

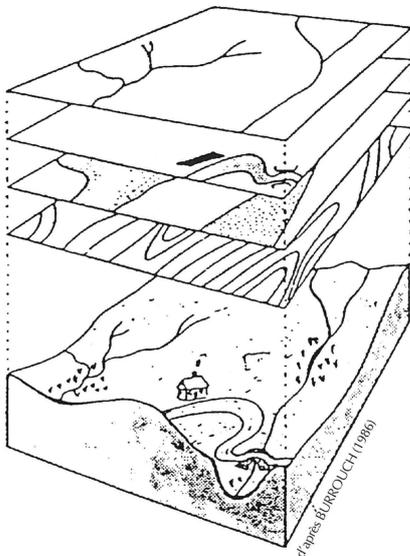
VINCENT FREYCON
CIRAD-Forêt

JEAN-PAUL LACLAU
CIRAD-Forêt

CHRISTELLE BERNARD
CIRAD-Forêt

NICOLAS FAUVET
CIRAD-Forêt

LES S.I.G. appliqués à la forêt



L'information géographique est représentée classiquement par des cartes générales (cartes topographiques) ou spécifiques (cartes thématiques, par exemple : géologiques).

Les cartes traditionnelles élaborées sur support papier par des professionnels (les cartographes) présentent quelques inconvénients, identifiés notamment par DIDON (1990). Retenons que la fabrication d'une carte est longue et coûteuse, et ce pour obtenir un document figé. La quantité d'informations contenue sur une carte est limitée pour des raisons de lisibilité. Enfin, il est difficile d'effectuer une analyse nécessitant plusieurs cartes différentes (référentiel, thématique, échelle...).

L'élaboration traditionnelle d'une carte n'est alors pas adaptée aux besoins actuels des utilisateurs obtenion dans des délais courts de cartes réactualisées et spécifiques.

Les Systèmes d'Information Géographique (ou S.I.G.) semblent pouvoir répondre entre autres à ces besoins.

Cette note donne un aperçu de l'intérêt et des limites des S.I.G. à travers quelques applications forestières réalisées au CIRAD-Forêt.

DÉFINITION ET COMPOSANTES D'UN S.I.G.

La Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection (1989) définit un S.I.G. comme étant un « système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace ».

Développons cette définition en présentant les différentes composantes qu'un S.I.G. complet doit intégrer qui, récapitulées dans la figure 1, p. 64, sont les suivantes :

La base de données géographiques

C'est le cœur du système constitué en fait de deux éléments :

- la base de données spatiales (ou graphiques) qui décrit les objets dans l'espace (forme, position),
- la base de données thématiques (ou attributaires) qui décrit les caractéristiques de ces objets (exemple : diamètre d'un arbre).

Le système de saisie numérique

Il permet par un processus manuel (digitalisation) de convertir l'information analogique d'une carte sous la forme numérique.

□ **Le système de représentation cartographique**

Il permet d'éditer des cartes sur écran ou imprimante.

□ **Le système de gestion de base de données (S.G.D.B.)**

Souvent relationnel, il permet la gestion des données attributaires rattachées aux objets géographiques notamment l'extraction des données grâce à des requêtes.

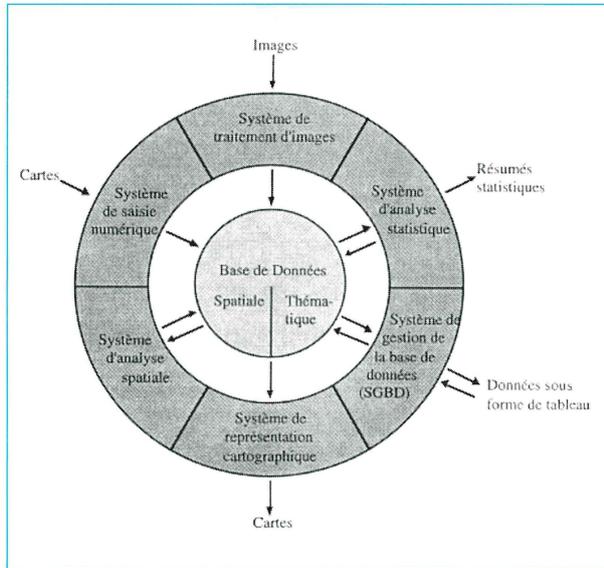


Figure 1. Les différentes composantes d'un S.I.G. in : EASTMAN (1992).
The different components of a GIS in : EASTMAN (1992).

□ **Le système d'analyse spatiale**

Cette composante constitue la véritable originalité et spécificité d'un S.I.G., puisqu'elle permet une analyse des données basée sur leurs caractéristiques spatiales (localisation et/ou relations de voisinage), grâce à une extension des capacités d'interrogation des S.G.B.D. traditionnels.

Ces requêtes permettent d'accéder aux données mais aussi d'enrichir la base de données à l'aide des résultats de l'analyse spatiale.

□ **Le système de traitement d'images**

□ **Le système d'analyse statistique**

Rares sont les S.I.G. qui possèdent la panoplie complète de ces composantes. Toutefois, il est admis qu'un logiciel sera appelé S.I.G. s'il possède les cinq premières composantes.

MODE DE REPRÉSENTATION DES DONNÉES SPATIALES

On ne peut parler des S.I.G. sans développer même succinctement le mode de représentation des données spatiales :

- Dans un grand nombre de S.I.G., le monde réel est modélisé sous la forme de différentes couches d'information, chacune étant spécifique d'un thème (exemples : réseau hydrographique, sols, villages, routes). Ce concept, similaire aux calques des cartographes, permet de recombinaison ou de superposer ces différentes couches, appelées aussi couvertures.

- Il existe au sein des S.I.G. deux grands modes de représentation des objets spatiaux : le mode raster et le mode vecteur (cf. fig. 2).

□ **Dans le mode raster** (ou matriciel), l'espace est divisé régulièrement sous forme de cellules (ou pixels) de taille et de forme identiques. Chaque cellule est référencée en ligne et en colonne et contient une valeur numérique. Ce mode de représentation est fortement lié à la notion d'image.

□ **Le mode vecteur** est, quant à lui, plus proche de la notion de cartes traditionnelles. Les limites et les formes des objets sont définies par une série de points qui, une fois reliés par des traits, représentent graphiquement cet objet sous la forme de points, d'arcs (ligne) ou de poly-

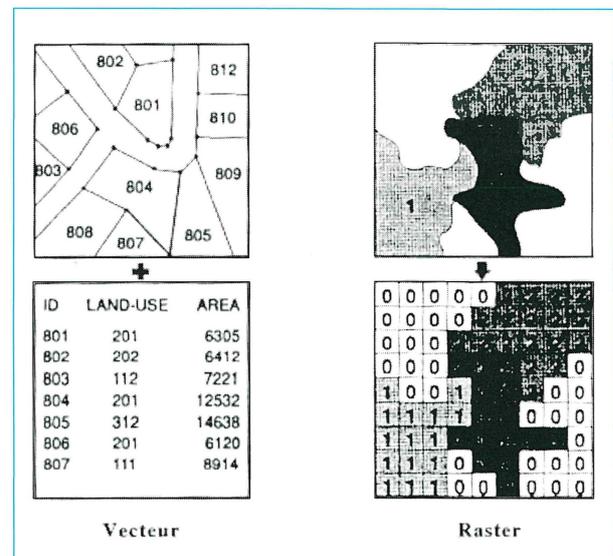


Figure 2. Les modes vecteur et raster in : EASTMAN (1992).
Vector and raster modes in : EASTMAN (1992).



gones (surface). Chaque objet est caractérisé par un identifiant unique et peut alors être relié à ses caractéristiques attributaires.

Etudions à présent comment les S.I.G. ont été une aide pour répondre à trois problématiques issues de la foresterie tropicale :

- compréhension de l'organisation spatiale d'un terroir agroforestier,
- gestion de plantations forestières,
- meilleure connaissance de la ressource d'une forêt naturelle.

LE S.I.G. ET LES PARCS AGROFORESTIERS

LE CONTEXTE

Lorsqu'on s'intéresse à la gestion de l'arbre dans les systèmes agroforestiers à l'échelle d'un terroir villageois, de nombreux facteurs interviennent concernant aussi bien l'analyse du milieu humain que celle du milieu physique.

L'une des approches consiste à visualiser l'organisation spatiale du terroir pour comprendre les relations qui existent entre les éléments composant le paysage et caractériser ainsi la dynamique des systèmes agroforestiers. L'arbre et la parcelle sont les unités élémentaires choisies en vue de l'analyse des pratiques d'exploitation et de la gestion de la composante arborée. L'utilisation du S.I.G. a été expérimenté sur trois sites agroforestiers :

- Les parcs arborés du nord de la Côte-d'Ivoire sur le terroir de Dolékaha (C. BERNARD *et al.*, 1995).
- Les parcs à *Faidherhia albida* au Burkina Faso sur les terroirs de Watinoma et Dossi (D. DEPOMMIER 1996).
- Les parcs à *Prosopis africana* au Nord-Cameroun sur le terroir de Holom.

UTILISATION DU S.I.G.

□ **Une première étape** a été de caractériser les objets géographiques arbres et parcelles, tant du point de vue de leur composante spatiale qu'attributaire, et de les intégrer dans le S.I.G. Ainsi, sur le terrain, le contour des parcelles mises en culture à l'intérieur du terroir villageois est levé. Sur chaque parcelle, les arbres de plus de 22 cm de circonférence sont positionnés.

Ces données sont intégrées sur le logiciel ATLAS-GIS (mode vecteur). Deux couches d'information ont ainsi été créées : une couche de points *arbres* et une couche de polygones *parcelles*.

Parallèlement à l'acquisition de ces données spatiales, des enquêtes sont effectuées auprès des exploitants villageois retraçant l'historique de chaque parcelle, la succession des cultures, les techniques culturales, le nom et l'âge de l'exploitant, ainsi que le foncier. Tous ces résultats constituent une base de données descriptive pour les entités *parcelles*. Des mesures descriptives sont aussi réalisées sur les arbres (espèce, circonférence, état sanitaire...).

Ces tables de données attributaires *parcelles* et *arbres* sont stockées, puis liées aux objets géographiques correspondants.

□ **Une deuxième étape** consiste à réaliser des cartes thématiques en fonction des différents facteurs étudiés :

- carte du parcellaire
 - selon le type de culture et la succession culturale pour déterminer les grands systèmes de culture
 - selon les différents chefs de terre pour mettre en évidence la gestion spatiale des terres sur le terroir
- carte des arbres
 - selon les différentes espèces pour déterminer les grands ensembles de ligneux
 - selon le diamètre pour visualiser la dynamique du parc.

□ Enfin lors de la **troisième étape**, les deux couches d'information *arbres* et *parcelles* ont été combinées.

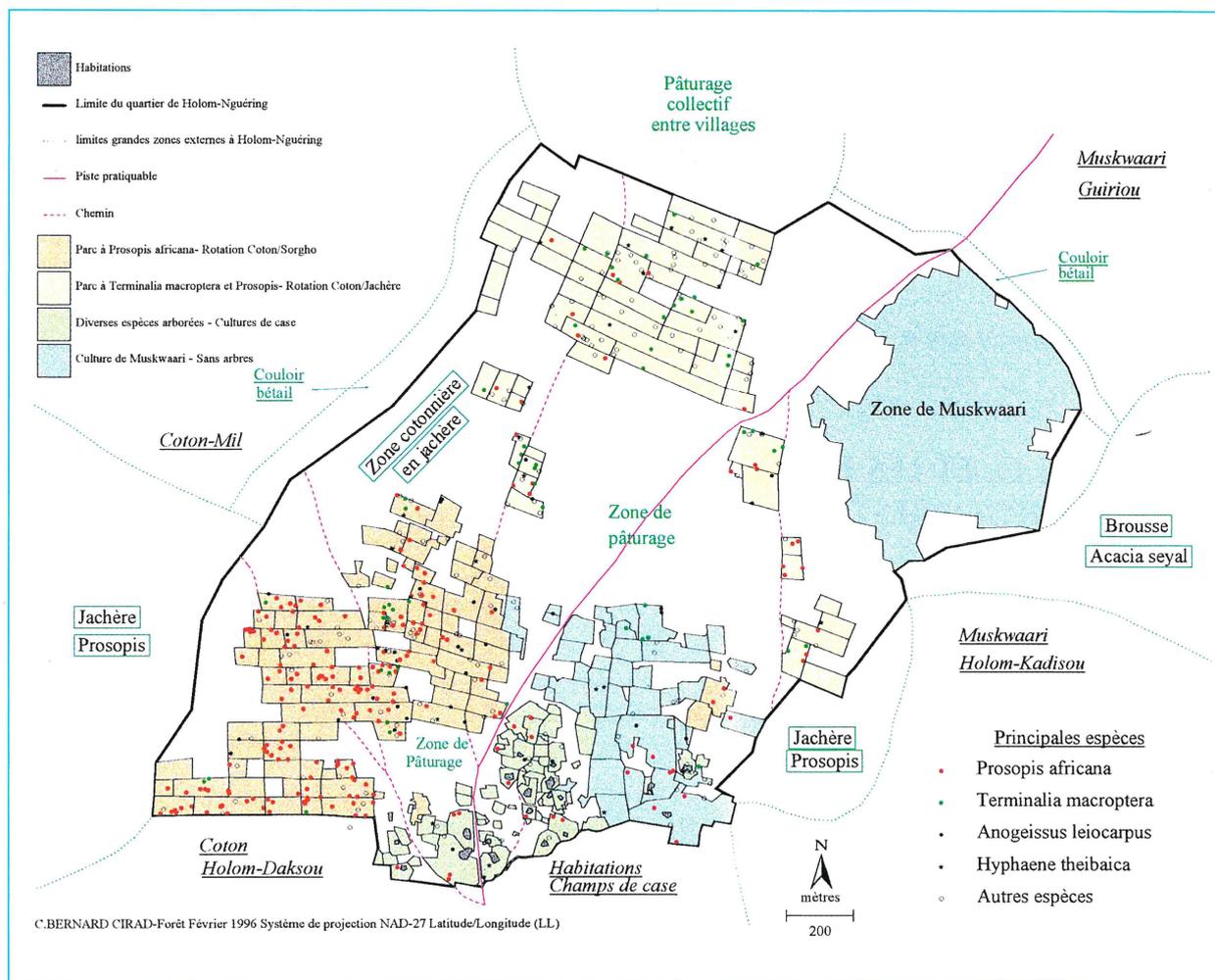
Cette étape permet ainsi de superposer les systèmes de culture ou le foncier des terres avec la distribution des espèces arborées pour déterminer respectivement les systèmes agroforestiers (cf. carte 1, p. 66) ou la hiérarchie de gestion (collective, individuelle) de chaque espèce.

INTÉRÊT DU S.I.G.

L'utilisation du S.I.G. a permis, d'une part, la réalisation rapide et facilement modifiable de cartes thématiques et, d'autre part, la combinaison des couches *arbres* et *parcelles* pour caractériser les systèmes agroforestiers.

Il constitue un excellent support pédagogique lors d'entretiens avec les villageois, support autour duquel est mieux compris le système de pensée concernant l'organisation et la gestion villageoise du paysage agroforestier.

La visualisation spatiale des différentes variables génère de nouvelles hypothèses.



Carte 1. Terroir de Holom : les grands systèmes agroforestiers.
Holom region : principal agroforestry system.

PROBLÈMES RENCONTRÉS ET LIMITES

- Le recalage du parcellaire dans un système géoréférencé, grâce à des relevés de points au G.P.S., a entraîné une déformation du parcellaire et une estimation des surfaces moins précise.
- Le S.I.G. utilisé, ATLAS-GIS, ne possède qu'un module de statistique très élémentaire (moyenne, écart-type...).

PERSPECTIVES

- Il serait intéressant de développer un S.G.B.D. afin d'éviter les redondances d'information des entités *parcelles* et *arbres* et de faciliter leur mise à jour.
- Cette première analyse avec le S.I.G. doit être complétée par des analyses spatiales plus poussées.

LE S.I.G. ET LA GESTION DE PLANTATIONS

LE CONTEXTE

La complexité de gestion du massif de l'Unité d'Afforestation Industrielle du Congo (U.A.I.C.) a nécessité le développement d'une base de données adaptée, associée à un S.I.G. En effet, les plantations d'eucalyptus couvrent actuellement 43 000 ha, et toutes les interventions réalisées sur chacune des 2 600 bandes clonales en production sont suivies précisément. Cette application assure le traitement automatique des inventaires, l'enregistrement de travaux sylvicoles effectués dans les

parcelles, ainsi que des incendies survenus, l'édition de programmes de travaux et la prédiction des volumes à récolter au cours des prochaines années grâce à des modèles de croissance.

UTILISATION DU S.I.G.

□ **Première étape** : le parcellaire et le fond topographique (routes, rivières...) ont été tout d'abord digitalisés (en mode vecteur) avec le logiciel ARC/INFO P.C. Ont été ainsi créées différentes couches d'information de points (villages, altitude cotée), d'arcs (réseau hydrographique, réseau routier, courbes de niveau) et de polygones (parcellaire...).

Chaque objet géographique est caractérisé par un identifiant unique. Il existe une correspondance stricte entre chaque numéro d'identifiant se rapportant au parcellaire U.A.I.C. et les numéros de bandes clonales, qui constituent un champ-clé dans tous les fichiers de la base de données.

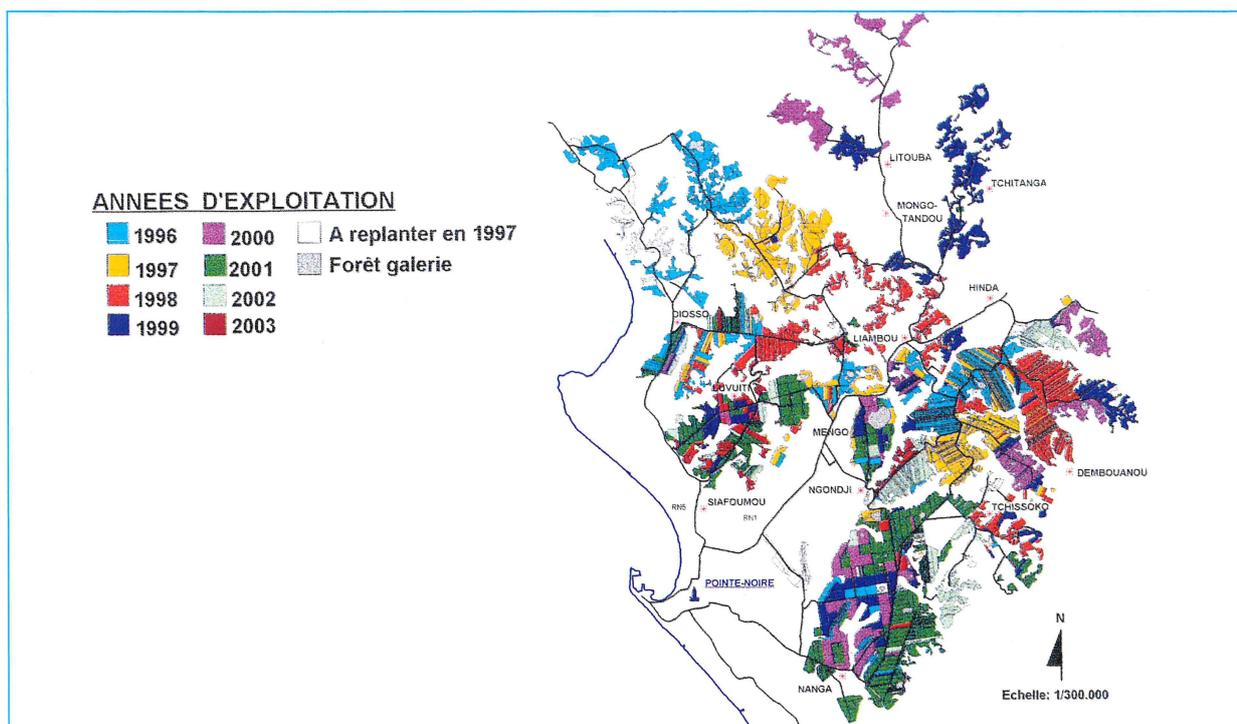
□ **Deuxième étape** : après la phase de numérisation des objets géographiques et éventuellement la

mise à jour des couches d'information, les données sont transférées sur le logiciel MAPINFO pour une mise en forme plus conviviale des cartes thématiques à éditer.

INTÉRÊT DU S.I.G.

Auparavant, les cartes du massif étaient produites à partir de calques à différentes échelles, et les modifications lors des replantations des parcelles les moins productives se révélaient délicates. Aujourd'hui, le S.I.G. simplifie considérablement les mises à jour du parcellaire et permet d'éditer régulièrement des cartes du parcellaire à l'échelle voulue. La présentation des programmes de travaux sous forme de cartes thématiques facilite l'organisation des chantiers en permettant au responsable d'avoir une vision globale des interventions à réaliser.

Plus généralement, lors de l'élaboration d'un planning de travaux, le S.I.G. permet de répartir de façon plus homogène, les interventions dans le massif afin que les responsables de terrain puissent les suivre efficacement. Un plan prévisionnel d'exploitation de 1995 à 2003 est donné à titre d'exemple (cf. carte 2).



Carte 2. U.A.I.C.-Congo : plan prévisionnel d'exploitation de 1995 à 2003.
U.A.I.C.-Congo : Logging forecast from 1995 to 2003.

PROBLÈMES RENCONTRÉS ET LIMITES

Le problème majeur auquel s'est heurtée la mise en œuvre du S.I.G. provient de l'origine différente des couvertures digitalisées et du manque de fiabilité de certaines d'entre elles.

Comme conséquence, on observe des décalages entre les couvertures du parcellaire et celles des courbes de niveau qui portent, selon les secteurs, sur des distances de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres. Ces décalages s'avèrent très pénalisants en raison des interactions fortes existant entre le développement de nombreux clones et le facteur topographie. Il est en effet important de profiter de la replantation des zones les moins productives pour redessiner le parcellaire, en adaptant le clone planté au relief.

Notons enfin que la surface des polygones représentant chaque bande clonale ne correspond pas à la surface productive, enregistrée dans la base de données.

PERSPECTIVES

Le levé du contour de toutes les parcelles du massif avec un G.P.S.* différentiel devrait permettre d'obtenir de nouvelles couvertures du parcellaire beaucoup plus précises. Une campagne de photographies aériennes permettrait à la fois de fournir des cartes topographiques fiables pour la totalité de la zone d'extension et une couverture précise du parcellaire actuel. Une telle opération paraît cependant irréalisable à court terme compte tenu de son coût prohibitif dans le contexte du Congo.

Il est prévu de réaliser un Modèle Numérique de Terrain (M.N.T.) à partir des couvertures existantes de courbes de niveau et de points cotés, afin de disposer de couches de classes de pentes et d'altitudes. Elles devraient permettre en particulier de préparer sur carte le tracé des nouvelles routes ainsi que les contours des futures parcelles à planter.

Enfin, un couplage plus étroit entre la base de données et le S.I.G. paraît prioritaire afin de mettre à jour automatiquement certaines cartes thématiques à partir des nouvelles informations saisies dans la base de données.

* Global Positioning System.

S.I.G. ET INVENTAIRE D'AMÉNAGEMENT

LE CONTEXTE

L'un des objectifs du projet ECOFAC en R.C.A. est de tester la viabilité des écosystèmes forestiers face à l'exploitation de la ressource.

Cette ressource doit être connue et, au cours d'une phase préliminaire, il a été réalisé un inventaire d'aménagement sur une zone forestière de 180 000 ha. En fait, pour des raisons évidentes de coût, l'inventaire a consisté en un sondage (taux de 1 %) avec, comme unités élémentaires, des parcelles de 0,5 ha (20 m × 250 m) positionnées sur des layons.

UTILISATION DU S.I.G.

□ **Première étape** : il a tout d'abord fallu intégrer dans le S.I.G., ATLAS-GIS, les sources d'informations utiles pour l'estimation de la ressource. Ainsi, le fond topographique (rivière, courbe de niveau...) de la zone a été numérisé manuellement à partir de quatre cartes I.G.N., au 1 : 200 000. Ce fond topographique a été réactualisé sur une partie de la zone grâce à une image radar, convertie en mode vecteur. Ce fond a permis de positionner l'emplacement théorique des layons.

Une fois les layons ouverts sur le terrain avec une boussole, leur position a été vérifiée par des relevés G.P.S. A partir de photos aériennes, une stratification de formations végétales a été réalisée au 1 : 50 000. Sur le terrain a été relevée une information sur le diamètre et l'espace des arbres inventoriés dans les parcelles.

□ **Deuxième étape** : elle a consisté en une restitution cartographique (cf. carte 3) de :

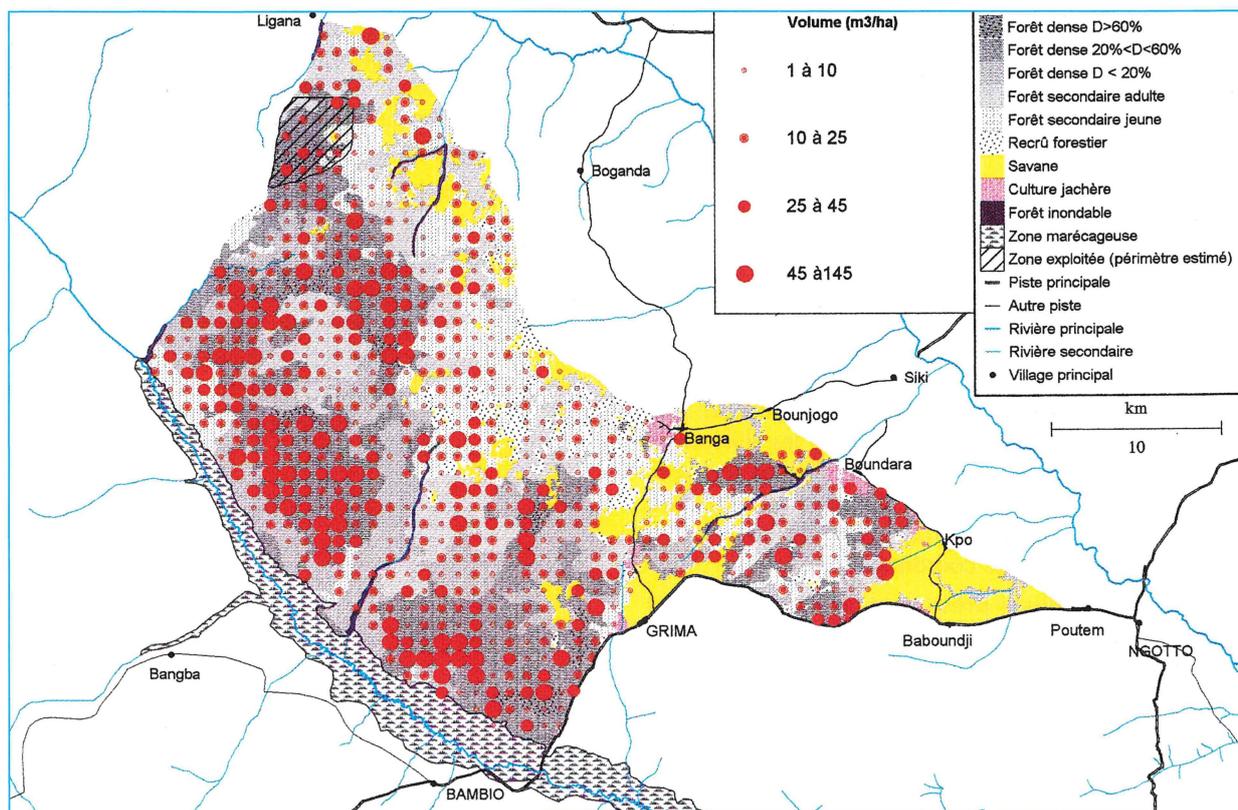
- la stratification,
- la ressource suivant différents critères.

□ **Troisième étape** : en combinant les couches d'information *parcelle* et *strate*, on a pu affecter à chaque parcelle un code strate, information nécessaire pour l'estimation de ressource.

INTÉRÊT DU S.I.G.

L'utilisation du S.I.G. a permis :

- un calcul de la surface des strates de manière automatique et rapide par rapport aux méthodes traditionnelles (grilles de points, planimètre),



Carte 3. Projet ECOFAC : représentation de la ressource et de la stratification.
 ECOFAC project : representation of resources and stratification.

- une restitution cartographique de la ressource facile et « à la carte »,
- l'apport d'une information nouvelle par la fonction de superposition de couches.

PROBLÈMES RENCONTRÉS ET LIMITES

L'un des problèmes majeurs rencontrés lors de la mise en œuvre du S.I.G. a été le calage des différentes sources d'information géographique les unes par rapport aux autres, c'est-à-dire celui :

- des quatre cartes topographiques pour constituer le fond topographique de la zone,
- du fond topographique (routes principales, plan de layonnage) avec la stratification (issue de photos aériennes) ou l'image radar.

Des écarts de quelques centaines de mètres ont été observés. Ces écarts ont été réduits par le relevé de points remarquables au G.P.S., ce qui a nécessité

l'aide de l'I.G.N. pour effectuer les changements de référentiel.

- Les limites du logiciel ATLAS-GIS sont atteintes lorsqu'on désire manipuler une information sous la forme raster (image radar, M.N.T...) ou bien lors de l'estimation de la ressource par des méthodes statistiques (interpolation, géostatistique...).

PERSPECTIVES

A cette étape, il semble nécessaire de compléter l'utilisation du S.I.G. en mode vecteur par un S.I.G. en mode raster, afin notamment d'aider à construire un réseau de routes avec contraintes (rivières, pentes...), cf. de CHATEAU-THIERRY, 1995.

La complémentarité des approches statistiques et des S.I.G. nécessite de développer une interface facile entre les logiciels.



CONCLUSION

- Les trois applications présentées dans cet note illustrent bien l'intérêt d'un S.I.G., qui permet de réaliser rapidement des cartes adaptées à un besoin spécifique et faciles à mettre à jour.

De plus, par ses fonctions d'analyses spatiales (combinaison de couches d'information, zones tampon...), le S.I.G. va apporter une information nouvelle, soit sous la forme de cartes originales, génératrices d'hypothèses, soit en enrichissant la base de données attributaires.

- Lors de la mise en œuvre des S.I.G., le principal problème rencontré a été celui de recalibrer les différentes sources d'information géographique (cartes topographiques, G.P.S., télédétection...). Ce problème doit être en partie résolu lorsque seront maîtrisés les changements de référence et de coordonnées.

- Les logiciels utilisés présentent certaines limites et incitent à explorer d'autres voies. Les modules de statistiques sont élémentaires ou de type « boîte noire » (exemple géostatistique). L'utilisation en parallèle de logiciels statistiques et d'un S.I.G. en mode raster permettront d'augmenter les possibilités d'analyse spatiale et d'effectuer le lien avec la télédétection.

- Enfin, les S.I.G. traitent une information complexe (plusieurs entités géographiques avec différents niveaux de précision...), information qu'il sera d'autant plus facile de gérer au cours du temps (mise à jour...) si elle a été préalablement bien organisée et structurée.

L'utilisation d'un S.I.G. implique d'élaborer un Système d'Information qui s'appuie sur un S.G.B.D.(R).

- Il apparaît finalement qu'utiliser un S.I.G. dépasse le simple cadre du logiciel. Certains auteurs (ROUZET, 1994) préfèrent alors parler de Système d'Information à Référence Spatiale (S.I.R.S.), Système d'Information dont le S.I.G. (logiciel) n'en est qu'une des composantes parmi d'autres (G.P.S., image satellitaire, S.G.B.D.R., logiciels de statistique...). □

▶ Vincent FREYCON
Christelle BERNARD
Nicolas FAUVET
CIRAD-Forêt
Campus International de Baillarguet
BP 5035
34032 MONTPELLIER CEDEX 1

▶ Jean-Paul LACLAU
CIRAD-Forêt
BP 1264
POINTE-NOIRE
Congo

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BERNARD C., OULBADET M., OUATTARA N., PELTIER R., 1995.

Parcs agroforestiers dans un terroir soudanien, cas du village de Dolékaha au nord de la Côte-d'Ivoire. Bois et Forêts des Tropiques n° 224, 2^e trimestre, pp. 25-41.

DE CHATEAU-THIERRY V., 1995.

Optimisation d'un tracé de routes forestières à l'aide d'un Système d'Information Géographique. Mémoire DESS, Université Paris 1, France, 75 p.

DEPOMMIER D., 1996.

Structure, dynamique et fonctionnement des parcs à *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. Caractérisation et incidence des facteurs biophysiques et anthropiques sur l'aménagement et le devenir des parcs de

Dossi et de Watinoma, Burkina Faso. Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, France, 540 p.

DIDON E., 1990.

Systèmes d'Information Géographique : concepts, fonctions, applications. Document CEMAGREF/ENGREF. Montpellier, France, 44 p.

EASTMAN J. R., 1992.

IDRISI, un S.I.G. en mode image. Lausanne, Suisse, CRIF.

ROUZET C., 1994.

Analyse pour la mise en place d'un Système d'Information à Référence Spatiale (S.I.R.S.). Mémoire DESS, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, France, 74 p.