l'utilisation de l'information satellitaire (même multispectrale et/ou multitemporelle) ne permet pas, compte tenu des niveaux de résolution actuellement proposés, de produire une cartographie forestière d'une précision acceptable.

La photographie aérienne fournit une gamme variée de produits allant des plus simples (photos en noir et blanc) aux plus sophistiqués (orthophotoplans infrarouges couleurs). Si l'on se place dans le contexte d'un inventaire forestier d'une région telle que la Wallonie (superficie boisée avoisinant les 500 000 ha), les photos infrarouges couleurs à l'échelle du 1/25 000 semblent constituer un bon compromis entre le coût par unité de surface, très élevé pour les orthophotoplans, et la qualité de l'information fournie dans la perspective d'une cartographie des peuplements. L'émulsion infrarouge facilite grandement l'identification des essences et l'observation en stéréoscopie renforce la qualité de l'interprétation.

### 3.2. MODALITES DE CONSTRUCTION D'UNE CARTE DES PEUPELEMENTS FORESTIERS

Dans l'exemple que nous présentons, le logiciel ILWIS [ITC, 1990] a été utilisé pour produire une carte des peuplements sur une zone-pilote comportant environ 20 000 ha de forêts et située à cheval sur les cantonnements forestiers de Saint-Hubert et de Nassogne [PREVOT, 1991]. Un inventaire par échantillonnage, ayant un but essentiellement méthodologique [RONDEUX, 1991], a couvert les forêts de la zone gérées par le service forestier (soit environ 11 000 ha) sur base d'une maille rectangulaire de 500 x 1 000 m, ce qui correspond à une placette par 50 ha de bois.

D'une manière générale, on peut résumer la constitution d'une carte des peuplements forestiers en quatre grandes étapes :

- la saisie des contours,
- l'interprétation et l'identification des types de peuplements,
- les corrections géométriques,
- le contrôle au sol de l'interprétation.

### 3.2.1. Numérisation des contours

La numérisation des contours a été réalisée en mode vectoriel sur table à digitaliser. Les éléments du réseau routier ainsi que les limites de zones jugées homogènes par l'opérateur ont été numérisées directement sur les photos. Chaque photo a donné lieu à un document indépendant.

### 3.2.2. Interprétation et identification des types de peuplements

L'interprétation des photos sous stéréoscope à miroir a permis la définition de strates auxquelles a été rattachée chaque portion des photos analysées. Cette stratification s'est basée sur la combinaison de trois critères : hauteur relative, couleur et texture du toit du peuplement [QUESTIENNE *et al.*, 1982]. Les polygones définis sur les photos numérisées vectoriellement ont reçu un code définissant le type d'occupation qu'ils représentent.

### 3.2.3. Corrections géométriques

Les photos aériennes, n'ayant aucune valeur planimétrique, nécessitent une correction géométrique avant l'intégration de leur contenu dans la carte finale. Après une conversion en mode «raster» des polygones définissant l'occupation du sol, une rectification polynomiale a été appliquée à chacune des photos, en utilisant un certain nombre de points de calage de coordonnées connues et identifiés sur les photos [RICHARDS, 1986].

L'ensemble des prises de vue ainsi «redressées» a été intégré dans la carte finale qui est produite en format «raster». Compte tenu de la surface couverte et des limitations inhérentes à la configuration du micro-ordinateur utilisé, une résolution de 10 m a été retenue pour ce document.

Pour obtenir la ventilation des surfaces par types de peuplements pour les forêts publiques, un masque définissant l'implantation de ces dernières a été appliqué au document final. Ce masque résulte d'une seconde couche définissant le type de propriétaire des zones boisées. Une fonction statistique intégrée au logiciel a permis de calculer les surfaces couvertes par chaque strate au sein de la forêt publique (Tableau I).

### 3.2.4. Contrôle de la photo-interprétation

La phase de contrôle au sol de la classification a fait appel aux placettes relevant de l'inventaire systématique couvrant la zone-pilote (220

placettes), ainsi qu'à une série de 99 autres placettes installées de manière aléatoire dans les peuplements résineux très peu représentés dans l'échantillon systématique. Ces données ont été complétées par l'identification sur le terrain de 126 unités délimitées sur les photos. La confrontation des codes de strates avec le type de peuplement réellement observé fait apparaître, pour ces 445 «points de contrôles», une proportion d'erreurs d'interprétation d'environ 15%. Si l'on ne retient que les erreurs grossières de classification (confusion entre essences, entre résineux et feuillus), le taux d'erreur passe de 15% à moins de 6%. Les interprétations erronées se rencontrent principalement dans le cas de peuplements présentant un mélange d'essences (mélanges résineux ou feuillus/résineux).

### 3.3. COMBINAISON DES DONNEES DE L'INVENTAIRE AVEC LA CARTE DES PEUPELEMENTS

La détermination du volume de bois sur pied pour chaque strate résulte de la combinaison des volumes moyens par ha et des surfaces occupées par les différentes strates. Cette donnée n'a de sens que pour les strates contenant au moins une placette et pour lesquelles le calcul d'un volume de bois sur pied se justifie. Le tableau I reprend, pour chaque type de peuplement, le nombre de placettes installées, ainsi que le volume sur pied moyen observé. Les surfaces estimées par les deux méthodes (cartographie et comptage de placettes) y sont comparées, ainsi que les volumes totaux résultant du produit des volumes moyens par les surfaces.

Si l'on fait abstraction des déformations géométriques subsistant dans la carte finale, et que l'on compare les surfaces qui en résultent avec les estimations par comptage de points (utilisation des placettes), on se rend compte que cette dernière méthode n'est fiable que pour l'estimation de surfaces importantes. Ainsi la superficie de l'ensemble de la zone boisée et celle de la hêtraie sont estimées avec des erreurs relatives respectivement égales à +0,7% et -0,4%. Par contre, l'estimation par comptage de points des surfaces des strates moins étendues peut être entachée d'erreurs considérables (jusqu'à près de 300%).

Si la plus grande précision de l'estimation des surfaces par voie cartographique ne fait aucun doute, le problème de l'incidence des déformations géométriques non corrigées ne doit cependant pas être oublié, surtout dans le cas de zones au relief relativement accidenté [BOLSTAD, 1992]. Une étude spécifique permettrait d'évaluer l'impact de ces distorsions sur la précision des surfaces résultant de la carte produite au départ des photos aériennes.

Tableau I. — Description des types de peuplements : nombre de placettes, volume moyen par ha, surface et volume totaux estimés par cartographie et par comptage de points, erreur relative liée au comptage de points.  
*Description of stand types : number of plots, mean volume per hectare, total area and volume estimated by mapping and dot grid, relative error of dot grid method.*

DESCRIPTION DES STRATES (types de peuplements)	NOMBRE DE PLACETTES	VOLUME MOYEN (m <sup>3</sup> /ha)		SURFACE (ha)		VOLUME TOTAL (m <sup>3</sup> )		ERREUR RELATIVE (%)
		carte	placettes	carte	placettes	carte	placettes	
Jeunes plantations à base d'épicéa commun	8,5	-	425	147,4	425	-	-	+288,3
Jeunes pessières (10-30 ans)	12	-	600	638,1	600	-	-	-6,0
Pessières d'âge moyen (30-60 ans)	18	452,6	900	923,7	900	418 067	407 340	-2,6
Vieilles pessières (+ de 60 ans)	20	459,2	1 000	1 643,3	1 000	754 603	459 200	-39,1
Mélèzières	5	329,0	250	183,0	250	60 207	82 250	+36,6
Douglasières	0	-	0	2,1	0	-	-	-
Pineraies	10	329,0	500	319,9	500	105 247	164 500	+56,3
Mélanges résineux	2	-	100	109,8	100	-	-	+8,9
Mélanges résineux/feuillus	14	273,3	700	428,7	700	117 164	191 310	+63,3
Futaies feuillues à base de hêtre	90	287,8	4 500	4 517,3	4 500	1 300 079	1 295 101	-0,4
Futaies feuillues mélangées	21,5	216,9	1 075	1 186,5	1 075	257 352	233 167	-9,4
Jeunes plantations de hêtre	0	-	0	3,1	0	-	-	-
Boulaies	0	-	0	37,4	0	-	-	-
Coupes rases	19	-	950	782,0	950	-	-	+21,5
TOTAL	220		11 000	10 922,3	11 000			+0,7

### 3.4. AMELIORATION DE LA METHODE DE CONSTRUCTION DE LA CARTE DES PEUPELEMENTS

La méthode utilisée pour construire la carte des peuplements telle que présentée au point 3.2. est fortement tributaire des possibilités offertes par le logiciel utilisé. L'inconvénient majeur du processus qui vient d'être décrit est la présentation en format «raster» du document final. Celle-ci impose d'adopter un compromis entre le niveau de résolution choisi et l'espace mémoire nécessaire au stockage du document numérique. En outre, l'ensemble de l'information topologique pouvant être extraite du document vectoriel est absente en représentation matricielle, ce qui constitue une limitation importante dans les possibilités d'exploitation du système [MOLENAAR, 1992].

La saisie des contours sur documents cartographiques ou photographiques reste une opération essentiellement manuelle, malgré de nombreuses tentatives d'automatisation [GOODCHILD, 1992]. L'évolution constante des logiciels ouvre cependant de nouvelles possibilités dans le domaine de la saisie manuelle d'informations sur ce type de documents. Une amélioration intéressante consiste à afficher l'image «scannée» d'un document et à saisir l'information directement sur l'écran graphique («backdrop digitizing»).

Cette possibilité permet de modifier considérablement la manière de construire la carte des peuplements (Figure 2). Les photographies sont passées au scanner et le document qui en résulte est corrigé géométriquement. La carte topographique de base peut être utilisée pour digitaliser le réseau routier et créer ainsi l'ossature de la carte des peuplements. Celle-ci est alors habillée en la superposant aux différentes photographies «corrigées» et en saisissant les contours de peuplements identifiés par l'opérateur.

## 4. Conclusions

La réalisation d'un inventaire forestier implique la gestion et le traitement d'une quantité considérable d'informations ayant presque toujours une référence spatiale. A ce titre, les S.I.G. constituent un moyen nouveau d'aborder le traitement et l'exploitation de ces données.

L'intérêt de l'application qui est présentée tient au fait que le S.I.G. est utilisé, au travers de la carte des peuplements, principalement dans le but d'améliorer la précision des résultats de l'inventaire. Cette amélioration est d'autant plus marquée que les résultats attendus concernent des zones de faible étendue ou qu'ils se rapportent à des types de peuplements peu répandus.

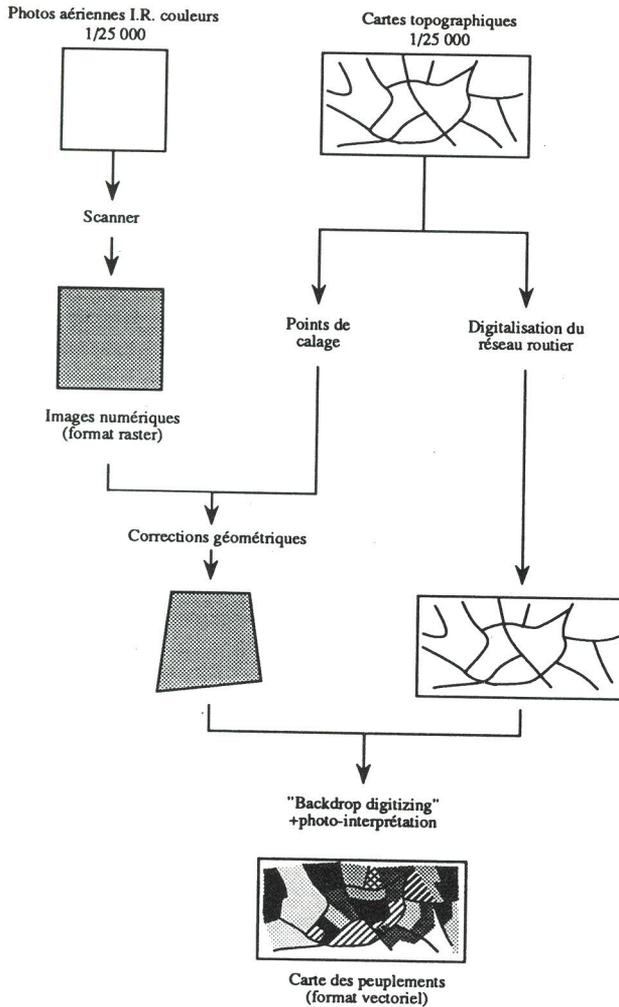


Figure 2. — Schéma de production de la carte des peuplements en format vectoriel.  
*Diagram of stand map production in vector format.*

Nous avons présenté une méthode de cartographie des peuplements basée sur l'utilisation de photographies aériennes infrarouges couleurs. Une amélioration du processus de construction peut être obtenue si l'on «scanne» les photos et que l'on digitalise directement les contours à l'écran («backdrop digitizing»). Le document final est alors de type vectoriel et non plus matriciel comme c'est le cas actuellement.

Les possibilités d'exploitation et de valorisation des résultats de l'inventaire au travers des fonctionnalités du S.I.G. sont nombreuses et leur évocation n'entre pas dans le cadre de cet article. Il convient cependant de préciser que la combinaison éventuelle de la carte des peuplements avec d'autres couches d'informations renforcera la nécessité d'une maîtrise de la précision géométrique des documents de base utilisés pour établir cette carte des peuplements.

### Summary

*Use of G.I.S. in forest resources management :  
example of application to a regional forest inventory*

The development of a Geographic Information System (G.I.S.) leads to new prospects in the field of broad-scale forest inventory, the main objective being to estimate areas and growing stock for the different stand types in a given region.

The dot grid method typically used to estimate the areas in the case of systematic sampling, can be advantageously replaced by the creation within a G.I.S., of a stand map, that can be overlaid with data issued from the inventory.

A methodology is proposed, to produce such a map using color infrared aerial photos at a scale of 1:25,000. Geographical data are processed using ILWIS software.

The method has been tested on a 200 km<sup>2</sup> forest area. The error rate for interpretation of stand types is less than 6% if one considers the confusions between species.

The crossing of this stand map with the sample plots layer provides an estimation of the growing stock per stand type.

Key-words : G.I.S., forest inventory, aerial photo.

### Bibliographie

- BOLSTAD P.V. [1992]. Geometric errors in natural resource GIS data : tilt and terrain effects in aerial photographs. *Forest Sci.* 38 (2), 367-380.
- BONNOR G.M. [1982]. Forest inventories in Canada. *For. Abstr.* 43 (4), 200-211.
- BOUCHON J., TOMIMURA S. [1979]. Comparaison des mesures de surfaces par comptage de points. *Ann. Sci. For.* 36 (4), 321-330.
- BRENAC L. [1980]. Les inventaires forestiers régionaux et nationaux d'après la réunion internationale IUFRO de juin 1978 à Bucarest. *Rev. For. Fr.* 32 (1), 12-33.
- BRINKER R.W., JACKSON B.D. [1991]. Using a geographic information system to study a regional wood procurement problem. *Forest Sci.* 37 (6), 1614-1631.
- DANGERMOND J. [1991]. Where is the technology leading us ? *For. Chron.* 67 (6), 599-602.
- DE STEIGUER J.E., GILES R.H. Jr. [1981]. Introduction to computerized land-information systems. *J. For.* 79 (11), 734-737.

- FISCHER M.M., NIJKAMP P. [1992]. Geographic information systems and spatial analysis. *Ann. Reg. Sci.* 26 (1), 3-17.
- GOODCHILD M.F. [1980]. Fractals and the accuracy of geographical measures. *Math. Geol.* 12 (2), 85-98.
- GOODCHILD M.F. [1992]. Geographical information science. *Int. J. Geogr. Inf. Syst.* 6 (1), 34-45.
- GROSSMANN W.D., EBERHARDT S. [1992]. Geographical information systems and dynamic modelling - Potentials of a new approach. *Ann. Reg. Sci.* 26 (1), 53-66.
- ITC [1990]. Integrated Land and Watershed Management Information System. Version 1.2. User's manual. Computer Department ITC. International Institute for Aerospace Survey and Earth Science, Enschede, The Netherlands, 218 p.
- LECKIE D.G. [1990]. Advances in remote sensing technologies for forest surveys and management. *J. Can. Rech. For.* 20 (4), 464-483.
- LECOMTE H., RONDEUX J. [1992]. Les inventaires forestiers nationaux en Europe : Tentative de synthèse. *Cah. For. Gembloux*, n°5, 35 p.
- MOLENAAR M. [1992]. Status and problems of geographical information systems. The necessity of a geoinformation theory. *J. Photogramm. Remote Sensing* 46 (1), 85-103.
- PARKER H.D. [1989]. GIS Software 1989 : a survey and commentary. *Photogramm. Eng. Remote Sensing* 55 (11), 1589-1591.
- PREVOT H. [1991]. Applications particulières de l'échantillonnage stratifié dans le cadre d'un inventaire forestier régional. *Mém. Fin Etud., Fac. Sci. Agron. Gembloux, Belgique*, 100 p. + ann.
- QUESTIENNE Ph., FAGOT J., LECOMTE H., RONDEUX J., TOUSSAINT A. [1982]. Inventaire des ressources forestières wallonnes - Essai de reconnaissance des peuplements forestiers au moyen de la photographie aérienne en infrarouge couleur. *Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique*, 22 p.
- RICHARDS J.A. [1986]. Remote sensing digital image analysis - an introduction. Springer, Berlin, Germany, 281 p.
- RONDEUX J. [1991]. Inventaire des Ressources forestières wallonnes. Rapport final. *Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique*, 101 p.
- SHEFFIELD R.M., ROYER L.A. [1989]. GIS - A broad-scale inventory perspective. *In : Forestry on the frontier. Proc. Soc. Am. For. Natl Conv., Spokane, Wash., Sept. 24-27 1989. Society of American Foresters, Bethesda, MD, USA*, 38-42.
- SIURTAİN M.P., JOYCE P.M., Mc CORMICK N.L.M., KIRWAN S., COLLINS A.P. [1989]. New forest management opportunities with remote sensing and integrated geographic information systems. *In : New technologies in Forest Management Planning : Remote sensing Integrated Data Bases - Geographic Information Systems. Proc. IUFRO S4.04 Symp., Luxembourg, Luxembourg, 18-22 Sept. 1989.*