

Systèmes d'informations géographiques et gestion des données de sols

Mamadou KHOUMA; Laurent BOCK; Léon MATHIEU ; Patrick ENGELS

*U.E.R des Sciences du Sol et de la Terre,
Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique.*

Résumé

Après avoir rappelé le cheminement effectué depuis la création du Réseau International de Traitement des Données de Sols (RITDS) jusqu'à la diffusion des premiers Systèmes d'Informations Géographiques (SIG), la communication traite des composantes de ces systèmes (matériel, logiciels, personnel) et donne un aperçu sur ceux utilisés à l'U.E.R., avec une description de leurs caractéristiques. Il s'agit plus précisément de PC ARC/INFO, d'IDRISI et d'ILWIS. La deuxième partie est consacrée à une étude de cas dans le département de Kédougou (sud-est du Sénégal), avec illustration des fonctionnalités du SIG ILWIS pour la gestion des informations relatives aux sols. Dans la dernière partie, l'accent est mis sur les problèmes posés par l'utilisation des SIG en Afrique et les précautions dont il faudrait s'entourer pour tirer pleinement profit de ce nouvel outil.

Mots-clefs : banque de données, gestion informatique, Sénégal, SIG, sol.

Abstract

Geographical Information Systems and Soil Data Management

After retracing briefly the progress made from the creation of the International Network for Soil Data Processing (RITDS) to the diffusion of the first Geographical Information systems (GIS), the paper deals with the components of a GIS (hardware, software, staff) and gives an overview of some of them used in the field of soil data management with a description of their characteristics. Most precisely these GIS are PC ARC/INFO, IDRISI and ILWIS.

The second part of the paper focuses on a case study with special reference to South-east Senegal (Kedougou department) with an explanation of the functionality of ILWIS regarding the management of soil related information.

The last part stresses problems raised by the use of GIS in AFRICA and the precautionary measures that must be taken to fully benefit from this new tool.

Keywords : Data bank, Computer Management, Senegal, GIS, Soil.

1. Introduction

Les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) connaissent actuellement un développement sans précédent rendu possible par la puissance sans cesse croissante des micro-ordinateurs combinée à une baisse généralisée des prix. Dans la présente communication, nous traitons de quelques aspects relatifs à la gestion informatique des données de sol de manière générale et de la gestion des données de sols dans le cadre des SIG, de manière plus particulière. Une illustration de quelques fonctionnalités des SIG tirée d'une étude de cas dans le sud-est du Sénégal.

2. Les banques et bases de données

La gestion des nombreux paramètres morphologiques, physiques, chimiques et de l'environnement, entrant en jeu dans une description complète de profil pédologique, justifient amplement la mise en place de banques de données de sols. La principale différence entre banque et base de données tient du fait qu'une base de données est relationnelle (elle repose sur des tables qui sont en relation entre elles) alors qu'une banque ne l'est pas. Cependant, les deux termes sont souvent utilisés indifféremment.

Dès l'apparition des premières banques de données, un besoin de rationalisation et d'homogénéisation au niveau de la collecte et de la saisie s'est fait sentir dans la communauté scientifique. C'est ainsi que l'Agence de Coopération Culturelle et Technique (ACCT) proposa en 1973 aux pays de langue française une action concertée avec comme objectif : « la mise sur pied d'un système informatique permettant de favoriser les échanges scientifiques et techniques en Science du Sol » ; le Réseau International de Traitement des Données de Sols (RITDS) était créé.

Avec l'appui de l'ACCT, la mise au point d'un logiciel de banque de données fut confiée à l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de Montpellier en collaboration avec l'Institut de Recherche Agronomique Tropicale (IRAT), l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc (USTL) et la Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux. La première version du logiciel dénommé Système de Transfert de l'Information Pédologique et Agronomique (STIPA) sortit en 1979.

Conçu au départ pour fonctionner sur de gros systèmes informatiques, une version micro de STIPA fut développée à la suite de la prolifération des micro-ordinateurs et de la grande décentralisation de l'informatique qui s'ensuivit.

L'enregistrement des données sur le terrain s'effectue *via* une fiche normalisée de description ou directement à partir d'un ordinateur portable.

Le logiciel est doté d'un mécanisme interne de contrôle d'erreurs grossières avant l'édition ou la mise en banque des profils. Les résultats d'analyses de sols peuvent également y être encodés.

L'utilisateur a le choix quant à la langue d'édition des profils, celle-ci pouvant s'effectuer en français, anglais ou espagnol.

De nouvelles applications ont été ajoutées par la suite, en particulier un programme dénommé EXTRAC qui permet l'exportation des données numériques de STIPA vers d'autres logiciels de calcul statistique par exemple. Une autre application, CHECKUP, permet d'effectuer des contrôles de cohérence en s'appuyant sur les données déjà enregistrées dans la banque. Des applications relatives au dessin des profils, à la détermination de la classe texturale et à l'étude de similitude des profils ont été également développées.

Pour favoriser l'échange d'informations entre utilisateurs travaillant sur des systèmes différents, un programme d'interface dénommé FITSOL (Format International pour le Traitement des données de Sols) est inclus dans STIPA. La nomenclature de cette interface a été mise au point à la Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux.

L'Organisation Mondiale pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO) en collaboration avec l'International Soil Reference and Information Center (ISRIC) a également mis au point une base de données de sols (SDB) conçue en langage dBase et fonctionnant sur micro-ordinateur. Cette base de données est assez conviviale et se présente sous forme de menus. Elle offre à l'utilisateur la possibilité d'ajouter des variables (une douzaine au total). Les codes des unités taxonomiques de la carte mondiale des sols ainsi que les codes des grands groupes et des familles de la « Soil Taxonomy » version 1987 sont disponibles dans la base de données.

Il existe aussi d'autres systèmes de gestion informatique de données de sols parmi lesquels, on peut citer le Système Canadien d'Information sur les Sols (CANSIS) et la base de données sur les « attributs de Terrain et de Sols » (SOTER) centralisée à l'ISRIC à Wageningen.

Tout le potentiel résultant d'une meilleure structuration et d'une plus grande rapidité d'extraction de l'information ne fut à l'origine que partiellement exploité faute de logiciels d'application valorisant les avantages propres des banques de données.

Le développement des Systèmes d'Informations Géographiques couplé à la baisse généralisée des prix des micro-ordinateurs permet l'ouverture de nouvelles perspectives aux banques et bases de données de sols. Les SIG ont fait franchir un pas qualitatif à la gestion des sols en permettant le passage d'une gestion statique de constats ponctuels (profils) à une gestion spatiale (localisation, simulation etc.)

3. Les systèmes d'informations géographiques

Un système d'informations géographiques est « un ensemble puissant d'outils permettant de saisir, de stocker, d'extraire, de transformer et d'afficher les données spatiales tirées de la réalité, pour un ensemble d'usages déterminés. » (BURROUGH, 1985).

Une autre définition élargie à la notion de contrôle est donnée par LEMMENS (1991) qui définit le SIG comme un système d'informations contenant des sous-systèmes pour la saisie, le stockage, l'extraction, la manipulation, l'analyse, l'affichage des données spatiales et où chaque sous-système a une rétroaction (*feedback*) sur un mécanisme approprié de contrôle de qualité.

L'originalité d'un SIG par rapport à un système de gestion de base de données réside surtout dans la capacité du SIG à comparer des entités différentes sur la base de leur occurrence géographique commune (EASTMAN, 1992).

A l'origine, les SIG étaient subdivisés en deux grands modes d'organisation des données géographiques : le mode vectoriel et le mode *raster*.

3.1. Le mode vectoriel

Dans ce mode les éléments cartographiques : points, lignes et polygones sont définis par leurs coordonnées (Fig. 1). Ce sont les limites des différents éléments qui sont enregistrées, plus que leur contenu. Les avantages de ce système se caractérisent par une meilleure gestion des bases de données, une meilleure qualité graphique et des mesures plus précises. Ses principaux inconvénients sont de présenter une structure de données plus complexe et de mal se prêter à l'analyse spatiale.

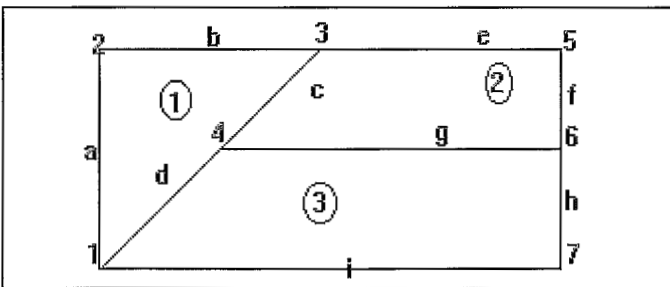


Figure 1. Exemple de structure de données en mode vectoriel. (Numérotation interne des polygones : 1, 2, 3).

Polygones	abcd, cefg, dghi
Lignes	a :12 ; b :23 ; c :34 ; d :41 ; e :35 ; f :56 ; g :64 ; h :67 ; i :71
Points	1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 de coordonnées (x, y).

3.2. Le mode *raster*

Dans le mode *raster*, la zone à représenter est subdivisée selon une grille de cellules (Fig. 2); chaque cellule contenant une information numérique relative à un identifiant, à un paramètre qualitatif ou quantitatif. Ceci est à rapprocher à la notion de « pixel » (*picture element*) qui est la plus petite unité d'information contenue dans une image subdivisée en grille.

Les avantages de ce mode reposent sur le découpage uniforme de l'espace géographique, ce qui donne plus de puissance à l'analyse spatiale. D'autre part la similitude avec l'architecture des ordinateurs permet une plus grande rapidité lors d'un processus de modélisation. La possibilité d'incorporer des images télédéteectées qui sont toujours sous format *raster* constitue un « plus ».

Parmi les inconvénients, on peut citer la gourmandise du système en espace mémoire (chaque cellule doit en effet contenir une donnée, que l'information soit intéressante ou non), et une moindre précision au niveau des mesures spatiales.

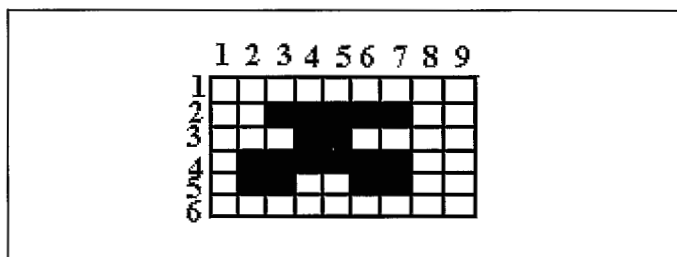


Figure 2. Exemple de structure de données en mode *raster*.

L'unité cartographique représentée par les carrés noirs peut être identifiée par le début et la fin des carrés au niveau de chaque ligne: ligne 2 (colonnes 3 à 7); ligne 3 (colonnes 4 à 5); ligne 4 (colonnes 2 à 7) ligne 5 (colonnes 2 à 3 et 6 à 7).

L'antagonisme vecteur-*raster* qui a marqué les premiers SIG mis sur le marché tend à disparaître de nos jours. Les SIG les plus connus s'orientent de plus en plus vers l'intégration des deux systèmes. Cet antagonisme serait d'ailleurs beaucoup plus technologique que conceptuel (BURROUGH, 1985).

3.3. Gestion des attributs

Tout SIG possède, outre un système d'analyse spatiale, un système de gestion des attributs liés aux éléments géographiques (points, lignes, polygones). Ces attributs peuvent être qualitatifs ou quantitatifs et sont souvent structurés sous forme de tableau dont les lignes constituent les enregistrements et les colonnes, les champs. Les systèmes de gestion des attributs offrent en plus la possibilité de procéder à certains calculs statistiques et de créer de nouvelles relations. La plupart des SIG ont un système de gestion des attributs compatible avec les bases de données les plus connues.

3.4. Principales composantes d'un SIG

Seuls sont abordés ici les aspects liés à la micro-informatique.

3.4.1. Le matériel

Si les premiers logiciels SIG pouvaient se contenter de configurations modestes, actuellement la plupart d'entre eux nécessitent un micro-ordinateur relativement puissant. Pratiquement tous les micro-ordinateurs compatibles PC sur le marché aujourd'hui offrent au moins 4 Mo de RAM et 420 Mo pour le disque dur. Les processeurs 486DX et Pentium qui intègrent un coprocesseur mathématique sont devenus des standards.

En fonction du SIG, un écran couleur ou deux écrans (dont un peut être monochrome) sont nécessaires. Une table à digitaliser dont le rôle est de transformer un document analogique en document numérique, via un programme, est souvent indispensable pour la saisie de documents cartographiques tels qu'une carte pédologique, une carte topographique, etc. (Fig. 3). L'emploi d'un scanner peut être un substitut à la digitalisation mais de nombreuses difficultés subsistent encore à ce niveau, car même avec des documents relativement simples, le résultat est parfois médiocre.

Pour les sorties, une imprimante couleur ou une table traçante sont d'un usage courant.

3.4.2. Les logiciels

Un SIG intègre souvent de nombreux programmes qui constituent le système. Les logiciels sont disponibles sur disquettes ou sur CD-ROM pour les plus importants. Les systèmes les plus coûteux sont munis d'une protection matérielle et logique contre le piratage sous forme de clef contenant une partie des instructions nécessaires au bon fonctionnement et qu'il faut connecter à un port parallèle de l'ordinateur. La clef est remplaçable par le fournisseur en cas de défectuosité mais sa perte rend le logiciel inutilisable.

Les logiciels disposent tous d'une procédure d'installation assez conviviale permettant d'effectuer certaines adaptations en fonction des caractéristiques du matériel utilisé.

Il y aurait plus de 200 SIG à travers le monde (FAO 1991).

3.4.3. Le personnel

L'utilisation de systèmes aussi complexes que les SIG nécessite une bonne organisation. L'efficacité et la rentabilité du travail en dépendent.

Il est recommandé d'avoir un responsable, ayant les connaissances de base requises en informatique et comprenant bien la philosophie des SIG, qui assurera la gestion du système. Il devra en concertation avec les utilisateurs potentiels évaluer les besoins, procéder au choix des logiciels et du matériel les plus adaptés. Il devra également assurer l'installation des logiciels, l'affectation des répertoires sur le disque dur ainsi que la maintenance.

Une formation de base minimale est nécessaire pour tous les utilisateurs.

En fonction des services concernés et de la nature du travail à effectuer, certaines tâches qui demandent beaucoup de précision et de patience comme la digitalisation, peuvent être confiées à une seule personne.

3.5. Aperçu sur quelques SIG

Dans cette partie nous abordons une brève présentation des SIG qui nous sont les plus familiers, à savoir PC ARC/INFO, IDRISI et ILWIS.

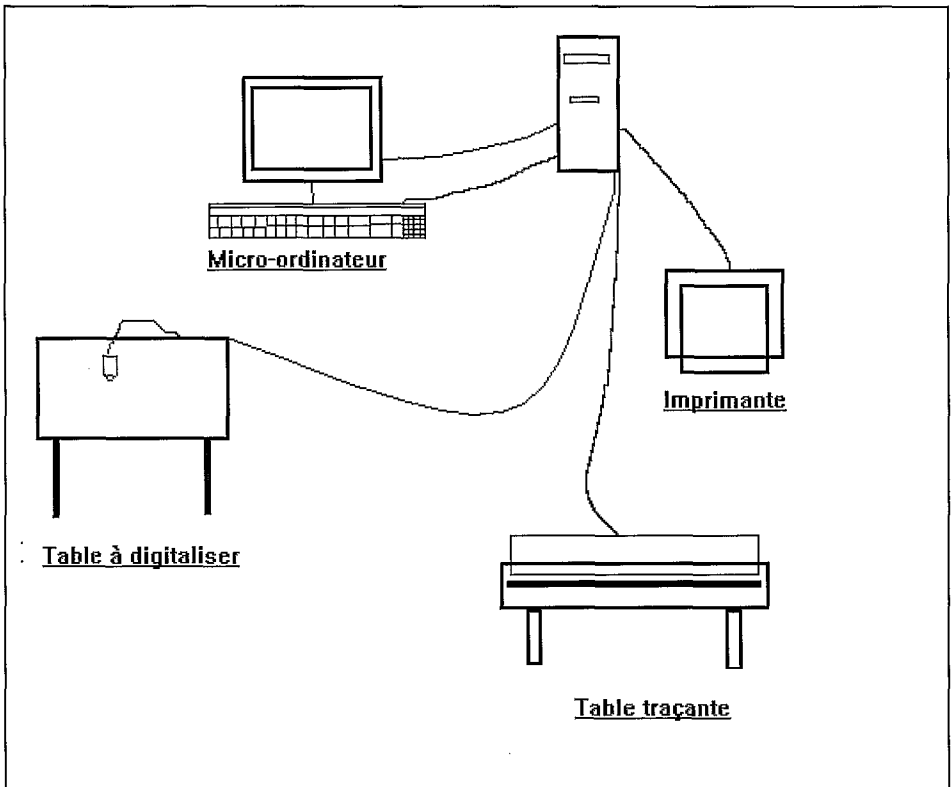


Figure 3. Composantes matérielles d'un SIG.

3.5.1. PC ARC/INFO

ARC constitue la partie graphique du système et INFO le gestionnaire de base de données.

Le système a été mis au point à l'Institut de Recherche sur les Systèmes de l'Environnement (ESRI) en Californie. Il s'agit sans doute du SIG le plus connu au monde. PC ARC/INFO fait partie de la famille des vectoriels. Il est structuré en modules :

PC STARTER KIT

Il contient les procédures d'installation et de configuration ainsi que les programmes de saisie (digitalisation, attributs) et de gestion des bases de données, il permet également d'assurer la maintenance du système. Un programme de conversion des fichiers de la version 3.3 à la version 3.4D plus s'y trouve aussi.

PC ARCEDIT

On y procède à la représentation graphique des éléments de couverture (le terme couverture désigne une carte dans sa version digitale, celle-ci pouvant être constituée de polygones, de lignes, de points ou de leur combinaison), à leur sélection, à l'édition de leurs attributs, et à leur mise à jour;

PC ARCPLOT

Il permet de procéder à la composition des cartes et à l'impression des couvertures.

PC OVERLAY

Il s'agit d'un module d'analyse spatiale qui permet la jonction, la fusion et la superposition de couvertures et de leurs attributs. Les calculs de zones d'influence autour d'un élément (*buffer*) peuvent y être effectués.

PC NETWORK

C'est le module destiné à l'analyse des réseaux (routes, cours d'eau) et à leur gestion.

PC DATA CONVERSION

Il autorise la conversion des formats ARC/INFO vers d'autres formats vecteur ou *raster* et vice-versa. On y effectue la manipulation et l'affichage des fichiers *raster*.

La deuxième version d'un nouveau module, indépendant et destiné à la visualisation des couvertures et à la formulation des requêtes, vient d'être mise en circulation. Il s'agit d'ArcView 2 sous Windows.

Il convient en outre de signaler que la partie INFO est maintenant assurée par une compatibilité totale avec dBase (version 3.4 et suivantes de PC ARC/INFO).

La popularité d'ARC/INFO illustre ses performances et sa souplesse. Son prix a constitué jusqu'à une période récente, un facteur dissuasif. On peut également regretter l'absence d'un module de traitement d'images télédéteçtées, sur la version PC du moins.

3.5.2. IDRISI

Du nom d'un cartographe arabe du XII^e siècle, IDRISI a été mis au point à l'Université de Clark dans le Massachusetts, en collaboration avec le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP) et le bureau européen de l'Institut des Nations Unies pour la Formation et la Recherche (UNITAR).

La dernière version (4.1) date de septembre 1992. Il s'agit d'un système *raster* comprenant plus de 100 programmes regroupés en modules présentés sous forme de menus. On y distingue:

- Un module de gestion de projet qui permet de définir l'environnement de travail, la conversion de fichiers provenant de version antérieure, la conversion entre différents systèmes de projection, la maintenance des fichiers, etc.

- Un module d'affichage qui contient les programmes suivants: vision d'image en 2 ou 3 dimensions; statistiques sur les valeurs numériques des images; rééchantillonnage des valeurs numériques.

- Un module de saisie de données avec différents programmes : digitalisation conversion en format *raster*, interpolation, édition en ASCII.

- Un module de gestion des attributs comprenant des programmes de classification, d'extraction, d'importation de fichiers dBase.

- Un module de gestion de données spatiales avec les programmes d'échantillonnage, de fusion et modification de taille des images, de conversion *raster*-polygone.

- Un module d'analyse géographique permettant l'interrogation de la base de données (reclassement, superposition, calcul de surface etc.), des opérations algébriques sur les pixels, des opérations sur les distances à partir de pixels cibles et sources, le calcul des pentes, de la topologie des pixels (groupe) et de délimitation des bassins versants.

- Un module d'analyse statistique avec possibilités de calcul d'autocorrélation, calcul de rapport de compacité, calcul de régression.

- Un module de traitement d'images permettant la création d'aires d'entraînement, la classification des pixels, l'élaboration d'une composition colorée, l'analyse en composantes principales etc.

- Un module d'aide à la décision incluant des systèmes d'analyse d'erreurs, de leur propagation et des risques liés aux décisions. Il permet également des analyses multicritères et multi-objectifs.

- Un module périphérique pour la conversion de fichiers, l'importation et l'exportation de fichiers.

IDRISI est un des SIG les moins chers. Il offre de très nombreuses possibilités surtout en matière de traitement d'images télé-déteectées. L'utilisation des modules est relativement facile pour quiconque maîtrise les rudiments du MS-DOS. Un bon didacticiel est inclus dans le livre de référence.

L'obligation de posséder une carte graphique 8514/A d'IBM ou une carte émulant ce mode, pour visualiser plus de 16 couleurs à la fois sur l'écran, a été levée par la dernière version.

D'autre part, le module de digitalisation qui accompagne IDRISI (TOSCA) n'est pas des plus simples. La formation des polygones y est laborieuse et lorsqu'une couverture est digitalisée, elle devra être scindée en ses différents éléments (polygones, arcs, points) pour être acceptée dans IDRISI. Ce module de digitalisation pénalise les performances globales du système.

3.5.3. ILWIS

L'Integrated Land and Water Information System (ILWIS) provient de l'International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC) de Enschede en Hollande. Comme la plupart des SIG, il est structuré en modules et sous modules et présente un menu déroulant à l'écran (certaines options peuvent cependant se retrouver dans plusieurs modules). Les principaux modules du système sont:

- Le module d'entrée comprenant les programmes d'importation de fichiers, le programme de digitalisation, de modification d'échelle et de géoréférence.

- Le module vecteur comprenant le sous-module vecteur-*raster* qui permet de convertir les points, segments et polygones en format *raster*.

- Le module d'analyse raster avec des sous-modules de visualisation, de modélisation spatiale et de traitement d'images. Ce module permet d'effectuer toutes les opérations relatives à la visualisation des images (couleur d'affichage, agrandissement, réduction et multifenêtrage). Le sous-module de modélisation spatiale permet une analyse et une modélisation interactives au départ d'une ou de plusieurs cartes *raster* et/ou de tableaux. Le programme de calcul qu'il contient permet d'effectuer une analyse spatiale à partir de plusieurs cartes *raster*. Il contient des opérateurs logiques, arithmétiques, conditionnels et de voisinage, ainsi que des techniques d'itération. Le programme intègre les informations sur les attributs et permet à l'utilisateur de créer des fonctions d'analyse définies à l'aide d'un langage de programmation simple. Le sous-module contient également des fonctions de filtres, de connexion, de distance et d'information sur les pixels (zoom et lien avec les attributs).

- Le module d'interpolation (au départ de points ou de lignes).

- Le module de géoréférence avec ajout de coordonnées, transformations géométriques et fusion de cartes.

- Le module de traitement d'images avec sous-modules de traitement statistique et de classification.

- Le module de manipulation de tableaux qui permet de gérer les attributs relatifs aux données géographiques. On y effectue les opérations usuelles de manipulation de bases de données.

- Le module de gestion des points (conversion segment-tableau de points ou carte *raster*-tableau de points).

- Le module de sortie avec programmes de conversion dans différents formats, de confection de légende et d'annotation.

- Le module du responsable du système, ce module n'est en principe accessible qu'au responsable. Il contient les fichiers de configuration du système ainsi que le programme de gestion des utilisateurs.

ILWIS a été développé pour soutenir et améliorer le processus de planification (MELERINCK 1988). Le système a l'avantage d'être complet avec un module de traitement d'images télédéteectées offrant de nombreuses possibilités, il est plus orienté vers le traitement en mode *raster*.

Le module de digitalisation, bien que d'un emploi relativement facile quand il s'agit de saisir les données, pose parfois problème au niveau de la correction des erreurs. La procédure de vérification des segments (qui vérifie qu'il n'y a pas de superposition de segments ni de cul-de-sac) est à relancer après chaque session de correction d'erreurs. Le système est conçu de telle manière qu'une double vérification s'opère automatiquement, et cela peut prendre beaucoup de temps.

Les premières versions ont péché par manque de didacticiel accompagnant le manuel d'utilisation. Des efforts ont été faits avec les dernières versions 1.3 et 1.4 qui contiennent des exercices tirés de cas réels.

4. Etude de cas

Cette étude se rapporte à une zone d'environ 160 000 hectares située dans le sud-est du Sénégal, dans le département de Kédougou, au niveau de la boucle du fleuve Gambie; elle implique les SIG ILWIS et ARC/INFO.

4.1. Exploitation de la carte pédologique

La carte pédologique de reconnaissance de la zone à l'échelle du 1/200 000 réalisée par CHAUVEL (1967) a été utilisée comme document de base. Les vérifications effectuées sur le terrain nous ont permis d'apprécier la fiabilité du document. Toutefois, compte tenu de son ancienneté et du système de tramage utilisé, la lisibilité n'était pas des meilleures. La digitalisation de la carte a permis d'identifier 26 unités cartographiques dont 19 unités simples et 7 associations de sols. Les caractéristiques physiques et chimiques des profils représentatifs ont été saisies et associées aux différentes unités cartographiques.

A partir de ces deux opérations, on dispose déjà d'un grand potentiel d'interrogation sur les sols et leurs caractéristiques. Tout une série d'informations peut être obtenue comme par exemple :

- la superficie occupée par chaque unité cartographique (opération de quantification) ;
- l'affichage de toutes les unités ayant un pH ou une teneur en carbone inférieure égale ou supérieure à telle ou telle valeur (opération de requête).

L'interrogation peut être simple (sur un seul critère) ou complexe (combinaison de plusieurs critères en faisant intervenir des opérateurs logiques comme ET, OU, etc.) avec à chaque fois, affichage du résultat ou stockage de celui-ci dans un fichier déterminé.

Ces exemples, parmi tant d'autres, illustrent la facilité avec laquelle on peut extraire sélectivement l'information et produire des documents dérivés; notamment des cartes thématiques.

4.2. Exploitation de la carte topographique

A partir de la carte topographique IGN au 1/200 000, les courbes de niveau de la zone ont été digitalisées et converties en format *raster*. Par le biais du module d'interpolation, un modèle numérique de terrain (MNT), qui affecte une altitude à chaque pixel de la carte, a été élaboré.

Une des applications du MNT réside dans la possibilité qu'une fonction d'ILWIS offre de visionner le relief en 3 dimensions, avec des options pour modifier les paramètres de la vue (angle de vision, échelle des hauteurs, direction, etc. Fig. 4). La vue en perspective ainsi réalisée permet de distinguer nettement les 4 grandes unités morphologiques de la zone.

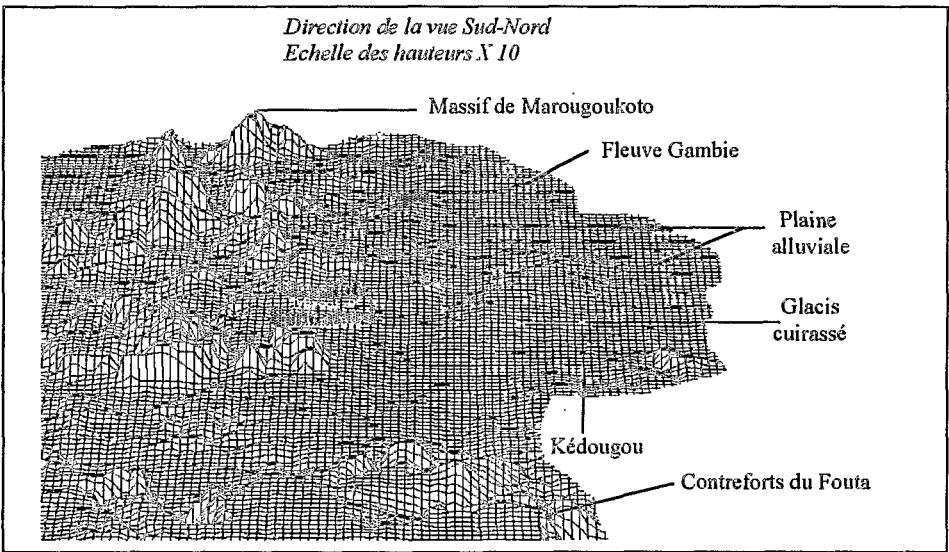
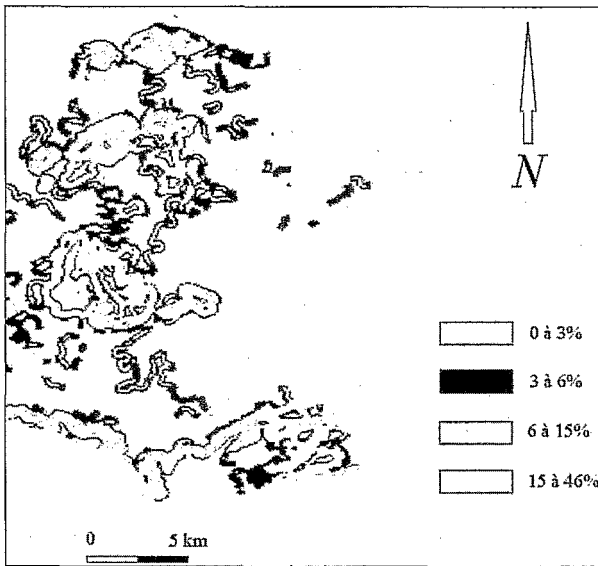


Figure 4. Vue en 3 dimensions.

- les contreforts du Fouta Djallon matérialisés par une grande falaise orientée Est-Ouest;
- les collines mollement ondulées;
- les glacis cuirassés;
- la plaine alluviale de la Gambie.

Le MNT offre également la possibilité d'établir une carte des pentes par l'intermédiaire de la fonction « SLOPE » qui, à l'aide de filtres établit la pente au sein de chaque pixel. La carte résultante étant lourde à gérer pour les croisements et les sorties, on procède à un regroupement des valeurs. Les valeurs individuelles de pente qui s'échelonnaient de 0 à 45 % ont été regroupées en 4 classes (Fig. 5) :

- classe 1: pentes de 0 à 3%;
- classe 2: pentes de 3 à 6%;
- classe 3: pentes de 6 à 15%;
- classe 4: pentes de 15 à 46%;



Les limites supérieures de classe ne font pas partie de la classe. Ces valeurs ont été retenues en conformité avec celles utilisées pour l'évaluation de l'aptitude des terres pour l'agriculture irriguée dans les projets FAO au Sénégal, pour ce qui concerne les deux premières classes. Pour les deux autres, le découpage s'appuie sur les limites admises pour l'aptitude à la mécanisation agricole.

4.2.1. Répartition des classes de pente

Classe 1 : 75% Classe 2 : 9.2% Classe 3 : 10.8% Classe 4 : 5%.

Il en ressort que:

- les pentes inférieures à 3 % confortent la prédominance des glacis cuirassés caractérisés par des pentes très faibles;
- le domaine des collines affecte près de 16 % de la surface étudiée, dont 5 % sont marqués par de fortes dénivelées.

4.2.2. Croisement sols-pentes

Avec 26 unités cartographiques pour les sols et 4 pour les pentes, le croisement de la carte des sols et de celle des classes de pentes produit théoriquement 104 combinaisons possibles qui se limitent à 92 dans notre cas (suite à l'absence de certaines d'entre elles). En tenant compte de la plus petite superficie lisible qui est sur une carte de 4 mm² (MAIGNIEN 1969) soit, 16 hectares à l'échelle du 1:200 000; toutes les plages dont la superficie n'est pas supérieure à ce nombre ont été rattachées à la classe de pente la plus proche dans la même unité cartographique de sol.

Nous disposons ainsi d'une information relativement plus détaillée sur les sols, car à chaque unité cartographique peut être associée une ou plusieurs classes de pente. Ces données supplémentaires incluses dans une procédure d'évaluation des terres permettent d'en améliorer la qualité.

Le croisement des données pose souvent un problème de multiplicité des combinaisons cartographiques qui alourdit l'interprétation. Le croisement d'une carte contenant n unités et d'une carte contenant p unités donne théoriquement $n \times p$ nouvelles unités. Dans le traitement des problèmes courants, il n'est pas rare de se retrouver avec un très grand nombre de combinaisons cartographiques dont certaines peu représentatives doivent être supprimées. Lorsque ces suppressions sont exagérées, elles influent à la longue sur la précision du résultat final.

Compte tenu de cette imprécision liée au croisement des cartes, il est parfois illusoire de vouloir en croiser plus de 2 ou 3 à la fois (LEGROS et BORNAN, 1989).

Cet exemple illustre les possibilités qu'offrent les SIG en matière de gestion dynamique des données de sols.

5. Quelques problèmes spécifiques

Dans la plupart des pays africains, le matériel informatique est acquis par le biais de convention de financement. Ces conventions sont telles que le type et la marque du matériel dépendent fortement du pays donateur. Cette situation est à l'origine de l'hétérogénéité du matériel qu'on peut trouver au sein d'un même service, avec tous les problèmes de maintenance que cela peut poser dans la mesure où toutes les marques n'ont pas de représentation commerciale dans le pays. La moindre panne peut ainsi signifier l'abandon du matériel.

La publicité est souvent agressive et incomplète. Les limites des produits sont rarement mentionnées par les revendeurs et il n'est pas rare de voir des systèmes fonctionner de manière incomplète parce qu'une des composantes matérielles n'est pas reconnue par le SIG.

Une règle élémentaire à adopter avant l'acquisition d'un SIG consiste à recenser les exigences matérielles de celui-ci en vue de les comparer à ce qui existe déjà ou d'intégrer les coûts du matériel complémentaire à celui du SIG.

L'utilisation de l'informatique en Science du Sol exige une rigueur supplémentaire dans la collecte des données. Le positionnement correct des points d'observation ou d'échantillonnage en terme de coordonnées est un minimum qu'il faut s'efforcer d'obtenir car la représentativité des données en dépend. Cette exigence est maintenant facilitée par l'utilisation d'appareils de positionnement portables couvrant la presque totalité de la terre et fonctionnant grâce à un réseau de satellites (Global Positioning System, GPS). Ce système est particulièrement adapté à la réalité africaine où les cartes topographiques à grande échelle font parfois défaut et où la mobilité de certains villages déroutent parfois le cartographe.

La collecte des données en Afrique devrait faire l'objet de plus d'attention car dans de nombreux pays cette tâche est confiée à des agents ayant reçu très peu de formation, dépourvus de moyens logistiques et très peu motivés.

Les SIG constituent des outils performants d'aide à la décision par leur puissance de calcul, et par leur capacité de localisation spatiale de l'information et de restitution de cette information. Ils permettent en outre de simuler différents scénarios en nuanciant un ou plusieurs paramètres d'un processus; ce qui permet d'en apprécier les conséquences avant qu'il ne se produise dans la réalité.

Il ne faut pas perdre de vue qu'un SIG ne vaut que par la qualité et la fiabilité des données qui l'alimentent. Celles-ci sont souvent entachées d'erreurs et d'imprécision pas toujours facile à détecter et/ou à quantifier, mais qu'il convient de ne pas éluder systématiquement; les erreurs les plus fréquentes pouvant résulter d'un manque d'homogénéité des fonds topographiques, de la faible densité des observations elles-mêmes, des mesures, des traitements numériques, de la digitalisation des cartes et de la distorsion des cartes imprimées. La précision des résultats peut également dépendre fortement des choix relatifs au contenu et à la taille des mailles élémentaires lorsqu'on effectue un traitement en mode *raster*. Une étude récente (NGONGO et al. 1992) sur modèle de simulation de la croissance du maïs (GOA-MAÏS) montre qu'en mode *raster*, le choix de l'unité cartographique dominante peut entraîner une erreur d'estimation du déficit hydrique de 21 %; erreur qui peut encore augmenter si la surface de l'unité dominante au sein de la maille est inférieure à 65 %, et diminuer dans le cas contraire. Le scénario de regroupement thématique (regroupement des unités typologiques de sols ayant les mêmes caractéristiques physiques de détermination du bilan hydrique) est celui qui offre la plus faible erreur de prédiction.

Conclusion

La pénétration de l'informatique dans le domaine de la Science du Sol est une réalité qui se confirme de jour en jour. Les premiers pas dans les pays francophones ont été effectués grâce au comité « Informatique et Biosphère » qui a contribué à la mise au point d'une esquisse de vocabulaire adapté aux données de sols. Les banques de données de sols ont pris

le relais et ont permis d'accomplir de réels progrès dans la standardisation de la description des profils et de leur environnement.

Beaucoup d'efforts restent cependant à accomplir pour faire adopter de nouvelles méthodes de saisie de données plus conformes à leur gestion informatique et plus particulièrement à leur intégration dans un SIG. Les SIG sont des outils à la fois puissants et complexes qui peuvent être d'excellents auxiliaires dans la gestion des ressources naturelles et l'inventaire des options de développement. Les performances technologiques ne doivent cependant pas faire illusion car le facteur humain reste malgré tout déterminant dans l'acquisition des données, les choix et l'acceptabilité des solutions.

L'Afrique est à la croisée des chemins du fait qu'elle possède des situations naturelles favorables à l'expérimentation de nombreuses technologies et il serait salutaire d'éviter que cette spécificité n'engendre ce que HASTINGS et CLARK (1991) ont appelé un « zèle missionnaire » menant souvent l'Afrique à des problèmes non posés.

Bibliographie

- BERTRAND R., FALIPOU P., LEGROS J.P. (1984). « Notice n°1 pour l'entrée des descriptions et analyses de sols en banque de données », ACCT-Paris.
- BURROUGH P.R. (1985). « Principle of geographical information systems for land and resources assessment ». Monograph on soil and resources survey n° 12, Oxford sciences publication, Clarendon Press, Oxford, UK.
- CHAUVEL A. (1967). Carte pédologique du Sénégal au 1/200 000, feuille de Kédougou-Kéniéba-Kossanto. Orstom, Dakar-Hann, Sénégal.
- EASTMAN J.R.(1992). IDRISI Version 4.0 rev.1.Clark University Graduate School of Geography, Worcester, Massachusetts, USA.
- ESRI (1992) PC ARC/INFO Version 3.4D plus, *Reference guide*, Environmental Systems Research Institut 380 New york street Redlands, CA, USA.
- FAO (1991) « Computerized systems of land resources appraisal for agricultural development » (W/5554) FAO, via delle terme di Caracalla, Rome, Italy.
- FAO-ISRIC Soil Database (1989). World soil resources reports n° 64, FAO, via delle terme di Caracalla. Rome, Italy.
- HASTINGS D., CLARK D. (1991) « GIS in Africa : problems, challenges and opportunities for co-operation », In *Intern. Journ. of Geographical Information System*, vol. 5 n°1, p.29-39. Ed. Taylor & Francis ; London, Washington DC.
- International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (1992). ILWIS 1.3 User's Manual ITC Enschede, Netherlands.
- JONES J. (1992). *Tosca reference guide*, Clark university, Worcester, Massachusetts, USA.
- LEGROS J.P. (1991). « Geographical information technology in the field of environment », UNEP/UNITAR and EPFL training programme in GIS. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.

- LEGROS J.P., BORNAND M. (1989). « Système d'informations géographiques et zonage agro-pédo-climatique », Séminaire Agro-météo INRA., INRA-Science du Sol, Montpellier, France.
- LEMMENS M.J. PM.(1991). « GIS, the data problem », in *Proceedings EGIS 1991 Vol.I*; EGIS Foundation, Utrecht, The Netherlands.
- MAIGNIEN R. (1969). *Manuel de prospection pédologique. Initiation.*, Documentations Techniques n°11, Orstom, Paris.
- MEIJERINK A.MJ (1988). Data capture and coding through terrain mapping units; in ILWIS ITC Publication n°7, ITC, Enschede, The Netherlands.
- NGONGO L., KING D., NICOUILLAUD B., BRISSON N., RUGET F. (1992). « Estimation des erreurs de prédiction du déficit hydrique dues à la rasterisation des cartes de sols », Communication présentée à la journée à thème conjointe des Sociétés belges de Pédologie et de Génie rural. Editeur Bock L. Unité des Sciences du Sol et de la Terre. Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique.