

1
CN 010-1452
P310
KH 0

ACTES DU SEMINAIRE ORGANISE
CONJOINTEMENT PAR L'OMVG ET L'UCL
DU 31 MAI AU 02 JUIN 1999
AVEC LE SOUTIEN
DE LA REGION WALLONNE ET DE L'APEFE
BELGIQUE

*METHODES ET TECHNIQUES DE MISE EN
OEUVRE INTEGREE ET PARTICIPATIVE
POUR UN DEVELOPPEMENT DURABLE DES
BASSINS VERSANTS DE L'OMVG
DIAGNOSTICS ET EXPERIENCES DE
TERRAIN*

DAKAR 1999

Les systèmes d'information géographique et la gestion des ressources naturelles

Dr. M. Khouma*

Chercheur à l'ISRA

Résumé

La communication débute par quelques définitions des Systèmes d'Information Géographique (SIG), suivies d'un aperçu sur les principales caractéristiques du SIG ARC/INFO, version PC. Les potentialités offertes par les SIG sont, développées à travers une série d'exemples sur la *moyenne vallée* du fleuve Gambie, dans sa *partie sénégalaise*.

La carte pédologique de reconnaissance de cette zone à l'échelle du 1:200.000 réalisée par CHAUVIN (1967) a été utilisée comme document de base. la digitalisation de cette carte a permis d'identifier 26 unités cartographiques dont 19 unités simples et 7 associations de sols. Les caractéristiques physiques et chimiques des profils représentatif ont été saisies et associées aux différentes unités cartographiques.

A partir de la carte topographique IGN au 1200.000, les courbes de niveau de la zone ont été digitalisées et traitées pour aboutir à un modèle numérique de terrain (MNT), qui affecte une altitude à chaque pixel de la carte. Une des applications du MNT réside dans la possibilité de visionner le relief en 3 dimensions.

La digitalisation de la carte d'occupation du sol à l'échelle 1200.000 a permis d'évaluer la disponibilité annuelle en bois.

L'ARC carte de répartition de la longueur de la période de croissance, ainsi qu'une carte de répartition de l'aptitude à la culture traditionnelle de l'arachide ont été créées. Pour cela il a fallu créer dans la base de données les attributs « longueur de la période de croissance » et « aptitude à la culture dz l'arachide » et affecter à chaque polygone dz la carte pédologique la valeur de l'attribut correspondant.

I. introduction

Les systèmes d'information géographique constituent de nos jours des outils de gestion et d'aide à la décision abordables. grâce aux performances du matériel informatique de plus en plus puissant et bon marché.

A travers une série d'exemples concrets, des applications possibles des systèmes d'information géographique, utilisant les informations disponibles, sont développées sur la moyenne vallée du fleuve Gambie, dans la zone de Kédougou au Sénégal.

II. Définition

Un système d'information géographique 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).

L'association française de photogrammétrie et de télédétection a adopté la définition suivante : « Un système d'information géographique (SIG) est un

système informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler et 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 ». (BUCHE et *al.*, 1992)

LEMMENS (1991) élargit la définition à la notion de contrôle et définit le SIG comme un système d'information 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 (feed-back) sur un mécanisme approprié de contrôle de qualité.

On retrouve dans ces définitions les principales fonctions des SIG, cependant celle qui semble la plus explicite est celle de LARDON (1992 in DEFFONTAINES et LARDON) qui s'appuie sur les fonctionnalités internes et qui s'intitule ainsi : « Les outils SIG sont basés sur des concepts de formalisation de l'espace en termes d'objets (points, lignes, surfaces). La topologie est généralement connue. Ces objets graphiques auxquels on peut appliquer tous les traitements

* ISRA B.P. 3 | 20 Dakar Tél. 832.3428. Télécopie : 832.24.27. E-mail : douma@isra.refer.sn

graphiques, sont reliés à une série d'attributs, auxquels on peut appliquer tous les traitements numériques ou symboliques. Cette intégration au sein d'un même système permet de raisonner alternativement dans deux univers, celui des données que l'on peut représenter graphiquement, et celui des objets graphiques dont on peut connaître les caractéristiques. Parmi les traitements possibles des objets graphiques, l'agrégation qui consiste à en construire de nouveaux par la fusion d'objets voisins ayant les mêmes caractéristiques, et la superposition, qui génère de nouveaux objets par intersection, sont les fonctionnalités les plus performantes et les plus nouvelles ».

Les Systèmes d'Information Géographiques se différencient en deux grandes familles ou modes de représentation de données spatialisées : le mode vectoriel et le mode **raster**.

2.1. Le mode vectoriel

Dans ce mode, les éléments cartographiques points, lignes et polygones sont définis par leurs coordonnées. Une structure topologique décrivant les relations entre les différents objets permet une représentation graphique fidèle. 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.

2.2. Le mode raster

Dans le mode **raster**, la zone à représenter est subdivisée selon une grille de cellules. 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 dimensions de la cellule représentent la résolution spatiale.

Les avantages de ce mode reposent sur le découpage uniforme de l'espace géographique, ce qui donne plus de puissance à l'analyse spatiale. Le mode **raster** reproduit de manière satisfaisante une variable à distribution continue (CALOZ, 1990 cité par CLARAMUNT, 1992). 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 télédétektées qui sont toujours sous format **raster** constitue "un plus".

Le format exprime en mode **raster** la séquence des valeurs décrivant l'image numérisée (COLLET, 1992).

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 lorsque la taille du pixel est grande comparativement à la dimension des unités spatiales.

2.3. 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 des bases de données les plus connues (KHOUMA et al., 1995).

La plupart des traitements que nous avons effectués dans cette étude l'ont été avec les SIG ILWIS (ITC, 1992), PC-ARC/INFO (ESRI 1992, 1994) et/ou IDRISI (EASTMAN, 1992) : pour des traitements spécifiques, ARC/INFO reste cependant le SIG le plus utilisé au monde.

2.4. Description du SIG PC/ARC-INFO

Le SIG est constitué d'un ensemble de sous-modules permettant d'effectuer des traitements spécifiques :

- Starter kit, pour la création d'attributs, la conversion de formats, l'aide et les informations générales ;
- Arcedit, pour la digitalisation, la correction et l'édition ;
- Overlay, pour la superposition des couvertures ;
- Arcplot, pour l'affichage et la composition cartographique ;
- Network, pour la gestion des réseaux (voies de communication, lignes électriques, etc.)

Avant de pouvoir intégrer les données de base dans les systèmes d'information géographique, il fallut procéder à un important travail de tri, de sélection, d'ajustement et de saisie car leur formulation n'était pas toujours compatible avec les exigences des SIG. La première étape a consisté à numériser (digitaliser) les documents cartographiques disponibles.

2.5. Digitalisation des cartes

L'un des objectifs les plus importants de la digitalisation (numérisation) est de permettre le regroupement de données graphiques sous une forme numérique commune facilitant leur manipulation et leur mise à jour. D'autres objectifs peuvent également être cités (BAUMGARDNER, 1991) :

l'amélioration de la capacité à livrer une information précise et utile à temps sur les ressources en sols et sur le terrain aux décideurs;

la superposition des données et/ou leur intégration à d'autres données sur les ressources (climat, topographie, géologie, hydrologie, végétation, l'utilisation des terres) dans un système de gestion de l'information géographique plus vaste.

l'agencement correct de l'information sur les sols;

l'amélioration de la standardisation et de la compatibilité de l'information des rapports sur les sols et le terrain;

la constitution d'un système dynamique d'information sur les ressources;

la disponibilité d'une information pour la planification de ressources nationales;

la création d'un système de modélisation pour le transfert de technologie.

2.5.1. 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, à partir d'une série de sondages à la tarière, 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 (tableau 2). Les profils représentatifs correspondent à la conception cartographique de l'époque et résultent de la description de la majorité des profils les plus semblables les uns des autres. Il ne faut cependant pas perdre de vue que certaines variations existent autour de ces profils représentatifs. La carte numérisée est représentée sur la figure 1.

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).

Toutes les opérations arithmétiques et logiques peuvent être effectuées sur les attributs associés aux unités cartographiques que sont les polygones, avec possibilité de représenter graphiquement le résultat ou de le stocker dans un fichier défini.

La quantification des superficies s'est faite dans PC-ARC/INFO qui offre plus de précision dans ce genre de calcul, compte tenu de son mode de représentation vectorielle. Le tableau 1 reprend la superficie de chaque unité cartographique et son pourcentage par rapport à l'ensemble de la zone d'étude.

Tableau 1 : Superficie des unités cartographiques

Unité Cartographique	Superficie en ha	Pourcentage
1	2854	1.71
2	9206	5.52
3	1191	0.71
a	34842	20.9
ag	14919	8.94
b	530	0.32
bk	8783	5.27
c	128	0.08
dj	2436	1.46
dt	9034	5.42
e	1353	0.81
Fleuve	4239	2.54
g	22821	13.7
gi	9396	5.63
gw	1212	0.73
h	79	0.05
j	1679	1.01
l	487	0.29
m	287	0.17
n	3884	2.33
o	24422	14.6
ov	3315	1.99
p	960	0.58
q	1241	0.74
r	6098	3.66
s	784	0.47
v	638	0.38
Total	166818	100

Figure 1: Carte pédologique numérisée de la zone de Kédougou



LEGENDE

- sol minéral brut d'érosion sur cuirasse(a)
- sol minéral brut d'érosion sur grès(b)
- sol minéral brut d'érosion sur roches basiques(c)
- sol minéral brut d'érosion sur schistes(e)
- sol peu évolué d'érosion sur matériau gravillonnaire(g)
- sol peu évolué d'érosion sur débris de roches diverses(h)
- sol peu évol.faciés br. sur débr. de roches basiques diverses(j)
- sol peu évol.d'apport ferrug.trop.sur matériau sableux à SA(k)
- sol peu évol.d'apport ferrug.trop.sur collu.et rembl.SA +/-L(m)
- sol peu évol.hydr.sur matériau gravill.+/- L à A de plateau(n)
- sol peu évolué hydr.sur mat.AS gravill.des axes de drainage(o)
- sol peu évol. hydr.sur bourrelets alluviaux L à SA(p)
- sol peu évolué vertique sur matériau argileux gonflant(q)
- vertisol lithomorphe sur mat. argileux gonflant +/- gravil.(r)
- vertisol lith. grumosol. en surf. sur mat. argileux gonflant(s)
- sol ferrug.trop. less. sur mat. sablo-argil. AS colluvio-alt.(v)
- sol hydromorphe sur alluvions diverses(1)
- sol hydromorphe sur matériaux argilo-sableux(2)
- sol hydromorphe structuré sur alluvions argileuses(3)
- association de sol sur cuirasse et de sol gravillonnaire(ag)
- association de sol b et de sol k (bk)
- association de sol d et de sol j (dj)
- associat.de sol brun et de sol eutrophe et de sol d (dt)
- associat. de sol peu év. sur argile d'altération(i) et g (gi)
- associat.de sol ferrug. less. sur matériau AS à A et g (gw)
- associat.de sol (o) et de sol (v) (ov)
- Fluve Gambie

Tableau 2 : Caractéristiques des sols considérés dans l'évaluation des aptitudes

	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	v	w	1	2	3
Profondeur cm	80	50	60	60	100	45	90	25	70	100	75	85	100	100	100	80	100	100	100
Texture	M	F	F	M-F	G	M	M	M	M	M	F	F	F	F	M	M	TF	M	M-F
El. gr. (zone racinaire) %	67	80	80	80	80	80	5	80	80	0	40	50	5	50	0	0	0	0	0
Drainage ext.	B	B	M	B	B	B	B	P	P	M	P	P	P	B	M	I	P	P	P
Inondation	0	0	0	0	0	0	E	E	E	E	OC	OC	OC	0	0	0	Ri-6	R1-3	R
Cec meq/100g	10	23	-	11	5	4	7.5	6	5	9	18	28	28	20	3	3	12	4	10
BaseEch. meq/100g	9	23	-	11	5	3	4	3	3	5	18	28	28	24	5	5	4	3	6
pH	6.4	7.4	-	6	6.6	5.4	5.7	5.2	5.1	5.7	6.8	6.7	6.8	6.0	5.8	5.8	4.7	5.6	5.2
Mat. organ. %	3	5.3	-	2.5	1.5	.5	1.1	1.3	1	2.7	.9	2	3	1.5	1	1	1	1.6	1
Pente %	0-3 15-46	0-3	0-3	15-46	0-3	3-6	0-3	0-3	0-3	0-3	0-3	0-3	0-3	15-46	0-3	0-3	0-3	0-3	0-3
AM. Roch. %	30-35	30-35	30-35	30-35	30-35	30-35	0	0	3	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0
El. gr. en surface %	60	80	80	80	80	60	5	70	50	0	40	50	5	50	0	0	0	0	0
RU mm	36	16	20	55	46	11	41	11	32	72	34	67	157	180	33	37	120	120	120

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.

2. 5. 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.

2. 5. 2. 1. Le MNT

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. Voir figure 2).

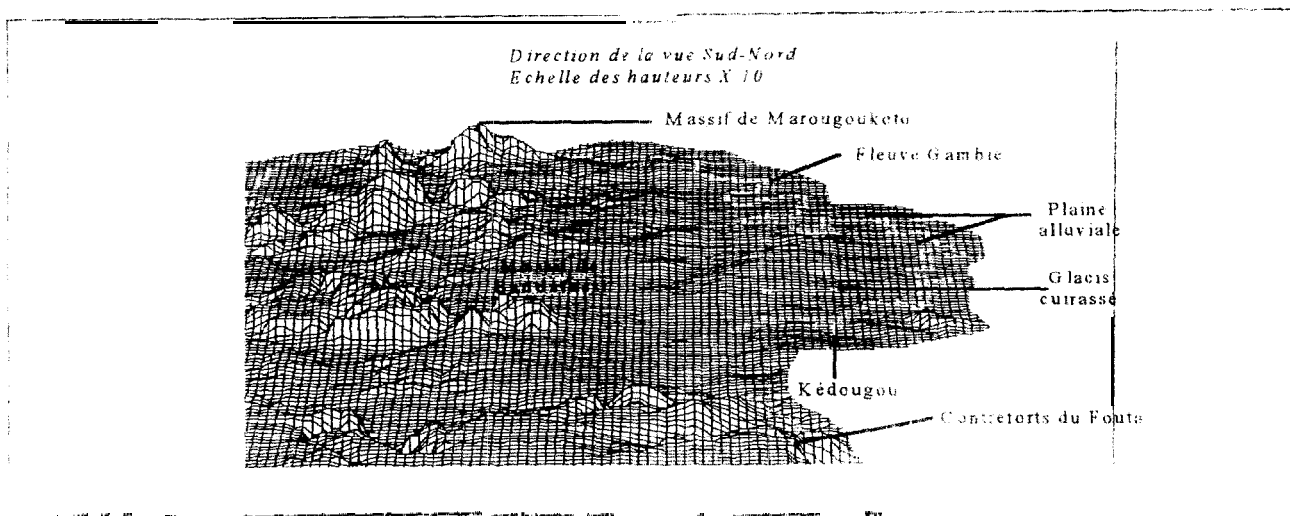


Figure 2 : Vue en 3D de la zone

La **vue** en perspective ainsi réalisée permet de distinguer nettement les 4 grandes unités morphologiques de la zone :

- les collines de roches basiques;
- les contreforts du Fouta Djallon matérialisés par une grande falaise orientée Est-Ouest;
- 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.

3. 5. 2. 2. Classe de pentes

Les valeurs individuelles de pente qui s'échelonnaient de 0 à 45% ont ainsi été regroupées en 4 classes (figure 3):

- 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.

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.

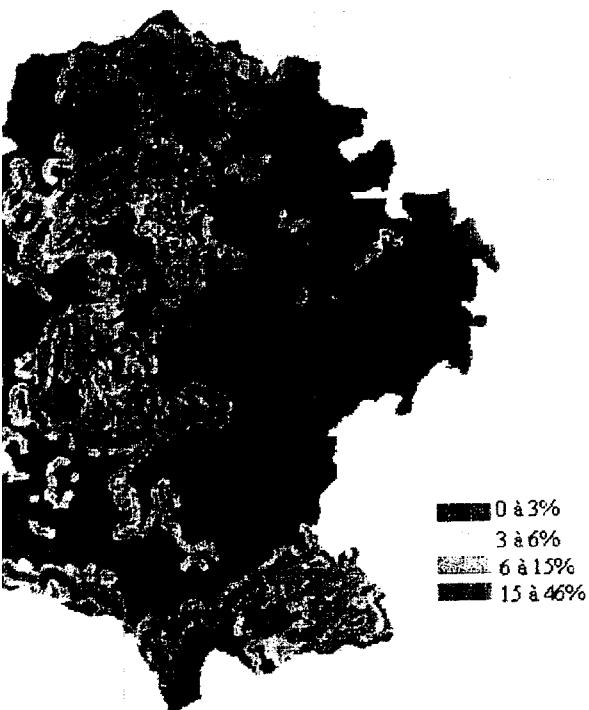


Figure 3 : Carte des pentes (%) de la zone de Kédougou

3. 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 sur une carte que nous avons fixé à 4 mm² sur une carte (Figure 3) (MAGNIEN 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 peuvent être incluses dans la procédure d'évaluation des terres pour 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 x 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).

2. 5. 4. Carte d'occupation du sol

La carte d'occupation du sol à l'échelle 1:200.000 a été digitalisée. La classification complète durigine (Université du Michigan, 1985) a été légèrement modifiée.

Le tableau 3 donne la répartition en superficie des différentes occupations telles que nous l'avons calculée.

Catégorie	Superficie (ha)	%
Forêt fermée	14013	8,4
Forêt ouverte	118941	71,3
Forêt galerie	5839	3,5
Cultures pluviales	21353	12,8
Ville (>40 ha)	279	0,16
Fleuve Gambie	4170	2,5
Surface nue	2335	1,4
TOTAL	166 918	100

Tableau 3 : Répartition des occupations du sol

2. 5. 5. Disponibilité en bois

A travers cet exemple nous voulons illustrer une autre application tirée de la digitalisation de la carte d'occupation du sol et qui intéresse au premier chef les planificateurs de l'utilisation des ressources naturelles dans les pays sahéliens et plus particulièrement des ressources en bois. Pour une gestion durable des ressources ligneuses, il est impératif d'exclure tout abattage dans la zone des savanes sur cuirasse car les possibilités de régénération y sont rares et tout abattage y contribuerait à une fragilisation des sols naturellement peu profonds. En adaptant les chiffres d'accroissement publiés par la FAO (1981) pour les zones tropicales similaires à notre zone d'étude, on aboutit à :

- 2 m³/ha/an pour la forêt galerie;
- 1,5 m³/ha/an pour la forêt fermée;
- 0,75 m³/ha/an pour la forêt ouverte.

Ceci se traduit par:

- 11678 m³/an au niveau de la forêt galerie;
- 21020 m³/an au niveau de la forêt fermée;
- 62681 m³/an au niveau de la forêt ouverte (les zones sur cuirasse étant exclues).

Cette disponibilité annuelle en bois est donc de l'ordre de 96379 m³. Pour une population totale estimée à 24865 habitants dont 11216 pour la ville de Kédougou, la disponibilité annuelle per capita est de 3,8 m³ de bois pour des besoins estimés à 1,36 m³ au niveau national. Le caractère excédentaire de la zone est évident et il se marque encore plus si on étend les calculs à l'ensemble du département. Le département de Kédougou peut contribuer de manière significative à la satisfaction des besoins en bois d'une bonne partie du Sénégal. Il faudrait cependant que les ressources ligneuses soient gérées

autrement, c'est à dire en impliquant davantage les populations dans une politique **cohérente** de gestion des terroirs, les terroirs étant les zones où les paysans **contrôlent** le foncier et gèrent l'espace (BERTRAND, 1985) et en **contrôlant** mieux l'exploitation anarchique du **charbon** de bois dont le marché est contrôlé par des commerçants urbains qui ne défendent que leurs intérêts immédiats, sans aucune préoccupation sur la **perennité** des ressources.

2.5.6. Longueur de la période de croissance

Des données provenant d'autres applications peuvent facilement être intégrées dans les SIG, à partir du moment où les références géographiques **restent** identiques. Nous avons pu ainsi établir une: carte de répartition de la longueur de la période de croissance (figure 4). ainsi qu'une carte de répartition de l'aptitude à la culture traditionnelle de l'arachide. Pour cela, il a fallu créer dans la base de données les attributs "longueur de la période de croissance et "aptitude à la culture de l'arachide" et affecter à chaque polygone de la carte **pédologique** la valeur de l'attribut correspondant, en fonction du thème choisi.

La longueur de la période de croissance est regroupée en quatre classes :

- (99-111 jours);
- (111-120 jours);
- (120-130 jours);
- (130-140 jours).

2.5.7. Aptitude culturale

L'aptitude se détermine en **confrontant** les exigences de la culture envisagée (tableau 4) dans un contexte précis (mode d'exploitation) et **les qualités** des sols définies à partir de leurs caractéristiques.

Le mode d'exploitation traditionnel se caractérise par:

- le faible niveau d'intensification;
- peu ou pas d'utilisation de variétés améliorées;
- peu ou pas d'engrais et de pesticides;
- une très forte intensité du travail, principalement familial;
- la pratique de la jachère.

Le mode d'exploitation traditionnel **amélioré** conserve les mêmes caractéristiques que le mode traditionnel mais s'en démarque par une meilleure pénétration des thèmes vulgarisés par les services de vulgarisation et de conseils intervenant en milieu rural :

- utilisation d'engrais et de pesticides (souvent à des doses **inférieures** à celles préconisées);
- utilisation de semences améliorées et pratique du semis en ligne;
- usage de la traction **animale**;
- accès limité au crédit agricole,

2.5.8. Classification de l'aptitude

Au premier niveau de la classification., une distinction est faite entre les terres aptes (classe S) et les terres inaptes (classe N). Au deuxième niveau, la classe S est subdivisée en trois sous-classes : très apte (S1), **moyennement** apte (S2) et marginalement apte (S3). La classification choisie est adaptée aux conditions spécifiques du Sénégal prend en compte le nombre et le degré des contraintes avec les contenus suivants (VERHEY E. 1989, 1993) :

- S1 terres très aptes présentant peu ou pas de limitation à la culture considérée, avec au maximum 3 ou 4 contraintes **faibles et/ou** au maximum une contrainte moyenne;
- S2 : terres moyennement aptes, avec plus de 3 ou 4 **contraintes faibles et/ou** au maximum 3 ou 4 contraintes moyennes;
- S3 : terres marginalement aptes, avec plus de 4 contraintes moyennes **et/ou** au maximum 2 contraintes **sévères** à condition que celles-ci soient de nature à être corrigées. 'Trois contraintes **sévères** peuvent être admises dans le cadre d'une agriculture de type traditionnel simple.

Les sols présentant des facteurs limitants majeurs tels que les sols minéraux bruts lithologiques sont écartés dès le départ et mis dans la classe N.

Les rendements correspondant aux classes d'aptitude ont été évalués sur la base des essais de fertilisation mis en place par le Bureau de Pédologie du Sénégal, des observations des services traditionnelles de l'agriculture (Inspection Régionale de la Production Agricole et Service Départementale de l'agriculture) et de nos propres entretiens avec les agriculteurs (tableau 5). Cette **évaluation** s'impose pour bien indiquer la relativité de la notion, d'aptitude, car ce qui dans la classe S1 correspond à un rendement défini pour une zone donnée ne sera pas identique dans un autre contexte, parce que influencé par des considérations techniques, économiques et sociales différentes.

Tableau 5 : Rendements en kg/ha de l'arachide selon la classe d'aptitude

Classe d'aptitude	Arachide
S1	>1500
S2	800-1500
S3	400-800

Figure 4 : Longueur de la période de croissance
orsqu 'il s'agit d'une association de sols, les deux
composantes sont séparées par "/"

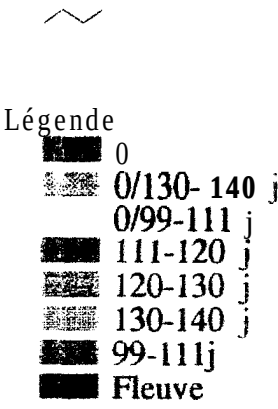
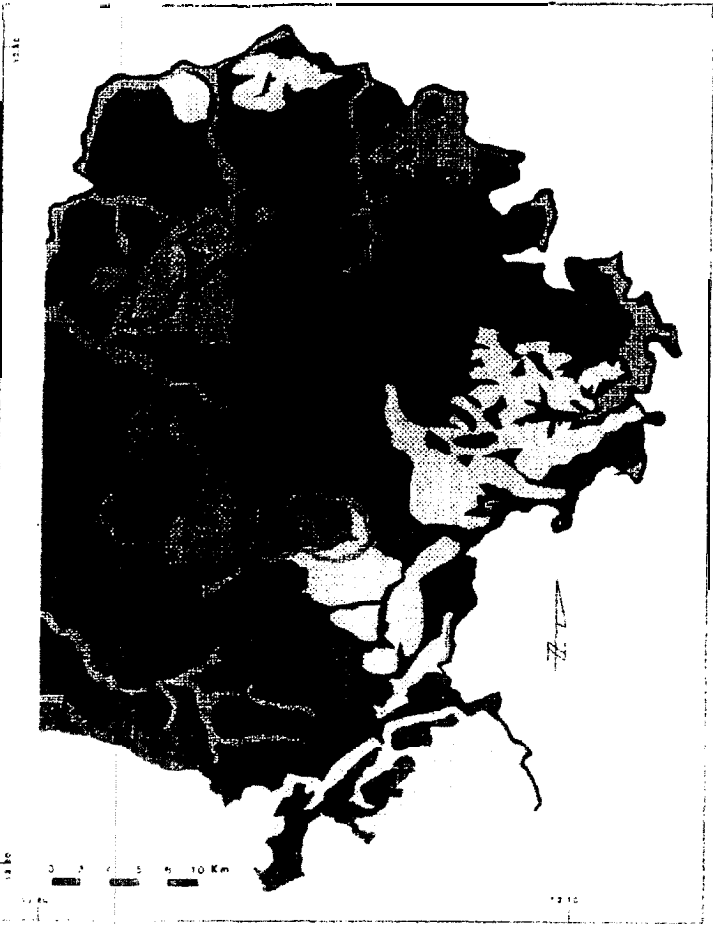


Tableau 4 : Exigences de l'arachide en culture traditionnelle.

- Caractéristiques-Qualités	Degrés de contrainte			
	Pas (P)	Faible (F)	Moyen (M)	Sévère (S)
Condition de labour et risque d'érosion				
Pente %	0-8	8-15	15-30	>30
Affleurement rocheux	0-8	8-15	15-30	>30
Eléments gross. 0-15 cm	0-3	3-8	8-60	>60
Conditions d'enracinement				
Profondeur effective cm	>80	50-80	30-50	<30
Texture 0-50 cm	M	MF-G	F-TF	
Teneur élém.grossier. %	0-3	3-15	15-60	>60
Conditions d'aération				
Drainage externe	B	M	I	P
Risque d'inondation	O	E-C	O-C	R
Disponibilité en éléments nutritifs				
CEC 0-50 cm méq/100g	>10	5-10	<5	
Somme des bases	>8	5-8	<5	
pH (eau)	6.5-7.5	5.5-6.5	4.8-5.5	<4.8
Matière organique 0-15 cm	>2	1-2	<1	
Sensibilité aux éléments toxiques				
Conductivité électriq. dS/m	0-2	2-4	4-6	>6
Pourcentage Sodium éch.	0-8	8-15	15-25	>25

Pour la texture

M = moyenne; F = fine; TF = très fine; G = grossière

Pour le drainage

B = bon; M = modéré; I = insuffisant; P = pauvre

Pour l'inondation

O = occasionnelle; E = exceptionnelle

OC = occasionnelle courte; R = régulière

On peut retenir de cette détermination que les sols présentant les meilleures aptitudes pour l'arachide sont les unités m, s, v, w, 2 et 3 (voir légendé carte pédologique).

2. 6. Conclusion

Les systèmes d'information géographiques de par leur capacité à stocker, gérer, ordonner et mettre à jour l'information constituent de précieux outils de gestion. Là où toutes les données ne sont pas toujours disponibles, un effort supplémentaire d'ajustement et d'estimation est souvent nécessaire, surtout lorsque les documents n'avaient pas été conçus pour une utilisation informatique, comme ont eu à le constater KING et al (1994) lors du travail de constitution d'une base européenne de données à partir des cartes pédologiques.

La maîtrise des outils SIG passe aussi par une bonne connaissance de leurs limites. Ce 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. Ils constituent de performants outils; d'aide à la décision par leur puissance de calcul, de restitution de l'information et de localisation spatiale de cette information. Ils permettent, en outre, de simuler différentes situations en modifiant un ou plusieurs paramètres d'un processus; ce qui permet d'en apprécier les conséquences avant qu'il ne se manifeste dans la réalité. Leur utilisation en science du sol est une réalité qui se confirme de jour en jour. Les applications sont de plus en plus nombreuses et de plus en plus sophistiquées. Les SIG doivent cependant être utilisés avec méthode, et une réflexion préliminaire s'impose avant l'intégration de toute couche d'information systématiquement (ENGELS et al 1993).

Beaucoup d'efforts restent cependant à accomplir pour faire adopter de nouvelles méthodes de saisie de données plus conformes à leur environnement informatique et plus particulièrement à leur intégration dans un SIG. La qualité des données à inclure dans un SIG doit être une préoccupation permanente car les traitements les plus sophistiqués n'ont aucun intérêt si les informations de départ ne sont pas fiables.

Les performances technologiques ne doivent cependant pas faire illusion car le facteur humain reste malgré tout déterminant dans les choix et dans l'acceptabilité des solutions. Le SIG comme l'a souligné DAUTREBANDE (1993) ne remplace pas l'enquête de terrain ni ne se substitue à la faculté de synthèse et d'analyse de l'interprète; il facilite cependant largement l'approche holistique et dynamique "actualisable" dans le temps et dans l'espace.

Références bibliographiques

- BAUMGARDNER, M.F. (1991) Report of working group on "world soils and terrain digital database(DM)". Intern. Soil Scien, Bull.n°80 1991/2 ISSS WIEN AUSTR.
- BERTRAND, A. (1985) Les nouvelles politiques de foresterie en milieu rural du sahel. réglementations foncières et forestières et gestion des ressources ligneuses naturelles dans les pays de la zone soudano-sahélienne in revue bois et forêts des tropiques n°207, 1er trimestre 1985, p.23-39.
- BUCHE, P.; KING, D; LARDON, S.(1992) Gestion de l'espace rural et Système d'Information Géographique, INRA Editions, VERSAILLES, FRANCE, 421 p.
- BURROUGH P. A. (1991) The development of intelligent geographical information systems in proceedings EGIS 91 vol 1 BRUXELLES april 1991, EGIS Foundation. UTRECHT, THE NETHERLANDS.
- CHAUVEL, A. (1967) Carte Pédologique du Sénégal au 200.000 ème. Kédougou - Kossanto - Kéniéba ORS-TOM, DAKAR-HANN, SÉNÉGAL..
- CLARAMUNT, C. (1992) in Gestion de l'espace rural et système d'information géographique. Séminaire INRA de FLORAC, INRA, VERSAILLES, FRANCE, p.381-392.
- COLEFI, C. (1992) Systèmes d'information géographiques en mode image. Presses polytechniques et universitaires romandes LAUSANNE, SUISSE.. 186 p.
- DANCETTE, C. (1979) Agroclimatologie appliquée à l'économie de l'eau en zone soudano-sahélienne. in l'Agronomie Tropicale xxxiv-4 p.33 1-355, IRA T. PARIS.
- DAUTREBANDE, S. (1993) Gestion des zones humides et des sécheresses. contribution des Systèmes d'Information Géographique et Télédétection. Bull. Rech. Agron. Gembloux [1993] 28 (2-3). p. 241-245, GEMBLOUX, BELGIQUE.
- DEFFONTAINES, J.P.; LARDON, S. (1994) Itinéraires cartographiques et développement, INRA, PARIS, FRANCE, 136 p.
- ENGELS, P. ; BOCK, L.; NEVEN, C. ; MATHIEU, L. (1993) Exemples d'utilisation de la carte des sols de Belgique comme base d'un système d'information géographique

FAO (1988) Directives : évaluation des terres pour l'agriculture pluviale, bulletin pédologique de la FAO, n°52, FAO, ROME, ITALIE.

FAO (1978) World Soil Resources Report 48, report on the agro-ecological zones project methodology and results for Africa. FAO, ROME, ITALY.

ITC (1992) ILWIS 1.3 User's manual Vol. 1 & 2, ITC ENSCHEDE, THE NETHERLANDS, 269 p.

KHOUMA, M., BOCK, L., MATHIEU, L., ENGELS, (1995) Systèmes d'Information Géographiques et gestion des données de sols, communication présentée au Symposium International sur la Télédétection et les SIG, AISS-AOCASS OUAGADOUGOU, BURKINA FASO, 6-10 Février 1995, 16 p.

KHOUMA, M. (1995) Identification et évaluation des ressources en sols dans la moyenne vallée du fleuve Gambie et problématique de leur gestion par les systèmes d'information géographiques. Thèse de Doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, BELGIQUE.

LEGROS, J.-P. (1991) Geographical information technology in the field of environment UNEP/UNEPAR and EPPU training programme in GIS, LAUSANNE, avril 1991, Swiss Federal Institute of Technology Agricultural Engineering Department, 62 p.

LIMMENS, M.J.P.M. (1991) gis. The data problem in egis proceedings 91, Bruxelles april 1991 EGIS Foundation, Utrecht, the Netherlands.

MEMENTO de l'Agronome (1991) 4e édition, collection Techniques Rurales en Afrique, Ministère de la Coopération et du Développement, France, 1635 p.

NGONGO, L., KING, D., MICHIELAUX, B., BRINSON, N., RUGET, F. (1992) Estimation des erreurs de prédiction spatiale du déficit hydrique dues à la rasterisation des cartes de sols. Journées de la Société Belge de Pédologie et de Génie Rural, Société Belge de Pédologie et de Génie Rural, ED. BOCK, UER des Sciences du Sol et de la Terre GEMBLoux, BELGIQUE.

SYS, C.; VERHEYE, W. (1975) Principles of land classification in arid and semi-arid regions, International Training Center for Post-graduated soil scientists, State University GHENT, BELGIUM 44 p.

VERHEYE, W. (1989) Aptitude culturale des terres du Burkina Faso, labo Algemene Bodemkunde RUG, GENT, BELGIUM.

VERHEYE, W. (1993) Matching land qualities and land use requirements for land suitability classification. Lecture presented at the international seminar on land evaluation methodology for sustainable agriculture for Mexico, Colegio de posgraduados de MONTECILLO, MEXICO, 16 p.