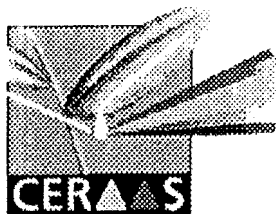


CR001154



Centre d'Etude Régional pour
l'Amélioration de l'Adaptation à
la Sécheresse



Rapport de stage

effectué au CERAAS

ETUDE DE L'INTEGRATION D'UNE COMPOSANTE SOCIO-
ECONOMIQUE AU SIG DE PREVISION DES RENDEMENTS DU
DEPARTEMENT DE DIOU-RBEL

Présenté par : Ivan Staub

Directeur de stage : Harold Roy-Macauley

Maître de stage : David Boggio

CERAAS

HP : 3320 Thiès Escalé
Thiès Sénégal

Tél : 951 49 93 / 94

Tél / Fax : 95 1 49 95

Fax : 951 50 03

e-mail ceraas@syfed.refer.sn

Du : 01/07/97 au : 12/12/97

STAU
5169

RE:MERCIEMENTS

A Harold ROY-MACAULEY, Directeur du CERAAS, pour m'avoir accueilli au sein de son équipe.

A David BOGGIO, mon maître de stage, pour ses conseils, sa patience et sa générosité

Aux chauffeurs Pierre NDOUR, Saliou GNING, Allé Fam SAMB et aux techniciens Papa Mamadou NDIAYE et Abdou FAYE pour toutes les missions passées ensemble.

Aux paysans du département de Diourbel pour leur accueil, leur disponibilité et leur gentillesse, et plus particulièrement à ceux du village de Ngosse.

A tout le personnel du CERAAS pour leur collaboration technique.

Enfin, à tous ceux qui de près ou de loin ont permis que ce stage se déroule dans de bonnes conditions.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	3
2. PRÉSENTATION DU CERAAS	4
2.1 Historique	4
2.2 Les objectifs du CERAAS	4
2.3 Les activités scientifiques	5
2.4 Moyens	6
2.5 Résultats	6
3. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE : LE DEPARTEMENT DE DIOURBEL	8
3.1 Situation géographique au sein du Sénégal	8
3.2 Climat et pluviométrie	9
3.3 Economie et agriculture	10
3.3.1 La situation du Sénégal	10
3.3.2 Le « bassin arachidier »	10
4. LE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE MIS EN PLACE DANS LE DEPARTEMENT DE DIOURBEL	12
4.1 Caractéristiques générales d'un SIG	12
4.1.1 Les données	12
4.1.2 La base de données	13
4.1.3 Le système d'affichage cartographique	13
4.1.4 Les systèmes d'analyses statistique et géostatistique	13
4.2 Le SIG de prévisions des rendements du CERAAS	13
4.2.1 La base aréolaire de sondage (ASF)	14
4.2.2 Le matériel utilisé	16
4.2.3 Les différents thèmes du SIG	18
5. LES ENQUETES SOCIO-ECONOMIQUES	20
5.1 Travail préliminaire	20
5.1.1 Analyse de l'existant	20
5.1.2 Les principaux problèmes de l'agriculture dans la région de Diourbel	20

5.2	Elaboration du questionnaire	21
5.3	Déroulement des enquêtes	23
5.3.1	L'organisation géographique de l'enquête	23
5.3.2	La logistique et le choix du traducteur	23
5.3.3	Les principaux problèmes rencontrés	23
5.3.4	Le rythme des enquêtes	24
5.4	La saisie des données	24
5.4.1	La base de données « Enq-soc. »	24
5.4.2	Les formulaires de saisie	24
6.	L'ANALYSE DES DONNEES	27
6.1	Le test de Bartlett	27
6.1.1	Principe du test	27
6.1.2	Application	27
6.1.3	Résultats - Discussion	30
6.2	L'analyse variographique	30
6.2.1	Principe du test	30
6.2.2	Application	31
6.2.3	Résultats - Discussion	31
6.3	L'ajustement par régression linéaire multiple	31
6.3.1	Principe	33
6.3.2	Application	33
6.3.3	Résultats - Discussion	33
7 .	CONCLUSION	35
ANNEXE		
BIBLIOGRAPHIE		

2. Présentation du CERAAS

Le CERAAS, Centre d'Etudes Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse, a été mandaté par les institutions de la CORAF¹ pour poursuivre les actions de recherche et de formation portant sur le thème : Amélioration de l'adaptation à la sécheresse.

2.1 Historique

Le CERAAS a bénéficié, à sa création, de l'expertise développée dès 1983 par l'ISRA² et le CIRAD³ dans le cadre d'un programme conjoint, portant sur l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide. L'originalité des résultats obtenus dans ce programme a attiré l'attention de nombreuses institutions de recherches africaines et européennes sur la nécessité d'intensifier des recherches sur l'adaptation des végétaux à la sécheresse dans la région soudano-sahélienne. C'est pour répondre à cette nécessité d'un centre de recherche à vocation régionale que le CERAAS a été créé en 1989.

Parallèlement à cette évolution du domaine géographique, le domaine d'études a lui aussi été étendu à 18 espèces cultivées dans la sous-région, dont les principales sont : l'arachide, le mil, le niébé, l'igname-haricot et le coton. ..

Sur la base des premiers résultats significatifs obtenus pour le développement agricole dans plusieurs pays d'Afrique, et pour répondre à la demande croissante des institutions de recherche, un projet de renforcement de la capacité d'accueil du CERAAS a été élaboré sous la tutelle de la CORAF et du CILSS⁴. Ce projet a été accepté par la Communauté Européenne et est financé sur le programme FED⁵7.

2.2 Les objectifs du CERAAS

Le CERAAS est la base-centre régionale dans le domaine de l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse, ce thème constitue l'un des thèmes fédérateurs du R3S⁶ auquel il appartient. A travers ses activités le CERAAS envisage d'augmenter la capacité de recherche des institutions de recherche agricole des pays des zones sèches et de créer du matériel végétal mieux adapté à la sécheresse.

Ses objectifs spécifiques sont :

- améliorer les connaissances sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées dans les pays en développement ;
- préciser la génétique des espèces vivrières afin de proposer des stratégies de sélection et de création variétale réalistes ;
- intégrer ces Connaissances dans une approche pluridisciplinaire du problème de la sécheresse, avec des spécialistes de la physiologie végétale, la sélection, la biochimie., la biophysique, la bioclimatologie, l'agronomie et la modélisation, afin de mettre en place pour chaque situation, des programmes de sélection performants ;

¹ Conférence des Responsables de Recherche Agronomique en Afrique de l'ouest et du centre

² Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

³ Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique et pour le Développement

⁴ Comité permanent Inter-états de Lutte contre la Sécheresse au Sahel

⁵ Fonds Européen de Développement

⁶ Réseau de Recherche sur la Résistance à la Sécheresse

1. INTRODUCTION

Les nombreuses années de sécheresse: survenues depuis plus de vingt ans dans le Sahel ne font que renforcer, la nécessité d'imaginer des stratégies pour résoudre les problèmes qui y sont liés. La connaissance de données fiables sur les productions agricoles présente donc une importance majeure pour un développement agricole cohérent et durable, et par conséquent pour l'amélioration de la situation alimentaire des pays de la zone sahélienne.

Le Sénégal étant un pays essentiellement agricole, les interventions de l'état de ce domaine- par le biais des programmes nationaux de planification agricole se doivent d'être motivées par une bonne connaissance des problèmes rencontrés à la base.

Dans le cadre de ses recherches, le Centre d'Etudes Régionales pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse (CERAAS) développe depuis 1995 un Système d'Information Géographique (SIG) sur la prévision des rendements agricoles. Cet outil doit permettre d'obtenir en cours de campagne une information fiable sur l'état des cultures et l'estimation des rendements. L'élément principal de ce SIG est le modèle ARABHY (ARACHide Bilan Hydrique) mis au point par Daniel Annerose et Madiagne Diagne, qui simule la croissance de l'arachide en fonction de différents facteurs agronomiques tels que la variété, le type de sol et surtout la pluviométrie, le principal facteur limitant des cultures.

Le but de ce travail est de voir quelle peut être l'influence du contexte socio-économique sur les principales cultures de la zone étudiée, à savoir le mil et l'arachide. Ceci afin de sélectionner les variables les plus pertinentes et de les intégrer au SIG de prévision des rendements. Cette étude aura fait appel dans un premier temps à la réalisation d'une enquête en milieu paysan et dans un second temps à l'exploitation statistique et géostatistique des informations recueillies au cours de l'enquête.

2.4 Moyens

L'Union Européenne (UE), le CIRAD (France), l'ULB⁸ et l'AGCD⁹ (Belgique) sont les principaux bailleurs de fonds du CERAAS. L'UE a financé le projet de renforcement du CERAAS dans le cadre du 7ème FED. Le CERAAS dispose ainsi des ressources humaines, matérielles, et financières suivantes :

- une gestion autonome depuis 1995 et un système de gestion informatisée avec un parc informatique de 25 postes ;
- une équipe scientifique constituée de 7 chercheurs dont des physiologistes, des biochimistes, un bioclimatologue, un biométricien... Cette équipe scientifique est renforcée par des techniciens qualifiés, des informaticiens et le personnel administratif. Au total 21 agents travaillent en permanence au CERAAS.
- des infrastructures techniques et scientifiques réhabilitées à Bambey ;
- une capacité d'accueil de 30 mois/chercheurs/an à Bambey ;
- de nombreux équipements de laboratoire, des serres, et des parcelles irrigables ;
- enfin, depuis le mois de Septembre 1997, le CERAAS, situé alors au sein du CNBA¹⁰ de l'ISRA, a emménagé dans de nouveaux locaux sur le campus de l'ENSA¹¹. Il y dispose de nombreux laboratoires et d'une nouvelle serre semi-automatisée. Ce rapprochement avec l'ENSA Correspond aux objectifs de formation du CERAAS, notamment avec la création d'une spécialisation en Amélioration de l'adaptation à la sécheresse.

2.5 Résultats

Les résultats obtenus concernent aussi bien la recherche que la formation des chercheurs. Ils trouvent leurs applications directes dans l'amélioration de l'efficacité des programmes nationaux de création variétale, dans la connaissance et la modélisation du fonctionnement des plantes cultivées dans les zones sèches et dans l'aide à la décision, avec les outils et méthodes de prévision agricole. On peut citer :

- la coordination et l'animation des activités de plus de 150 chercheurs d'Afrique, d'Europe et d'Amérique Latine ;
- la vulgarisation de variétés d'arachide adaptées à la sécheresse au Sénégal (Fleur 11, grand Chico), au Burkina, au Botswana, au Brésil ;
- la vulgarisation de variétés de sorgho adaptées à la sécheresse au Mali ;
- l'introduction et la diffusion d'espèces à haut potentiel alimentaire (igname-haricot, pois d'angle) ;
- l'exploitation des modèles de cultures dans plusieurs applications ;
- le suivi de la campagne et le conseil aux agriculteurs (avec la Direction de l'Agriculture et le PNVA¹²) ;
- la prévision agricole à travers un système d'information géographique ;
- l'aide à la gestion du fonds de calamité des producteurs d'arachide par l'identification des zones climatiquement sinistrées (avec le Centre National Interprofessionnel de l'Arachide) ;
- l'aide aux études de faisabilité des projets agricoles ;

⁸ Université Libre de Bruxelles.

⁹ Agence de Coopération pour le Développement.

¹⁰ Centre Nord Bassin Arachidier.

¹¹ Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie.

¹² Programme National de Valorisation Agricole.

- proposer à la vulgarisation du matériel végétal amélioré et adapté aux formes de contraintes hydriques rencontrées dans chaque situation ;
- proposer des outils permettant d'améliorer la prévision agricole pour l'aide à la décision

2.3 Les activités scientifiques

Le CERAAS a été mandaté pour développer son expertise sur l'amélioration de l'adaptation des espèces cultivées à la sécheresse et transférer celle-ci aux institutions et aux programmes de recherches dans la sous-région.

Le CERAAS est le coordonnateur des projets scientifiques qui associent maintenant aux SNRA⁷ membres de la CORAF et du CILSS, des équipes d'universités et institutions de recherche françaises, belges et portugaises.

Les recherches de base sont conduites au CERAAS par son équipe scientifique permanente, ainsi que chez ses partenaires européens. Elles permettent essentiellement de développer les concepts et les méthodes applicables à l'étude du problème de la sécheresse par les chercheurs des SNRA partenaires du CERAAS.

Le CERAAS a la responsabilité de l'organisation de l'appui aux chercheurs des SNRA. Cet appui est essentiellement assuré à travers des séjours d'accueil au CERAAS durant lesquels les chercheurs peuvent conduire leurs recherches ou recevoir une formation sur l'étude de l'adaptation à la sécheresse de leur propre matériel végétal. Ces séjours sont généralement de courte durée (1 à 3 mois) pour les chercheurs ayant à résoudre une problématique spécifique dans le cadre de leur programme national de recherche. Ils peuvent durer plus de six mois, pour les chercheurs souhaitant obtenir un appui du CERAAS à vocation diplômante. Le CERAAS organise également, pour les chercheurs des SNRA, des séminaires et ateliers afin d'assurer un échange et une bonne diffusion des connaissances.

Ce centre accueille en outre de nombreux stagiaires nationaux et internationaux (Argentine, Belgique, Centrafrique, France, Guinée Equatoriale, Mali, Nigéria, Togo. .)

Le CERAAS a ainsi contribué à l'émergence d'une communauté scientifique, spécialisée dans l'adaptation des végétaux à la sécheresse, qui associe des chercheurs d'Afrique, d'Europe et d'Amérique du sud. Ces activités ont permis à un grand nombre d'équipes de recherche de mieux appréhender les effets de la sécheresse sur la production végétale.

Pour les recherches conduites au sein du CERAAS, une approche pluridisciplinaire de la sécheresse a été adoptée. Elle comprend différentes étapes appliquées pour chaque situation particulière :

- la caractérisation des formes de sécheresse pour les différentes zones ;
- la définition des stades de sensibilité pour la culture considérée ;
- la recherche de variabilité génétique par l'étude des interactions entre géotypes et sécheresse ;
- l'étude des mécanismes physiologiques régissant les réponses au stress pour différents niveaux (de la plante jusqu'au niveau moléculaire). Sont pris en compte : le rendement, les aspects racinaires, les relations hydriques et les échanges gazeux, la tolérance membranaire à la dessiccation, les aspects biochimiques et hormonaux, etc...
- la définition d'un idéotype d'adaptation et la mise au point de tests de criblage utilisable en sélection ;
- enfin, la conduite de programmes d'amélioration génétique.

⁷ Systèmes Nationaux de Recherches Agronomiques

- l'organisation de plusieurs ateliers de formation, ayant réuni près de 100 participants ,
- l'organisation de plus de 300 missions de recherche et de formation par la recherche portant sur une vingtaine d'espèces ;
- la réalisation de nombreuses publications scientifiques sous formes de thèses, d'articles, de communications, de posters, de rapports etc.

Le grand prix du président de la République Sénégalaise pour les sciences a été remis en 1995 à Daniel Annerose (physiologiste, CIRAD) l'ancien directeur du CERAAS et à Madiagne Diagne (bioclimatologue, ISRA). Le modèle ARABHY¹³ qui est primé fournit des prévisions sur la production agricole au moins un mois avant la fin de la campagne agricole, ce qui permet de planifier et d'exécuter une politique rentable pour la filière et le développement agricole du pays. Les travaux en cours envisagent d'étendre les résultats obtenus sur l'arachide avec ARABHY aux autres espèces vivrières annuelles.

¹³ ARACHIDE Bilan HYdrique

3. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE : LE DEPARTEMENT DE DIOURBEL

3.1 Situation géographique au sein du Sénégal

Le Sénégal est le pays le plus à l'ouest de l'Afrique occidentale. Principalement composé d'une plaine légèrement vallonnée et peu découpée, il a un relief peu élevé. Sa surface totale est de 196 192 km². Il est situé entre 12,5° et 16,5° de latitude Nord et 12° et 17° de longitude Ouest, entre le Sahara sur sa frontière nord et la forêt guinéenne au sud. Au Nord, la frontière avec la Mauritanie est définie par le fleuve Sénégal ; Le fleuve Famélé délimite la frontière avec le Mali ; la Guinée et la Guinée-Bissau sont les pays limitrophes au Sud du pays. La Gambie forme une enclave de 11 295 km² le long du fleuve Gambie.

Du point de vue administratif, le Sénégal est divisé en régions et chaque région est divisée en département. La région de Diourbel se situe au Centre-Ouest du pays (Figure n°1) à une latitude et une longitude d'environ 14° Nord et 17° Ouest. Elle est divisée en trois départements : Bambey, Diourbel et Mbacké.

C'est dans le département de Diourbel que le CERAAS procède à la mise au point et au développement du Système d'Information Géographique de prévision des rendements. Ce département est situé en plein centre du bassin arachidier, à 150 km à l'est de Dakar (cf Figure n°1).

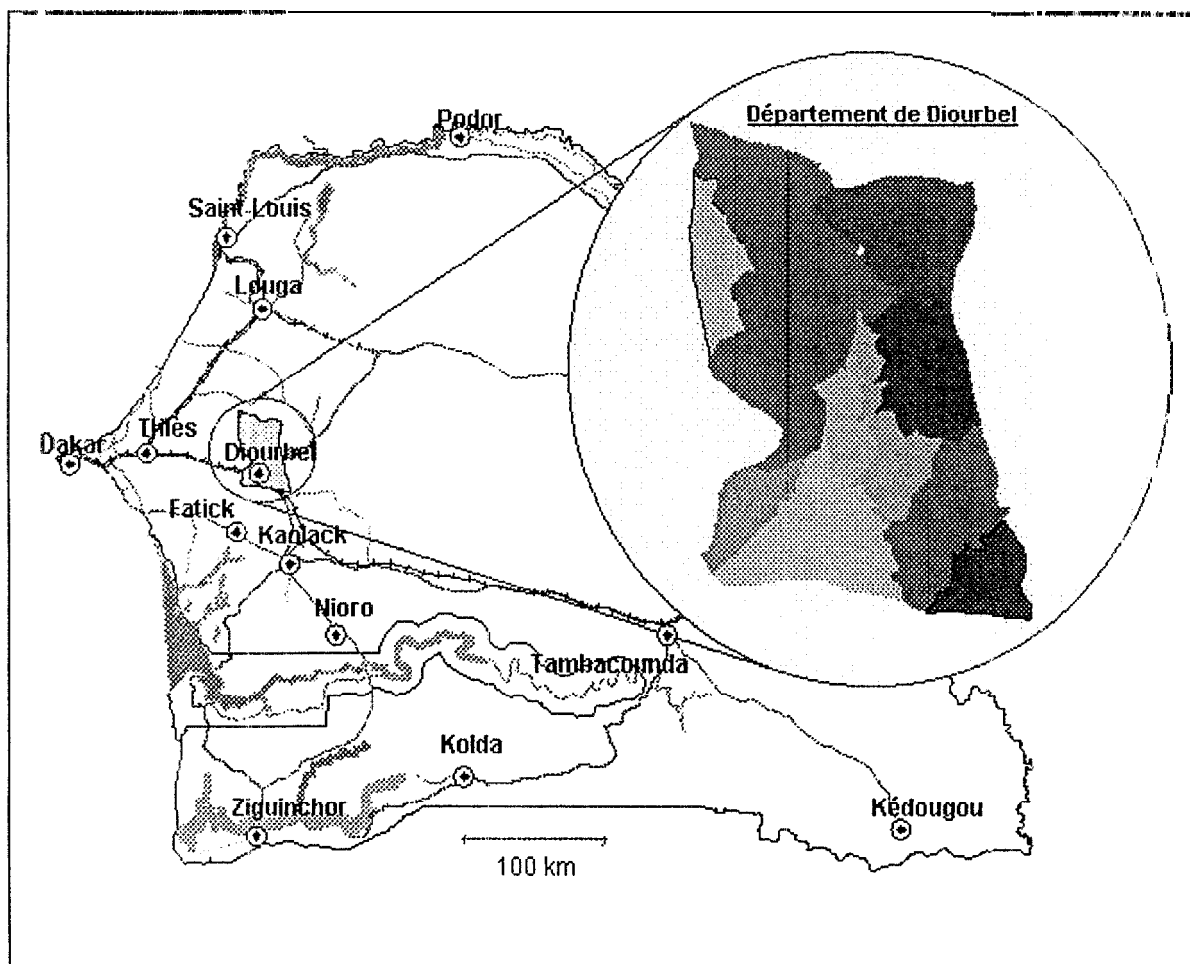


Figure n°1 : Situation du département de Diourbel au sein du Sénégal (en médaillon découpé en communautés rurales) .

Cette baisse de la pluviométrie moyenne¹⁵ est facteur d'une dégradation accélérée des écosystèmes et induit des changements profonds dans les stratégies agricoles

3.3 *Economie et agriculture*

3.3.1 *La situation du Sénégal*

La majorité de la population sénégalaise réside dans la partie Ouest du pays soit le « bassin arachidier » et les grands centres urbains de Dakar, Thiès, Saint-Louis, Kaolack. Environ 30% de la population est concentrée dans ces villes et 40% dans le « bassin arachidier ». Près de 70% de la population dépendent directement du secteur rural de l'économie sénégalaise, qui comprend les productions végétales, l'élevage, la pêche et la sylviculture. A peu près 60% de la population vivent uniquement des productions végétales et 7% dépendent de ces productions en combinaison avec l'élevage. Seuls 2% sont totalement dépendant des troupeaux et 1% vit uniquement de la pêche.

La majorité de l'agriculture consiste en des cultures pluviales notamment dans le « bassin arachidier ». Une agriculture de décrue est pratiquée en Casamance et dans la vallée du fleuve Sénégal. Les principales cultures sont l'arachide, le mil, le sorgho, le niébé, la canne à sucre, le riz, le coton, les légumes et les fruits.

La culture de l'arachide a d'abord pris place sur les terroirs anciens des pays Wolof et Sérère avant d'être le moteur d'une extension considérable des terres cultivées aux dépens du domaine pastoral du Ferlo et des forêts du Saloum Méridional. Introduite au Sénégal au XIV^e siècle, le développement de la « graine » à partir de 1850, pour les besoins de la France notamment, a abouti à l'organisation de toute l'agriculture et de tout le système économique et commercial du pays autour de cette seule culture. C'est ce que l'on a appelé « l'Economie de traite ». L'arachide constituait jusque dans les années soixante la première ressource économique du Sénégal et a assuré **jusqu'à** 80% des exportations. C'est ainsi que le pays s'est retrouvé au moment de l'indépendance en 1960, dans une situation de totale dépendance vis-à-vis de cette agriculture et devant la nécessité de « sortir de ce cycle infernal » (Benoit-Cattin et Faye, 1986).

Depuis lors, et malgré les efforts du gouvernement sénégalais pour relancer la filière, la production n'a cessé de baisser. Actuellement, l'arachide ne représente plus que 10% des exportations et se situe au quatrième rang en termes de revenus pour le pays; derrière la pêche, le tourisme et les phosphates.

3.3.2 *Le « bassin arachidier »*

Le « bassin arachidier » coïncide, pour l'essentiel, avec les régions administratives de Louga, du Sine-Saloum, de Thiès et de Diourbel. Il recouvre ainsi les plaines du Centre-Ouest du Sénégal, jusqu'aux confins du Ferlo à l'Est et la Gambie au Sud. Même s'il n'occupe que le 1/3 de la superficie du Sénégal, il représente par contre les 2/3 des superficies cultivées.

Au sein du bassin arachidier, on distinguait encore, il n'y a pas si longtemps, deux systèmes agraires traditionnels : (Bosc et al. , 1990)

- Le système Wolof

« L'agriculture semi-permanente était effectuée sur défrichements et marquée par le nomadisme de l'exploitation » (Diarassouba, 1968). Ce système reposait sur une préservation

¹⁵ Données comparées des périodes 1953-1984.

Le; sols les plus rencontrés dans cette région sont les sols de type Dior. Très sableux, ferrugineux tropicaux faiblement lessivés et très pauvres en matière organique, ils sont caractéristiques des sols de cultures de l'arachide. Le second type de sols rencontrés est le type Deck ; ses teneurs en argiles et en limons sont deux fois plus importantes que celles des sols Dior.

3.2 Climat et pluviométrie

Le climat est caractéristique de la zone soudano-sahélienne semi-aride avec une courte saison des pluies (mi-Juin à mi-October) encore appelée « hivernage ». Durant cette période les températures mensuelles moyennes sont comprises entre 21°C et 38°C. Le reste de l'année peut être divisé en deux périodes : une saison sèche froide (October à Mars), avec des températures mensuelles moyennes comprises entre 14°C et 34°C et une saison sèche chaude (Mars à Juin) avec des températures mensuelles moyennes variant de 19°C à 40°C. Pendant les saisons sèches, la pluviométrie est nulle.

Durant les trois dernières décennies, le Sénégal a été marqué par une baisse importante de la pluviométrie. Les régions du centre n'enregistrent plus, actuellement, que des moyennes annuelles comprises entre 300 et 500 mm¹⁴ (310 mm en 1983), alors que pour la période 1951-1969, la pluviométrie annuelle moyenne était de 500 à 700 mm (695 mm en 1969).

En considérant le cumul pluviométrique de l'année 1995, on constate que la variabilité pluviométrique est plus marquée dans le bassin arachidier (cf. Figure n°2).

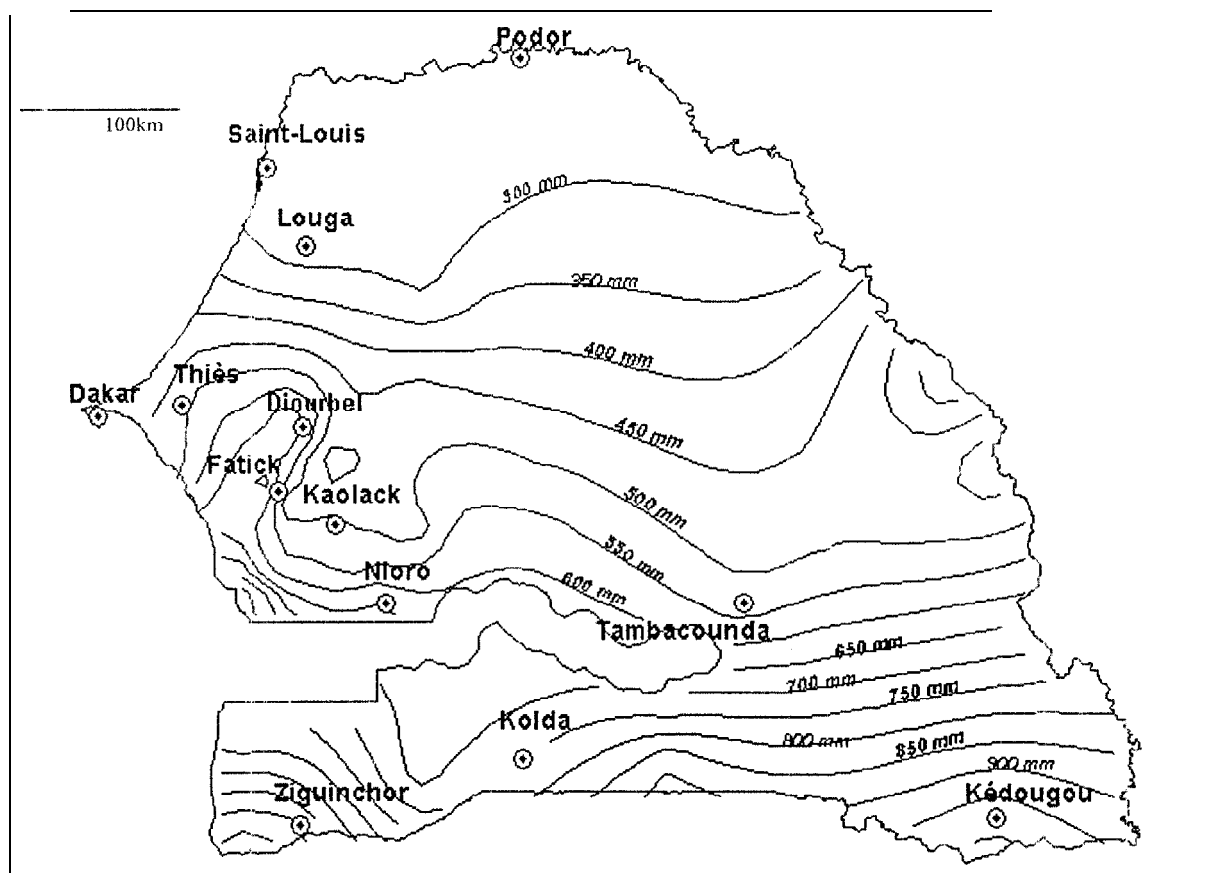


Figure n° 2 Carte de la pluviométrie du Sénégal, Campagne 1995 (ISRA-CERAAS)

¹⁴ D'après le service de bioclimatologie ISRA/CNBA, Evolution des isohyètes moyens au Sénégal durant la période 1951-1985.

des sols par une jachère de longue durée et sur la disponibilité des surfaces à défricher. La croissance démographique et l'augmentation des surfaces cultivées en arachide due au passage à l'économie de traite ont rendu non-viable le système de restitution de la fertilité des sols,

- Le système Sérère

Dans le système Sérère, la conservation de la fertilité des sols reposait sur l'intégration de l'agriculture-élevage, une pratique de la rotation des cultures et la mise en jachère et un respect des espèces arbustives améliorant la fertilité des sols tel que l'*Acacia albida*. Contrairement au système agraire Wolof, le système Sérère avait réussi, dans la mesure où les surfaces emblavées n'étaient pas trop importantes, à intégrer la culture de l'arachide sans porter préjudice à la fertilité des sols.

Actuellement, le seuil de tolérance de ce système a été dépassé dans de nombreux terroirs.

Ces deux systèmes ne sont donc plus en mesure d'assurer par eux-mêmes le renouvellement de la fertilité des sols. De plus, depuis la dissolution du crédit pour les engrais octroyés dans le cadre du Programme Agricole en 1980, les engrais minéraux ne sont quasiment plus employés dans le bassin arachidier. Les sols du bassin arachidier sont de plus en plus dégradés, ce qui explique en partie la baisse de la production arachidière.

Les autres facteurs responsables de cette baisse de la production sont évidemment la détérioration du climat, mais aussi le vieillissement du matériel agricole, la baisse de la qualité des semences et enfin la dégradation des termes de l'échange. En effet, depuis 1960, la valeur réelle d'un kg d'arachide a diminué de 40%. Pour compenser cette baisse de leur pouvoir d'achat, les paysans ont dû développer des solutions alternatives (Freud *et al.*, 1997). Ainsi, les surfaces emblavées en mil, destinées en majeure partie à la consommation personnelle, ont fortement augmenté (53% des surfaces cultivées en 1996).

C'est dans ce contexte de crise de la production que le CERAAS a décidé de mettre en place un Système d'Information Géographique de prévision des rendements. Cet outil devra permettre d'obtenir, à faible coût, des données chiffrées et fiables sur l'état des productions agricoles au Sénégal, afin d'aider le gouvernement et les autres partenaires de la filière à la prise de décisions.

4. LE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE MIS EN PLACE DANS LE DEPARTEMENT DE DIOURBEL

La notion de Système d'Information Géographique (SIG) est relativement récente. Cependant, on observe que son utilisation se généralise à tous les domaines liés à la gestion des ressources naturelles et humaines.

Afin de mieux le définir, nous pouvons diviser le terme SIG en deux parties :

- **Système d'Information** : ensemble d'outils permettant de rassembler et de traiter des données pour en extraire des renseignements utiles, c'est-à-dire des informations, et de les diffuser.
- **Géographique** : Les différentes données traitées sont reliées entre elles par un référentiel spatial, (Guissard, 1995)

D'un point de vue plus général, la définition suivante semble être la plus explicite et la plus complète :

« Un SIG est un outil informatique conçu pour assurer la collecte, le stockage, la gestion, l'exploitation et l'affichage de données localisées dans l'espace . » (Cornut, 1994)

4.1 Caractéristiques générales d'un SIG

Un SIG est constitué d'un ensemble d'éléments distincts, généralement utilisés séparément. L'objectif d'un SIG est de relier ces éléments les uns aux autres afin de pouvoir traiter l'information dans une dimension spatiale. Il y a donc autant de structures différentes de SIG qu'il existe de SIC.

Les éléments constitutifs des SIG peuvent être classés dans deux catégories :

- les éléments incontournables, qui forment l'ossature du SIG. Ce sont le système de base de données, les logiciels d'affichage cartographique et les logiciels de traitements statistiques et géostatistiques.
- les éléments optionnels, qui varient selon l'utilisation et les buts du SIG. Parmi ces éléments nous pouvons citer les logiciels de traitement de documents de télédétection (images satellitaires, photographies aériennes), de digitalisation cartographique, les modèles de simulation divers (flux de populations, développement des cultures...), etc..

De plus en plus de logiciels disponibles sur le marché couvrent plusieurs de ces éléments simultanément.

4.1.1 Les données

Les données sont la base de tout système d'information géographique. Il faut donc porter une attention particulière aux travaux de récolte et d'archivage des données, d'autant plus que ces données relèvent de thèmes très différents. Une carte générée par un SIG présente des informations couvrant un ou plusieurs domaines sur un même territoire. L'organisation de ces cartes en plusieurs couches à thème facilite la gestion de l'information.

Parmi les données, on distingue les données cartographiques et les données attributaires.

- **les données cartographiques** permettent de déterminer la position et la forme des objets destinés à être traités. Les caractéristiques spatiales de chaque objet sont définies par deux valeurs correspondant à ses références géographiques (latitude - longitude).

- **les données attributaires** définissent un objet qualitativement ; ce sont par exemple les données recueillies lors des enquêtes de terrain.

4.1.2 La base de données

La base de données a pour fonction de gérer les données et les fonctions du SIG. C'est en quelque sorte le centre névralgique du système. A la différence d'une base de données traditionnelle, qui assure la gestion des données attributaires uniquement, celle du STG doit en plus intégrer les éléments liés à la référence spatiale de ces données attributaires.

4.1.3 Le système d'affichage cartographique

Il permet de restituer à l'écran les informations à caractère géographique issues du traitement des données. L'élaboration des cartes thématiques est gérée par ces systèmes d'affichage cartographiques.

4.1.4 Les systèmes d'analyses statistique et géostatistique

Les données attributaires nécessitent la plupart du temps des traitements statistiques afin de dégager une information aisément interprétable.

Outre ces traitements simples des données, l'intérêt d'un SIG est de produire des cartes thématiques. Il faut donc des outils spécialisés capables de réaliser des traitements purement géographiques, comme les analyses de distances, de surfaces, de répartitions de variables mesurées ponctuellement. C'est grâce à ces systèmes d'analyses géographiques que l'on pourra aussi effectuer les interpolations géographiques, ainsi que les corrélations entre les différentes couches à thèmes du SIG.

4.2 Le SIG de prévision des rendements du CERAAS

Dès 1994, le CERAAS a décidé de mettre en place un STG dans le but d'accéder rapidement à un ensemble d'informations fiables sur la situation agricole d'une région.

Pour ce faire, la structure du SIG devait répondre aux impératifs suivants :

- faisabilité économique et accessibilité par tous les intéressés ;
- possibilités d'extensions spatiales (échelle spatiale), temporelles et des types de données ;
- intégration des outils de modélisation ;
- rapidité et efficacité des traitements pour l'obtention de résultats en cours de campagne.

Nous verrons, un peu plus bas, comment le matériel de traitement des données a été choisi en fonction de ces différents objectifs.

Pour le moment, nous nous pencherons plus particulièrement sur la méthode d'échantillonnage appliquée pour l'acquisition des données attributaires.

4.2.1 La base aréolaire de sondage (ASF¹⁶)

Pour toutes les enquêtes réalisées par le CERAAS dans le département de Diourbel, que ce soit au niveau de la pluviométrie, des surfaces cultivées, des relevés agronomiques ou des enquêtes socio-économiques, un plan de sondage fondée sur une base aréolaire a été mis en place.

L'ASF repose sur un découpage géographique du territoire qui tient compte d'éléments stable-; et repérables sur le terrain (pistes principales, arbres, villages...). Ce découpage territorial s'appuie sur l'utilisation d'images satellitaires Landsat TM au 1 : 100.000e, de cartes topographiques au 1 : 200.000e datant de Juin 1992 et de photographies aériennes au 1 : 60.000e.

4.2.1.1 Description

L'ensemble du département de Diourbel a été divisé en 194 unités primaires de sondage (PSU¹⁷). Ces 194 PSU sont réparties en deux types : « domaine non-agricole » - villes et villages couvrant plus de 30 ha (3 PSU) - et « domaine agricole » (191 PSU)

A ce niveau, un premier tirage au sort est effectué : 22 PSU parmi les 191 du domaine agricole sont sélectionnées.

Un second découpage est alors effectué : chaque PSU sélectionnée est divisée en segments La taille des segments varie en fonction de l'occupation des sols :

- agriculture occupant plus de 50% de la surface, segments de 30 ha ;
- agriculture occupant entre 10 et 50% de la surface, segments de 50 ha ;
- pâturages, savanes et moins de 10% d'agriculture, segments de 200 ha
- forêts avec une minorité d'agriculture, segments de 200 ha ;
- villes et villages, segments de 4 ha.

Deux segments par PSU échantillonnée sont alors sélectionnés de manière aléatoire L'échantillon regroupe ainsi 44 segments pour les enquêtes ponctuelles (relevés agronomiques, enquêtes socio-économiques..), 3 parcelles par segment sont tirées au hasard. Cela représente donc 132 parcelles échantillonnées sur l'ensemble du département de Diourbel

4.2.1.2 Validité de l'échantillon

La base aréolaire que nous venons de décrire repose sur trois hypothèses

- les PSU sont supposées avoir une faible variabilité interne, ce qui explique le faible nombre de segments mesurés au sein d'une même PSU ;
- les PSU sont supposées avoir des variabilités homogènes, raison pour laquelle un même nombre de segment peut être mesuré dans toutes les PSU ;
- l'essentiel de la variabilité provient de la différence entre les PSU ; une bonne estimation nécessite donc un grand nombre de PSU .

Ces hypothèses ont été validées lors de la campagne 1996 par l'étude de deux PSU échantillonnées à 100%. (Temara, 1997)

¹⁶ Area Sampling Frame.

¹⁷ Primary Sampling Unit.

DEPARTEMENT DE DJOURBEL

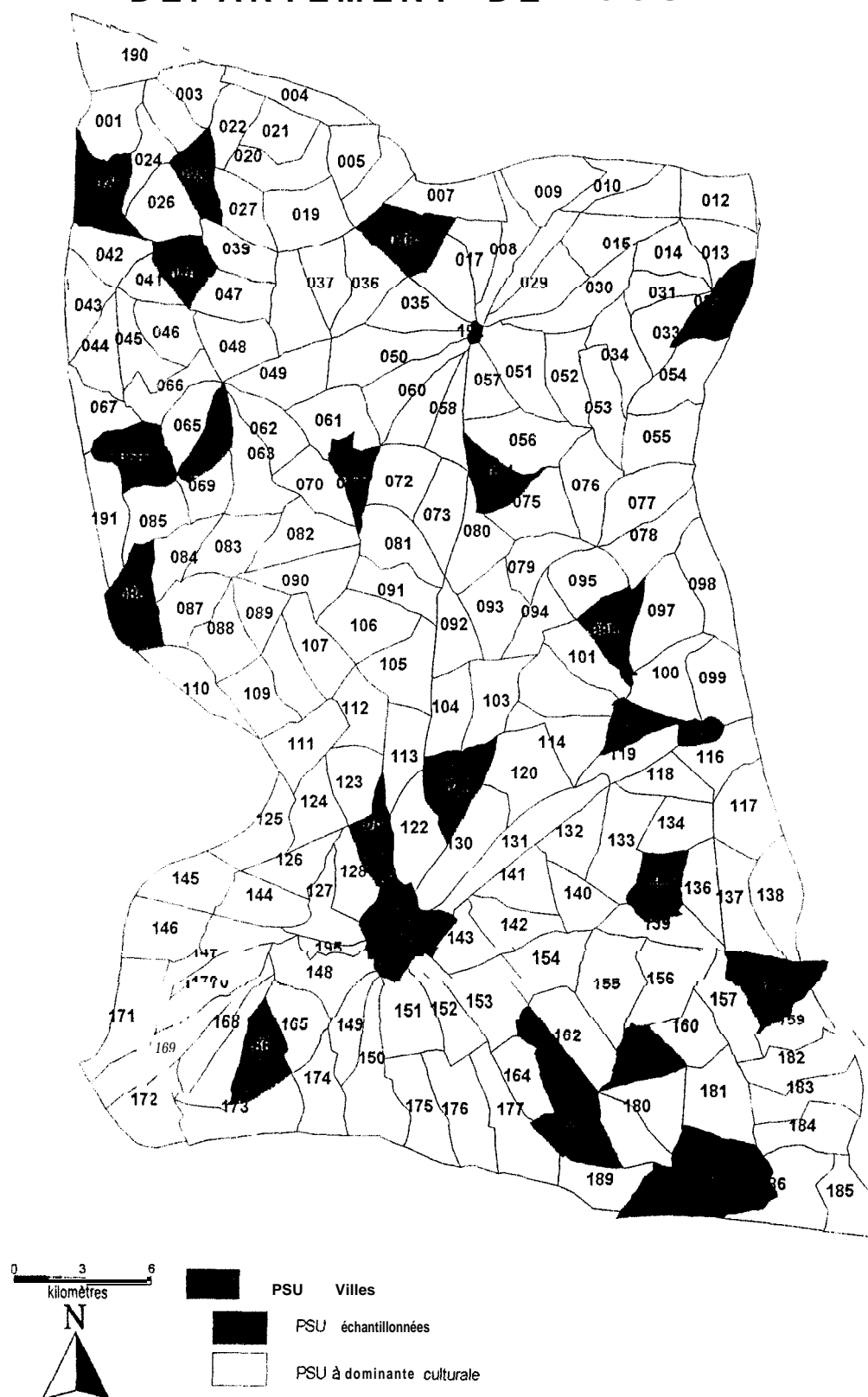


Figure n°3 : Carte des PSU échantillonnés sur le département de Diourbel.

4.2.1.3 Avantages de l'ASF

Le choix de l'échantillonnage par base aréolaire de sondage est dû aux nombreux avantages que confère cette méthode :

- la base aréolaire de sondage n'est pas utilisée exclusivement pour les statistiques agricoles et peut être étendue à d'autres domaines, socio-économiques notamment ;
- l'échantillonnage par ASF est stable dans le temps, ce qui est indispensable au développement d'un projet à long terme ;
- l'investissement nécessaire à l'élaboration du découpage géographique est faible ;
- des essais comparatifs de différentes méthodes d'échantillonnage ont été effectués sur la zone d'étude et ont montré que l'ASF permet d'obtenir les mêmes résultats que des méthodes beaucoup plus coûteuses (Guissard, 1995).

4.2.2 Le matériel utilisé

4.2.2.1 La base de données attributaires

Une base de données est composée de deux parties : les tables, qui contiennent les données elles-mêmes, et le système de gestion de base de données (SGBD). Le SGBD d'un SIC doit être capable de gérer deux types de données en même temps : les données attributaires et les données géographiques. Pour les données attributaires, le CERAAS a choisi le logiciel « Access 2 ». Les données géographiques sont gérées par le logiciel MapInfo. Access 2 permet de développer des applications personnalisées et conviviales. Il tourne sur les ordinateurs de type PC et son coût d'acquisition est relativement faible. Cependant, il possède toutes les fonctions disponibles dans les bases de données les plus puissantes, mais ne requiert pas de connaissances informatiques approfondies.

Les différents composants d'Access 2 sont :

- les tables ; elles regroupent les données sous une forme structurée composée en enregistrements. Un enregistrement relie ensemble les données de plusieurs champs. Une table est en quelque sorte un tableau dont les lignes sont les enregistrements et les colonnes les différents champs .
- les requêtes ; elles permettent d'effectuer les recherches de données dans les tables en utilisant les liens qui existent entre les tables ;
- les formulaires ; ils constituent une interface conviviale entre les utilisateurs et les données contenues dans les tables, que ce soit pour la consultation, la saisie, la mise à jour ou l'impression ,
- les états ; un état permet d'organiser les données en vue de les imprimer ,
- les macros ; elles sont les éléments de programmation qui permettent d'enchaîner automatiquement des opérations routinières ou répétitives ;
- les modules ; un module permet d'écrire des programmes afin d'accomplir des tâches complexes que les macros ne permettent pas de réaliser.

4.2.2.2 Le traitement des données

Pour les traitements statistiques et géostatistiques des données, deux logiciels sont utilisés : Excel et SAS. Le premier sert à l'application du test de Bartlett et de l'analyse variographique. Le CERAAS a développé des macros qui automatisent tous les calculs. Le second est un logiciel de statistiques : on l'utilise pour l'ajustement par régression linéaire multiple (Le

principe et l'utilité de ces différents tests statistiques et géostatistiques seront développés plus bas.)

Les données contenues dans la base du SIG proviennent de relevés ponctuels effectués dans la zone d'étude. Il est nécessaire de pouvoir calculer les valeurs que prennent ces données sur le reste de la zone. Le CERAAS a opté pour le logiciel « Surfer », logiciel consacré à l'interpolation spatiale des données et des informations du SIG.

Surfer possède deux fonctions majeures : la construction de trames d'interpolation et l'édition de documents cartographiques. C'est la première fonction qui nous intéresse au niveau du CERAAS, la seconde étant réservée au logiciel MapInfo.

Surfer fonctionne avec deux types de fichiers : les fichiers graphiques (documents cartographiques, trames d'interpolation..) et les fichiers de données numériques (tableaux contenant les valeurs échantillonnées et les valeurs interpolées) reliés entre eux par un système de géocodage. Un fichier graphique géocodé représentant les limites du département de Diourhel constitue la base de tous les traitements effectués dans le SIG. L'utilisateur saisit le fichier contenant les données ponctuelles relevées sur le terrain (pluviométrie, répartition des cultures, relevés aux champs, résultats d'enquêtes socio-économiques...). Ces données sont caractérisées par leurs coordonnées spatiales.

Selon le type de fonction d'interpolation désirée par l'utilisateur (*krigeage*, régression polynomiale, moyenne inverse à la distance, méthode de Sheppard...), Surfer va établir la trame d'interpolation. Il pourra ensuite calculer les valeurs des points situés géographiquement entre deux points sélectionnés sur le terrain. Ces valeurs calculées seront reprises dans la base de données et serviront directement à la constitution d'objets graphiques ou pourront être réutilisées pour d'autres traitements.

4.2.2.3 La gestion et l'affichage des fichiers géographiques

La gestion et l'affichage des données géographiques se font au moyen du logiciel MapInfo 11 représente l'ultime interface entre l'utilisateur et le SIG.

Il existe plusieurs logiciels de gestion de l'information géographique dont les capacités et le coût d'acquisition varient énormément. Le choix de MapInfo a été motivé par les points suivants :

- il tourne sur PC ;
- il offre de multiples fonctions de traitements géographiques ,
- son utilisation ne nécessite pas de formation particulière ;
- il permet le développement d'applications personnalisées ;
- il supporte de nombreux formats informatiques tant au niveau graphique (formats vectoriels et matriciels) qu'au niveau des données attributaires (liaisons dynamiques avec la plupart des SGBD et tableurs courants) ;

son prix est accessible, d'autant plus que le CERAAS, en raison du contexte du projet, a obtenu une importante remise.

MapInfo a pour rôle essentiel de gérer les fichiers géographiques et de les retranscrire à l'écran ou en vue d'une impression sous forme de cartes thématiques. La structure multicouche de l'information au sein de MapInfo confère aux cartes une très grande interactivité, ce qui facilite nettement le travail d'interprétation des résultats.

Ce sont ces cartes qui seront proposées aux différents partenaires comme appui à la décision.

4.2.3 Les différents thèmes du SIG

4.2.3.1 *Le module cartographique*

Ce module regroupe l'ensemble des données nécessaires à l'édition des fonds de cartes. Ce sont les coordonnées des objets géographiques contenus dans le SIG : les limites du département, les limites des PSU et des segments, l'emplacement des villes et des villages.

Certaines de ces données sont pérennes et ne nécessitent pas de mise à jour. Ainsi la structure principale de la base aréolaire de sondage reste la même d'année en année. Elle comprend les frontières du département de Diourbel, les villes, les gros villages et les pistes principales qui définissent le périmètre des PSU.

Par contre, les coordonnées des segments et de certains petits villages peuvent varier avec le temps. Les pistes secondaires, utilisées comme base pour les limites des segments, n'ont pas de position fixe. Elles sont souvent déviées lors de la saison des pluies pour contourner les nouvelles parcelles situées sur les pistes de l'année précédente ou les marigots apparus après un orage. Les coordonnées des parcelles ne sont donc pas non plus fixes d'une année à l'autre. A chaque début de campagne, il faut donc procéder à une nouvelle acquisition de ces données afin de réactualiser la base aréolaire de sondage. La technique employée au CERAAS est celle du GPS¹⁸. Cette méthode s'avère la moins onéreuse et, à condition que l'on respecte correctement le contrôle de l'erreur de positionnement, elle est aussi la plus précise. En effet, l'acquisition des données annuelles par photographies aériennes, en plus de son coût élevé, est rendue très difficile par le contexte climatique. Pour pouvoir visualiser tous les objets géographiques qui nous intéressent, il faut attendre le début de l'hivernage. Or la couverture nuageuse présente durant cette saison rend toute campagne photographique inenvisageable (Olivier, 1997).

Ce travail d'acquisition des données cartographiques et de mise à jour de la base aréolaire de sondage est la base de tous les traitements effectués par la suite au niveau du SIG.

4.2.3.2 *Le module climatique*

La pluviométrie étant le principal facteur limitant des cultures en zone sahélienne, le CERAAS a installé un réseau dense de pluviomètres afin de mieux connaître le scénario climatique. Au total, 23 pluviomètres sont répartis sur le département de Diourbel. Les données ainsi obtenues seront intégrées au modèle de simulation du bilan hydrique et de la production.

L'utilisation du SIG pour les pluviométries facilite l'interpolation des relevés et la visualisation des événements climatiques.

4.2.3.3 *Le module production*

Afin de déterminer avec précision la répartition des cultures au sein du département de Diourbel, quatre équipes de trois enquêteurs ont été chargées de procéder aux mesures de surfaces. Chaque segment échantillonné est mesuré parcelle par parcelle et les différentes affectations (mil, arachide, niébé, jachère, parcours, etc.) sont relevées. On obtient des cartes représentant la surface emblavée pour chaque culture. La méthode utilisée pour mesurer les surfaces est la triangulation. Pour plus de détail sur cette technique et la façon dont elle est employée au CERAAS, on se reportera au travail de Raphaël MARTIN (CERAAS, 1997) sur « les méthodes de mesures des superficies agricoles par triangulation ».

¹⁸ Global Positioning System.

Line fois que l'on a relevé ces données pour tous les segments, il est possible de procéder aux interpolations géographiques. Finalement, on obtient des cartes de répartitions des cultures sur l'ensemble du département de Diourbel.

4.2.3.4 Le module « agriculteur »

Ce module est celui sur lequel porte ce travail. Il est censé regrouper les informations socio-économiques possédant une variabilité spatiale qui ont une influence sur les rendements. Cette étude consistant à définir quelles sont ces variables socio-économiques, nous ne détaillerons pas ici les caractéristiques de ce module.

4.2.3.5 Le module ARABHY

ARABHY est un modèle informatique de simulation du bilan hydrique et des rendements développé par le CERAAS depuis 1989. Il permet, en tenant compte des facteurs du milieu et des caractéristiques physiologiques de la plante, de simuler l'évolution journalière du bilan hydrique et de la productivité d'une culture d'arachide.

Depuis 5 campagnes, le modèle ARABHY est testé et les résultats sont très satisfaisants puisque les écarts entre les rendements prévisionnels simulés et ceux effectivement observés sur le terrain sont toujours inférieurs à 10%.

A partir de la date de semis., les mesures et les prélèvements sont effectuées tous les quinze jours sur les parcelles étudiées. Les informations qui alimentent la base de données ARABHY

sont :

- le taux de couverture du sol, mesuré par le ceptomètre,
- la surface foliaire, mesurée par le LAI 2000 (Leaf Area Tndex),
- les densités de cultures,
- le nombre **des** différents organes,
- les poids secs de ces organes.

C'est l'ensemble des données contenues dans ces modules qui, après avoir subi les traitements statistiques et géostatistiques adéquats et une fois combinées entre elles grâce au SIG, peuvent mettre d'avoir une représentation géographique de l'estimation des rendements.

5. LES ENQUETES SOCIO-ECONOMIQUES

5.1 Travail préliminaire

Avant de pouvoir commencer le travail sur le terrain, il a tout d'abord fallu mettre au point le questionnaire d'enquêtes qui est à la base de toute l'étude dont j'ai été chargé. Pour ce faire, nous avons examiné les travaux qui avaient déjà été fait sur ce thème au CERAAS. De plus je me suis entretenu avec plusieurs chercheurs (agronomes, socio-économistes) de l'ISRA, afin de mieux cerner les problèmes rencontrés par les agriculteurs dans la zone de Diourbel.

S.1.1 Analyse de l'existant

En 1995, un premier questionnaire succinct a été établi par R. Guissard au moment de la conception du SIG (cf. Annexe 1). Il devait servir d'exemple pour les futures enquêtes socio-économiques.

C'est ce questionnaire qu'employèrent S. Temara et S. Chan Ho Tong lors de la première série d'enquêtes réalisée au CERAAS durant la campagne 96/97.

Cependant, ce travail venant en annexe de leur étude, les résultats de ces enquêtes ne furent pas exploités comme cela avait été prévu par Guissard. Aucune méthode d'analyse des informations socio-économiques ne fut proposée et validée.

Ceci s'explique par le fait que le domaine socio-économique ne faisait pas partie des priorités lors de la mise en place du SIG. En effet, il fallait avant tout valider les protocoles concernant la base aréolaire de sondage, les mesures agronomiques et la pluviométrie.

Notre objectif est donc de valider une méthode pour les campagnes futures ; méthode qui pourra être étendue au niveau national.

5.1.2 Les principaux problèmes de l'agriculture dans la région de Diourbel

Dans le but de définir clairement les domaines à développer dans le questionnaire, nous avons rencontré M. Faye, socio-économiste à l'ISRA, ainsi que D. Clavel et J. Martin, agronomes à l'ISRA. Ces entrevues ont permis de préciser quels étaient les facteurs socio-économiques limitatifs de la production agricole. L'étude de C. Freud sur « la crise de l'arachide » nous a été d'un très grand recours pour compléter l'analyse de la situation.

Les quatre points suivants ont été retenus :

- la mécanisation : depuis la fin du programme de crédit agricole en 1980, les agriculteurs n'ont pour ainsi dire pas renouvelé leur matériel. Ce matériel est usé, les réparations faites dessus sont plutôt rudimentaires, ce qui pénalise la qualité du travail des agriculteurs, notamment en ce qui concerne les semis. Cependant le taux de mécanisation des exploitations reste globalement assez élevé. Donc même si elle a une influence sur le rendement, la mécanisation n'en est pas le facteur limitant principal.
- l'intérêt de la production : La chute de la production d'arachide semble fortement corrélée avec la baisse du pouvoir d'achat des agriculteurs. Au milieu des années 80, un hectare d'arachide permettait au paysan d'acheter 365 kg de riz, alors qu'un hectare emblavé en mil ne lui procurait que 320 kg de farine de mil (1 kg de riz équivaut à 1 kg de farine de mil). Cette situation le poussait à favoriser la culture de l'arachide. Par la suite, les cours de l'arachide ont fortement chuté entraînant une inversion des termes de l'échange

mil/arachide. A l'heure actuelle, 380 kg de farine de mil équivalent à 300 kg de riz. Le paysan a donc tendance à développer la culture du mil au détriment de celle de l'arachide

- les intrants : la suspension du crédit agricole en 1980 n'a pas eu un effet néfaste uniquement sur le matériel agricole. Depuis l'arrêt de ce programme, l'utilisation des engrais a complètement disparu ou presque, entraînant une forte dégradation de la qualité des sols. De plus, la jachère est très peu pratiquée, ce qui accentue encore plus l'appauvrissement des sols.
- les semences : enfin, le dernier principal facteur limitant est la qualité des semences. Les programmes de distribution de semences qui ont été appliqués jusqu'à présent ont souvent confondu renouvellement de la qualité des semences sélectionnées et substitution au stockage paysan. C'est cette deuxième fonction qui a primé, ce qui a entraîné de gros déficits dans la filière.

Actuellement, non seulement le prix de vente des graines est élevé, mais il est très difficile de trouver des semences sélectionnées. Les paysans dépendent donc de la qualité de leur précédente récolte : si celle-ci a été mauvaise, ils auront beaucoup de mal à se procurer la quantité de semences qu'ils désiraient semer.

5.2 Elaboration du questionnaire

Le premier travail avant de commencer à rédiger le questionnaire est de définir avec précision les objectifs de l'enquête. Ici, il s'agit d'intégrer « une composante socio-économique dans le SIG de prévision des rendements sur la région de Diourbel ». Le but de notre travail est donc de proposer une méthodologie d'enquête pour les prochaines campagnes, répondant précisément aux besoins du SIG, ainsi que des méthodes d'analyse et des formats de présentation de l'information.

Comme nous le disions précédemment, c'est sur la base des quatre principaux thèmes présentés ci-dessus que le questionnaire d'enquêtes a été construit. Il nous permettra de dégager les variables socio-économiques à retenir pour les futures campagnes. Elles devront remplir deux conditions : avoir une influence sur le rendement, et posséder une répartition géographique. Cette seconde condition est impérative pour l'exploitation des informations au sein du SIG.

Ne pouvant pas dire a priori quelles variables remplissent ces deux conditions, nous avons décidé d'employer une méthode empirique : recueillir le maximum d'informations sur les exploitations agricoles du département. La sélection des variables pertinentes se fera lors du travail d'analyse géostatistique.

D'un point de vue plus technique, pour éviter la perte d'information due à la traduction - les agriculteurs ne parlent pas du tout le français - il fallait que le questionnaire soit relativement fermé. La majorité des questions porte donc sur des aspects quantitatifs du système de production. De plus, les variables numériques sont beaucoup plus faciles à interpoler que les variables qualitatives.

Cependant, afin de mieux comprendre le fonctionnement des exploitations de la région et de pouvoir dégager les différentes stratégies des paysans en fonction de leur environnement proche, un certain nombre de questions ouvertes fut intégré, laissant à l'agriculteur l'occasion de s'exprimer un peu plus librement sur ses choix culturels.

En tenant compte de tous ces critères, nous avons établi une première ébauche de questionnaire qu'il restait à affiner après l'avoir testée en milieu paysan. A la suite d'une première série d'enquêtes, certaines questions se sont avérées superflues et d'autres étaient à

reformuler ou faisaient même défaut. Une fois que les modifications nécessaires furent apportées, le questionnaire définitif était prêt à être mis en pratique sur le terrain pour la campagne d'enquêtes.(cf. Annexe 2).

5.3 Déroutement des enquêtes

5.3.1 L'organisation géographique de l'enquête

Lors de cette campagne, la pluviométrie a suivi un gradient décroissant du sud vers le nord du département de Diourbel. L'installation des cultures s'est donc faite plus tôt dans le sud de la zone que dans le nord.

Pour recueillir le maximum d'informations, notamment en ce qui concerne l'état des cultures, j'ai dû tenir compte de cette répartition géographique et organiser les visites chez les paysans sélectionnés en commençant par les PSU situées dans le sud du département puis en remontant vers celles du nord.

5.3.2 La logistique et le choix du traducteur

À niveau logistique, les missions en milieu paysan nécessitent un véhicule, son chauffeur et un technicien-traducteur.

Le choix de ce dernier est très important car c'est de lui que dépendra la qualité des enquêtes. Il faut qu'il parle le wolof et si possible aussi le sérère, les deux langues majoritaires dans la zone où se situe l'étude. En effet, la barrière ethnique est très présente et les agriculteurs se confieront beaucoup moins facilement à un enquêteur « étranger » qu'à quelqu'un de la même origine qu'eux.

Vis-à-vis des enquêtes en elles-mêmes, les paysans sont relativement méfiants et ont tendance à vouloir dissimuler certaines informations ; le technicien doit savoir les mettre en confiance en leur expliquant quels sont les buts de l'étude dont ils font l'objet et les intérêts qu'ils pourront en tirer. Il doit également savoir poser les questions de façon claire et surtout restituer les réponses sans en déformer le sens. En aucun cas il ne doit répondre à la place du paysan enquêté. Cela semble évident mais la pratique nous a montré qu'il fallait toujours y veiller.

5.3.3 Les principaux problèmes rencontrés

Dans l'ensemble, la campagne d'enquêtes s'est bien déroulée et nous n'avons rencontré aucune difficulté majeure.

Cependant, pour les prochaines campagnes, il faudra tenir compte des points suivants :

- Même si le champ échantillonné ne lui appartient pas personnellement, il faut, dans la mesure du possible, s'adresser au chef d'exploitation. C'est souvent le seul à connaître toutes les informations, plus particulièrement pour les questions relatives aux revenus et aux dépenses de l'exploitation. Cela est d'autant plus vrai quand la parcelle appartient à une femme.
- Il faut toujours vérifier que les différentes réponses ayant trait au même sujet ne soient pas incompatibles. Dans le cas où des informations sembleraient contradictoires, l'enquêteur ne doit pas hésiter à reposer la même question jusqu'à ce que l'ambiguïté soit levée. Les erreurs proviennent le plus souvent de la difficulté qu'ont les paysans à apprécier correctement les mesures (surface, quantités semées, quantités récoltées, etc.).

Pour ce qui est de l'estimation des revenus et des dépenses, il faut faire attention aux déclarations aberrantes : un chef d'exploitation a ainsi déclaré dépenser pour chaque repas 120 kg de riz, alors qu'il n'y avait que 60 personnes sur l'exploitation. Ce qui fait deux kilogrammes de riz par personnes et par repas ! Il est très utile d'emporter une calculatrice lors

des enquêtes afin de vérifier que revenus et dépenses correspondent bien, car de nombreux agriculteurs tendent à minimiser les premiers et surestimer les secondes.

5.3.4 Le rythme des enquêtes

Les mois de juillet et août ont été consacrés pour la plus grande partie à l'application du questionnaire auprès des agriculteurs échantillonnés. Un peu plus d'une vingtaine de missions furent nécessaires pour réaliser les 109 entretiens de l'enquête.

Cela représente un rythme moyen de cinq questionnaires par journée sur le terrain. Ce rythme peut sembler faible, mais il faut prendre en compte le fait que chaque entretien dure au minimum une heure. Nous avons aussi perdu beaucoup de temps pour retrouver les villages des paysans sélectionnés, voire les paysans eux-mêmes.

Pour les prochaines campagnes, il serait souhaitable que le chauffeur ou le technicien ait une parfaite connaissance de la région. Dans de telles conditions, nous avons réussi à conduire jusqu'à huit enquêtes dans la même journée. Une quinzaine de jours serait alors suffisante pour mener à bien la partie terrain des enquêtes socio-économiques.

5.4 La saisie des données

Une fois la collecte des données auprès des paysans finie, il faut intégrer les données au SIG. Elles sont saisies sous le logiciel Access 2 dont le rôle est de gérer les données attributaires; (cf 3.2.2.1.).

5.4.1 La base de données « Enq-soc. »

Les informations sont toutes stockées dans une base de données appelée « Enq-soc ». Elle est constituée d'une dizaine de tables regroupant les informations ayant trait au même thème (cf. Annexe 3). Pour chaque question de l'enquête, il existe un champ correspondant dans l'une des tables de la base.

5.4.2 Les formulaires de saisie

L'utilisation des formulaires rend la saisie des données plus agréable et surtout beaucoup plus rapide. Le logiciel Access 2 possède une fonction qui permet de créer un formulaire automatiquement à partir d'une table, mais la complexité de certaines questions et les différentes modalités que peuvent prendre les réponses empêchaient l'utilisation de cette fonction dans le cas présent.

Des formulaires personnalisés (un pour chaque table), adaptés au questionnaire ont été mis au point. Les principales caractéristiques de ces formulaires sont :

- Les listes modifiables : elles offrent la possibilité d'ajouter des nouveaux éléments à une liste déroulante (cf. Figure n°4), ce qui est très pratique pour les noms de villes notamment. L'utilisation de ces listes permet d'éviter de frapper deux orthographes différentes pour la même modalité.
- L'affichage sélectif: il donne la possibilité de faire apparaître ou non des questions en fonction de la réponse à une précédente question (cf. Figure n°5). Au cas où une question n'aurait pas lieu d'apparaître, c'est que la donnée correspondante est connue par défaut et cette dernière est automatiquement saisie dans la base de données.

Figure n°4 : Formulaire de saisie, exemple de liste modifiable

01formtable1 : Formulaire

code parcelle: didi-071-07-03

activité principale: agriculture

activité secondaire:

autre activité:

Enr: 33 sur 109

01formtable1 : Formulaire

code parcelle: didi-071-17-01

activité principale: maçonnerie

activité secondaire:

autre activité:

Enr: 34 sur 109

Figure n°5 : Formulaire de saisie, exemple d'affichage sélectif

03Formsemencesmil : Formulaire

traitement des semences ?

☐ oui

☒ non

pourquoi pas de traitement: n'avait pas les moyens

Enr: 7 sur 109

03Formsemencesmil : Formulaire

traitement des semences ?

☒ oui

☐ non

produit de traitement des: granox

quantité de produit utilisé: 200

lieu d'achat des traitements: MBEYNA WOLOF

coût des traitements: 1 000.00 F

Enr: 106 sur 109

L'utilisation de ce type de formulaire à l'avantage de limiter considérablement les erreurs de saisie.

Pour les campagne:> à venir, même si le questionnaire d'enquête n'est pas aussi développé que celui de cette année, il faudra veiller à réaliser des formulaires efficaces, répondant exactement au besoin de l'utilisateur du SIG.

6. L'ANALYSE DES DONNEES

Nous l'avons vu précédemment, les données recueillies sur le terrain sont de deux types, les données quantitatives d'une part et les données qualitatives d'autre part.

Au cours de l'analyse, nous nous sommes rendus compte que les données quantitatives n'étaient pas exploitables dans la configuration actuelle du SIG. La quête de l'information se fait à l'échelle de la parcelle mais les traitements statistiques et géostatistiques se font à l'échelle de la PSU. Or il est impossible de faire une moyenne d'informations qualitatives. Il fallait donc déterminer la modalité prépondérante pour chaque PSU, détermination qui fut impossible du fait de la trop grande variation des données entre les parcelles d'une même PSU. Nous limiterons donc notre étude aux informations quantitatives pour lesquelles le calcul de moyennes ne pose aucun problème.

Les informations à retenir doivent répondre aux trois critères suivants

- Les hypothèses de validité de l'échantillon doivent être vérifiées (cf. 3.2.1.2),
 - Les données recueillies doivent présenter une répartition géographique,
 - Ces mêmes données doivent avoir une relation avec les rendements en mil ou en arachide.
- Cependant, il faut bien garder à l'esprit que les différents tests employés sont des outils. Aussi nous n'aborderons les explications de ces techniques que très succinctement, notre but n'étant pas de rédiger un traité de statistique et géostatistique.

6.f Le test de *Bartlett*

Le but du test de Bartlett est de déterminer si les variances entre les segments d'une PSU et entre les différentes PSU sont homogènes.

6.1.1 Principe du test

Nous voulons comparer plusieurs variances estimées et savoir si elles sont homogènes. Pour cela, nous utilisons une statistique, dépendante des variances à comparer, qui suit une loi de χ^2 dans l'hypothèse que ces variances sont homogènes (Tomassone et Al., 1993).

Si la valeur prise par la statistique est supérieure à celle de la loi de χ^2 , alors l'hypothèse d'homogénéité des variances est rejetée.

6.1.2 Application

Dans un premier temps, ce test est appliqué aux segments d'une même PSU, pour vérifier l'hypothèse que les PSU ont une même variabilité interne faible.

Pour vérifier la seconde hypothèse, - les PSU sont supposés avoir des variabilités homogènes - le même test est appliqué aux variances des PSU.

Ces traitements se font grâce à une macro développée sous Excel par le CERAAS (Boggio, 1997). Tous les calculs sont ainsi automatisés et l'on obtient directement les tableaux de comparaison suivants :

- Pour le test effectué sur les segments, nous avons obtenu pour chaque PSU un tableau récapitulatif (Cf. Tableau 1) dans lequel figure pour chaque variable :
 - les variances de chaque segment ;
 - le nombre de valeurs utilisées pour calculer ces variances ;
 - la valeur prise par la statistique de Bartlett ;

PSU	161										
		Variable									
Segment	Données	ara1996	dbetail	dcerefam	dcererel	ddiverse	dengrais	dfourrag	dist1	dist11	dist13
16109	Varp Valeur	808888.89	4.985E+09	150000000	16888889	1.026E+09	80000	0	0	0.0010199	0
	NB Valeur	3	3	3	3	3	3	3	1	3	1
16119	Varp Valeur	62500	2.377E+09	1.056E+09	100000000	1.122E+09	360000	0	#DIV/0!	0.0358155	#DIV/0!
	NB Valeur	2	2	2	2	2	2	2	0	2	0
Total Varp Valeur		622400	3.941E+09	694000000	1.075E+09	1.175E+09	230400	0	0	0.2971055	0
Total NB Valeur		5	5	5	5	5	5	5	1	5	1
		0	0	0	0	0	0	#VALEUR!	#VALEUR!	0	#VALEUR!
		3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553
		INF	INF	INF	INF	INF	INF	#VALEUR!	#VALEUR!	INF	#VALEUR!

dist3	dist5	dist6	dist8	dmedicam	dnourrit	idprodphy	dprodsan	dsemence	dtraitsm	dvetemen	mil1996
0.0187836	0	0.0012754	#DIV/0!	22166667	5.689E+09	140000	1166600	0	3615555.6	200000000	908888.89
2	1	2	0	3	3	3	3	3	3	3	3
0.0583646	0.0358155	0	0	156250000	6.4E+09	2250000	68890000	196000000	9000000	7.225E+09	810000
2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
0.17970391	21.871231	0.1825565	0	91160000	6.016E+09	3144000	618436961	125440000	9296000	7.384E+09	914400
4	3	3	1	5	5	5	5	5	5	5	5
0	0	#VALEUR!	#VALEUR!	0	0	0	0	0	0	0	0
3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553
INF	INF	#VALEUR!	#VALEUR!	INF	INF	INF	INF	INF	INF	INF	INF
nb2bovin	nbanes	nbboeufs	nbcharr	nbchevo	nbchevre	nbdecort	nbmouton	nboccid	nbparclA	nbparclM	nbperson
0	0.6666667	4.2222222	0	0.8888889	8	0	62	2.8888889	0.6666667	0.8888889	150.22222
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
0	0.25	0	0	0	91	0.25	1	0	0.25	11	2.25
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0	0.561	5.76	0.241	0.561	8.64	0.161	61.6	1.841	0.56	1.04	107.04
											5
#VALEUR!	0	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	0	0	0	#VALEUR!	0	A 0	0
3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553	3.8414553
#VALEUR!	INF	#VALEUR!	#VALEUR!	#VALEUR!	INF	INF	INF	#VALEUR!	INF	INF	INF

Tableau 1: Tableau récapitulatif du test de Bartlett sur les segments de la PSU 161 (Extrait)

- la valeur prise par la loi de Khi 2 ;
- et enfin, le résultat de la comparaison de ces deux valeurs.

Pour la seconde partie du test appliquée aux variances des PSU, nous obtenons le tableau 2 qui, pour chaque variable, récapitule :

- l'ensemble des variances de chaque PSU ;
- la valeur prise par la statistique de Bartlett ;
- la valeur prise par la loi de Khi 2 ;
- le résultat de la comparaison de ces deux valeurs.

6.1.3 Résultats - Discussion

Le résultat de ces deux tests apparaît donc directement à la dernière ligne des tableaux récapitulatifs (cf. Annexe 4).

Il existe trois résultats possibles :

- SUP : la valeur de la statistique est supérieure à celle du Khi 2 : les variances ne sont pas homogènes ;
- INF : la valeur de la statistique est inférieure à celle du Khi 2 : les variances sont homogènes ;
- #VALEUR! : il existe des données manquantes, ce qui empêche le calcul de la valeur prise par la statistique : nous ne pouvons pas conclure.

Si, dans l'ensemble, la première hypothèse du SIG semble vérifiée malgré un nombre relativement important de variables pour lesquelles nous ne pouvons pas conclure, il n'en est pas de même pour la seconde hypothèse. En effet, dans une très large majorité des variables étudiées, l'homogénéité inter,-PSU n'est pas vérifiée (cf. Annexe 4).

Nous pourrions conclure ici l'étude des variables quantitatives et dire qu'aucune d'entre elles ne correspond à la structure du SIG de prévision des rendements.

Mais il faut bien tenir compte du fait que les hypothèses de base ont été validées pour des variables purement agronomiques. Les méthodes d'échantillonnage proposées par le CERAAS ne sont peut-être pas adaptées aux variables socio-économiques. D'ailleurs, il pourrait être intéressant, lors d'une prochaine campagne, de mener une étude sur les composantes socio-économiques, comme cela a été fait en 1996 sur les variables agronomiques au niveau des PSU 64 et 68.

Aussi avons-nous décidé de poursuivre l'étude de ces variables avec pour objectif de rechercher quelles sont celles qui ont une répartition géographique et qui peuvent expliquer les rendements.

6.2 L'analyse variographique

Afin de s'assurer que les informations aient bien une représentation géographique et donc qu'elles soient exploitables dans le SIG, elles subissent un traitement géostatistique appelé analyse variographique.

6.2.1 Principe du test

A partir des données obtenues par enquêtes, dont nous connaissons la répartition dans l'espace grâce à leurs coordonnées polaires, nous disposons en théorie d'un jeu de variables

régionalisées : la valeur que prend une variable dépend de l'endroit où elle se situe. La variation de ces valeurs est donc supposée décrire une surface définie mathématiquement. (Lhauvet, 1992)

La nuée variographique représente pour chaque paire de points le nuage de corrélation entre la variance et la distance entre ces deux points. Cette nuée variographique est une information brute, qui n'a subi encore aucun traitement. Elle permet notamment de repérer les valeurs aberrantes qui tendraient à fausser la modélisation.

L'étape suivante consiste à définir des classes de distances et, au sein de ces classes, à calculer la moyenne des variances des couples de données s'y trouvant. On obtient donc un ensemble de valeurs, une pour chaque classe de distance, qui va permettre d'établir le variogramme modélisé. C'est ce variogramme modélisé qui doit nous aider à juger si une variable a une répartition géographique ou non. En effet, si la valeur d'une variable dépend de l'endroit où elle se situe, la variance d'un couple de points sera d'autant plus grande que ces deux points seront éloignés, et ce jusqu'à un certain seuil appelé le pallier ou « sill ».

6.2.2 Application

De même que pour le test de Bartlett, le CERAAS a développé une macro sous Excel qui automatise toutes les étapes de l'analyse variographique. Il suffit d'exécuter cette macro sur la feuille de données regroupant les moyennes par PSU des valeurs recueillies lors des enquêtes et l'on obtient directement la nuée variographique et le variogramme modélisé (cf. Figure n°6).

6.2.3 Résultats - Discussion

Sur les 80 variables quantitatives traitées, seulement 7 d'entre elles semblent présenter une répartition géographique. Ce résultat est loin d'être satisfaisant.

Nous pourrions estimer que, dans leur ensemble, les variables socio-économiques n'ont pas de répartition géographique et n'ont donc pas lieu de figurer dans le SIG.

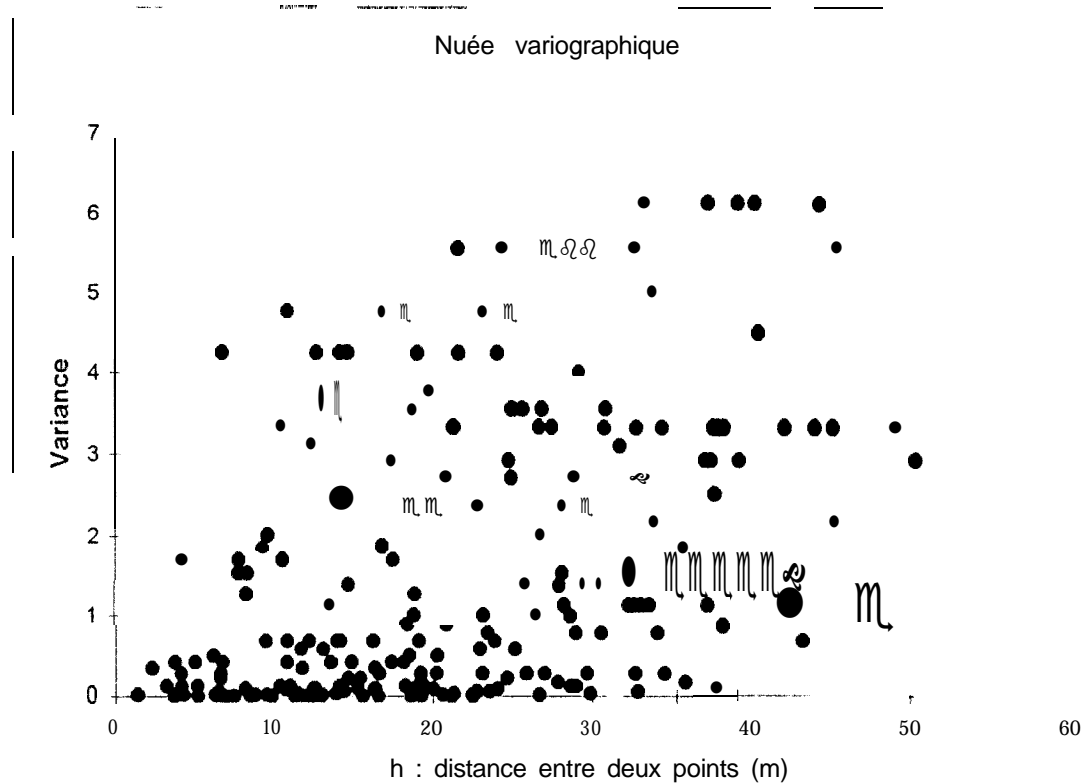
Cependant, il est possible que dans ce domaine, l'échelle de base considérée ici – le département – soit trop petite pour déceler la moindre variation. Dans l'optique d'une extension du SIG de prévision des rendements à l'échelle nationale, une nouvelle étude sur une base géographique plus étendue pourrait apporter de plus amples renseignements sur cette question des composantes socio-économiques du rendement.

C'est pour cette raison que nous avons voulu voir quelles sont celles de ces variables socio-économiques qui influencent la production (rendements, surfaces emblavées) en mil et en arachide.

6.3 L'ajustement par régression linéaire multiple

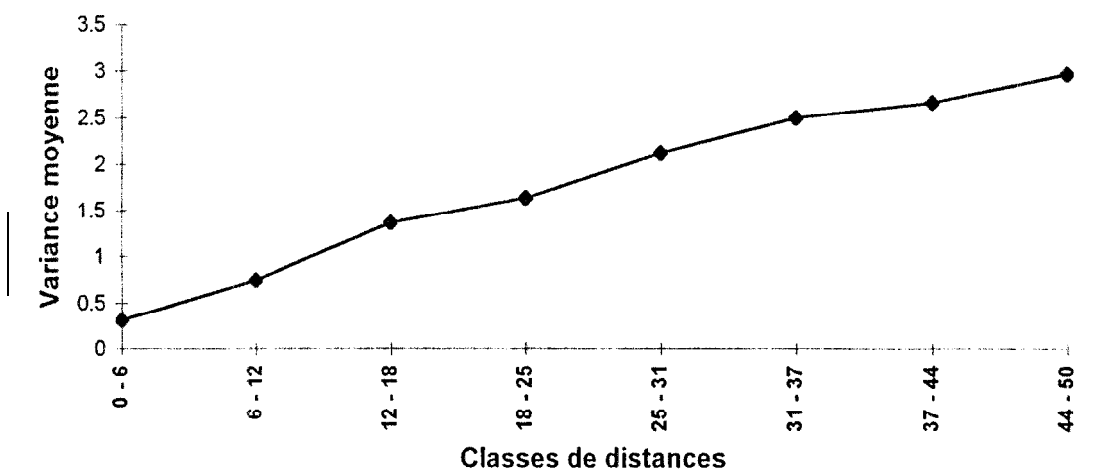
Ce traitement des données doit permettre de calculer, s'il y a lieu, les relations qui existent entre les différentes composantes de la production (surfaces emblavées en mil et en arachide, rendements) et les variables étudiées.

Figure n°6 Analyse variographique de la variable « nombre de semis de mil »



Classe	Effectif	Variance moyenne
0-6	13	0.311698718
6-12	43	0.744266796
12-18	48	1.373697917
18-25	39	1.637197293
25-31	34	2.113357843
31-37	29	2.489942529
37-44	16	2.655164931
44-50	9	2.959876543

Variogramme simplifié



6.3.1 Principe

- Régression linéaire simple :

Si nous pensons qu'il existe une relation linéaire entre deux variables y et x_1 , la variation de l'une est proportionnelle à celle de l'autre. Si nous admettons que x_1 est explicative de y , leur relation prend la forme d'un modèle linéaire :

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + u_i \quad \text{avec } i = 1, 2, \dots, n$$

u_i est un terme d'erreur, β_0 et β_1 des constantes ; en particulier β_1 représente l'accroissement de y correspondant à l'accroissement d'une unité de x_1 .

Donc s'il est possible d'établir une telle relation entre deux variables, c'est que, à priori, il existe entre elles **un lien** de cause à effet. Il faut toutefois se méfier car, dans certains cas, cette relation peut être due au hasard de l'échantillonnage.

- Régression linéaire multiple pas à pas (dite « stepwise ») :

Dans notre étude, nous désirons expliquer chacune des variables composantes de la production par les différentes variables enquêtées. Nous mettrons ainsi en évidence celles pour lesquelles la relation de cause à effet existe bel et bien.

Le principe de la méthode de régression linéaire multiple pas à pas revient à comparer au fur et à mesure une variable y avec une série de variables x_1, x_2, \dots, x_n , de ne retenir que celles pour lesquelles la relation linéaire avec y est significative et de les introduire dans le modèle de régression. Il arrive souvent qu'une variable introduite en début de traitement ne soit plus significative par rapport aux autres après un certain nombre de pas : elle est alors éliminée du modèle. (Tomassone et Al., 1992)

A la fin du traitement, seules les variables les plus significatives sont retenues.

6.3.2 Application

Pour l'ajustement par régression linéaire multiple, nous avons utilisé le logiciel de statistique SAS. Ce logiciel offre une procédure qui traite automatiquement les données. Il suffit de lui indiquer quelles sont les variables y , quelles sont les variables x et le logiciel effectue l'intégralité de l'analyse.

Dans le cas présent, les variables y sont :

- SURFARA : la surface emblavée en arachide ;
- SURFMIL : la surface emblavée en mil ;
- RDTGOUS : le rendement en gousses de l'arachide ;
- RDTFANES : le rendement en fanes de l'arachide ;
- RDTMIL : le rendement en mil.

Les variables x correspondent aux variables socio-économiques

6.3.3 Résultats – Discussion

Comme nous le constatons sur les tableaux récapitulatifs des ajustements par régression multiple (cf. Tableau 3 et Annexe 5), très peu de variables socio-économiques sont reliées linéairement aux composantes de la production.

Si l'on tient compte des relations dues au hasard de l'échantillonnage, cette proportion baisse encore. Ainsi, il paraît peu probable que la surface emblavée en mil soit inversement proportionnel au nombre d'ânes possédés par un agriculteur.

Tableau 3 ; Exemple de tableau récapitulatif des ajustements par régression multiple
Cas de la variable RDTFANES

$$R^2 = 0.76714398$$

	DF	Somme des carrés	Carré moyen	F	Prob>F
Régression	6	2749609.2954	458268.21591	8.24	0.0005
Erreur	15	834606.14176	55640.409450		
Total	21	3584215.4372			
Variable	Paramètre estimé	Erreur standard	Somme des carrés	F	Prob>F
INTERCEP	949.66212322	144.44654326	2404995.3679	43.22	0.0001
%RESPERM	-39.67651009	25.70714669	132540.77203	2.38	0.1436
QENGRM	8.89099196	3.79260600	305784.37986	5.50	0.0332
RVNARA	0.00181299	0.00038987	1203189.5306	21.62	0.0003
RVNMIL	0.00612821	0.00399282	131068.78064	2.36	0.1457
RVNMANOE	-0.00126030	0.00063575	218654.47343	3.88	0.0661
NBSINE	234.57810730	96.72138339			0.0284

De plus, l'examen des variables restantes montre que dans la majorité des cas, contrairement au résultat attendu, ce sont les composantes de la production qui sont explicatives des variables socio-économiques. Ce n'est pas parce qu'un agriculteur va vendre beaucoup d'arachide sur le marché local qu'il aura un bon rendement, mais plutôt parce qu'il a un bon rendement en gousses qu'il pourra en vendre en grande quantité.

La première conclusion venant à l'esprit est qu'il n'y a pas de composantes socio-économiques du rendement dans la zone d'étude, ou bien, si elles existent, leur influence est très faible. Cela est très plausible : nous sommes en zone sahélienne, l'étude porte sur des cultures pluviales et dans ces conditions, la pluviométrie est le facteur prépondérant pour expliquer les rendements. Cependant, la taille de la zone d'étude n'est peut-être pas assez importante pour une telle analyse. Nous reformulons donc la même remarque que pour l'analyse variographique : il serait intéressant de réaliser une nouvelle étude à une plus grande échelle lors de l'extension du SXG au niveau national.

Maintenant, il est aussi possible que la méthode mise en place pour le SIG de prévision des rendements ne soit pas adaptée à ce type de variables.

7. CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de définir les composantes socio-économiques de la production de mil et d'arachide dans le département de Diourbel. L'influence de tels facteurs existe sûrement car les informations agronomiques exploitées par le modèle ARABHY n'expliquent pas complètement les rendements. Cela nous aurait permis de modéliser en quelque sorte les stratégies des paysans en fonction du milieu humain.

Cependant, ces informations ne semblent pas présenter de répartition géographique, du moins à l'échelle à laquelle notre étude a été faite. Il est possible qu'au niveau national, des tendances régionales apparaissent mais rien nous permet de l'affirmer avec certitude.

De plus, lors des entretiens avec les paysans, nous nous sommes rendus compte qu'en général, c'est plutôt le résultat des cultures qui conditionne le milieu socio-économique que l'inverse. En effet, dans leur majeure partie, les agriculteurs dépendent de la bonne réussite de leurs cultures. Ainsi, la mauvaise récolte d'arachide de la campagne 1996 a conditionné la campagne 1997 à plusieurs niveaux. Les paysans n'ayant pas vendu beaucoup d'arachide, ils n'ont pas eu les moyens financiers suffisants pour bien préparer cette campagne (réparation du matériel, achat de semences, achat d'intrants, etc...). De plus, ils n'ont pas pu faire de réserves personnelles de semences très importantes et ces semences n'étaient pas de bonne qualité.

Seuls les grands propriétaires (marabouts, gros commerçants) ont les moyens financiers pour valoriser les cultures. Mais face à un mauvais hivernage, même ceux-là ne peuvent rien faire. Pour les petits paysans, un mauvais hivernage peut être catastrophique. Au nord du département de Diourbel, un village entier a abandonné ses terres pour essayer de faire du commerce à Touba.

Les paysans sont donc totalement dépendants des conditions climatiques qu'il est impossible de maîtriser. Comme nous le disait José MARTIN au début de stage, les paysans de la région pratiquent ce qu'il appelle « l'agriculture de l'extrême ».

Bien sûr, lors d'un bon hivernage, les paysans peuvent toujours développer des stratégies qui leur permettent d'améliorer les rendements (achat de semences sélectionnées, meilleurs traitements phytosanitaires, apport d'engrais, etc..), mais rares sont ceux qui ont les moyens de le faire. Et puis il serait étonnant qu'il y ait une répartition géographique des paysans en fonction de leurs moyens financiers.

Cependant, si au niveau national cette répartition existe bel et bien et qu'une nouvelle étude valide l'influence du milieu humain sur le rendement, il ne faudra pas perdre de vue que cette influence est malgré tout très marginale par rapport à la pluviométrie, qui reste le facteur principal conditionnant le résultat des cultures.

ANNEXES

- Annexe 1 : Questionnaire établi par Guissard en 1995.
- Annexe 2 : Questionnaire utilisé pour la campagne 1997.
- Annexe 3 : Liste des champs saisis.
- Annexe 3 : Tableau récapitulatif du test de Bartlett sur les PSU.
- Annexe 5 : Résultat de l'ajustement par régression multiple.

Annexe 1

Questionnaire 2 : identification des parcelles de suivis

Nom de l'enquêteur :

Date d'enquête :

Localisation de la parcelle :

Code Segment :

N° de parcelle :

Nom du village le plus proche :

Identification de l'agriculteur :

Nom de l'agriculteur :

Nom du village de l'agriculteur :

Distance parcelle-village agriculteur en mètres :

Age de l'agriculteur :

Statut :

Chef de carré ☐ Chef d'exploitation ☐ Simple exploitant ☐

Main d'oeuvre: ☐0 ☐1-3 ☐4-6 ☐6-10 ☐ >10

Activité principal : (exploitant, commerçant,)

Activité secondaire : (exploitant, commerçant..)

Matériel agricole et traction:

Matériel	Semoir	Houe Sine	Houe Occidentale	Charette	Souleveuse	Charrue	Animaux de trait			
							CH.	A.		
Nombre										

Précédent cultural :

☐Mil ☐ Jachère ☐ Arachide ☐ INiébé ☐Autres

Semis :

Variété cultivée

Date de semis :

Densité de semis :

 gr./m²

Type de semis :

☐Manuel ☐Mécanique

Origine des semences :

☐Réserve personnel ☐Achetées ☐ ISecco ☐Marché ☐ Autres:

Traitement des semences : ☐NON ☐OUI 

si oui, nom du produit :

Fumures

Fumure Organique : ☐NON ☐OUI Quand :

type de Fumure organique	Fumier parc	Compost	Poudrette de parc		
Quantité (kg/ha)					

Fumure Minérale : ☐NON ☐OUI Quand :

type de fumure minérale		
Quantité (kg/ha)		

Travail de préparation du sol : ☐NON ☐OUI

☐Labour ☐Scarifiage superficiel ☐Nettoyage brûlis

Travaux d'entretiens :

Type			
Date			

Questionnaire 3 : Répartition des superficies cultivées. ---

Code Segment:

Dates:

Schéma :

Réaliser un plan schématique du segment : (parcelles de cultures, surfaces de jachères, villages). Chacune des parcelles sera numérotée, les noms des villages seront indiqués. Marquer les parcelles faisant l'objet d'un suivi d'une croix

Annexe 2

QUESTIONNAIRE D'ENQUETES SOCIO-ECONOMIQUES

Date :

Code parcelle :

IDENTIFICATION DE L'AGRICULTEUR

Nom de l'agriculteur

Nom du village

Activité principale :

Activité secondaire :

Autre activité :

(Pour les éleveurs combien de bêtes ? : Boeufs : ; moutons : ; chèvres : .. .

Nombre de personnes vivant sur l'exploitation

REPARTITION DES CULTURES

Nombre de parcelles « de mil :

- d'arachide :

Estimation des surfaces -en mil :

-en arachide :

Quel est le système de rotation des cultures ? :

[illegible]

MATERIEL AGRICOLE

Matériel Nombre:

Semoir

Décortiqueuse

T-Toue Sine

Autre

Houe occidentale

Souleveuse

Charrette

Pressoir

Force de traction :

-Nombre de chevaux :

-Nombre d'ânes :

-Paire de bovins :

LES SEMENCES

+Origine des semences et quantités semées :

Mil

-Réserve personnelle	: [.....]	; [.....]
-Marche	: [.....]	; [.....]
-Sonagraine	: [.....]	; [.....]
-Autre	: [.....]	; [.....]

A quel prix ? ,

+Nom de la variété utilisée :

Pourquoi cette variété ? -Ara. :
 -Mil :

+Date de semis 1

Toutes les parcelles ont-elles été
semées en même temps ? : oui ☐ non ☐ ; oui ☐ non ☐

Si non, pourquoi ? -Ara. :
-Mil :

-“-Date de second semis
Quel est le but du second semis ?-Ara.
-Mil

⇒ **Densité de semis**
 -N^{bre} de trous (disque) : ,
 Pourquoi cette densité -Ara. :
 -Mil :

4. Traitement des semences : oui ☐ non ☐ oui ☐ non ☐
 -Si oui, quel produit ? : , ...<...
 Quantité utilisée ? -Ara. :
 -Mil :<.....<.....<.....
 Où et à qui achète-t-il ?
 À quel prix ? :
 -Si non, pourquoi ? : -A.
 -M. :

LES INTRANTS

* **fumure organique :**
 Sur -l'arachide ☐ oui ☐ non
 -le mil ☐ oui ☐ non
Si oui , pourquoi ?*
 Oépendage ☐ parcage
Si non , pourquoi ?

* **fumure minérale** :

Sur	-l'arachide	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non
	-le mil	<input type="checkbox"/> oui	<input type="checkbox"/> non

***Pour l'arachide :**

Quelle quantité pour :	Unité	Quantité	Unité	Quantité
-l'autoconsommation	kg	100	kg	100
-les semences	kg	100	kg	100
-la trituration artisanale	kg	100	kg	100
-la vente au marché local	kg	100	kg	100
-la Sonacos	kg	100	kg	100
-autre	kg	100	kg	100

activité	acteur/ lien avec l'exploitant	revenus générés (estimation)
Production d'arachide		
Production de mil		
Elevage		
Autres productions agricoles		
Maraîchage		
Commerce		
Transport en charrette		
Manoeuvrage		
Mandats		

Annexe 3

C:\01_IVAN\BD\bd1.mdb
Table: table1

Columns

Name	Type	Size
code parcelle	Texte	11
activité principale	Texte	30
activité secondaire	Texte	30
autre activité	Texte	30
nombre de boeufs	Nombre (Réel double)	8
nombre de moutons	Nombre (Réel double)	8
nombre de chèvres	Nombre (Réel double)	8
nombre de personnes	Nombre (Réel double)	8
nombre de parcelles de mil	Nombre (Réel double)	8
surface en mil	Nombre (Réel double)	8
nombre de parcelles d'arachides	Nombre (Réel double)	8
surface en arachide	Nombre (Réel double)	8
rotation des cultures	Texte	16
nombre de semoirs	Nombre (Réel double)	8
nombre de houes sine	Nombre (Réel double)	8
nombre de houes occidentales	Nombre (Réel double)	8
nombre de souleveuses	Nombre (Réel double)	8
nombre de charrettes	Nombre (Réel double)	8
nombre de pressoirs	Nombre (Réel double)	8
nombre de décortiqueuse	Nombre (Réel double)	8
nombre de chevaux	Nombre (Réel double)	8
nombre d'ânes	Nombre (Réel double)	8
nombre de paires de bovins	Nombre (Réel double)	8

C:\01_IVAN\BD\bd1.mdb

Table: Semences

Columns

Name	Type	Size
code parcelle	Texte	11
quant Res Pers ara	Nombre (Réel double)	8
quant Marché ara	Nombre (Réel double)	8
quant Sonagraine	Nombre (Réel double)	8
autre origine semences ara	Texte	50
quant autre origine ara	Nombre (Réel double)	8
lieu Marché ara	Texte	20
prix Marché ara	Monétaire	8
lieu Sonagraine	Texte	20
prix Sonagraine	Monétaire	8
lieu autre origine ard	Texte	50
prix autre origine ara	Monétaire	8
variété ara n°1	Texte	10
variété ara n°2	Texte	50
rq variété ara n°1	Texte	50
rq variété ara n°2	Texte	50
quant 1 er semis ara	Nombre (Réel double)	8
date semis ara	Date/Heure	8
un seul semis ara	Oui/Non	
si non pourquoi ara	Texte	50
date 2d semis ara	Date/Heure	8
quant 2d semis ara	Nombre (Réel double)	8
disque ara	Texte	8
%-age réussite ara	Nombre (Réel double)	8
quant ara semée	Nombre (Réel double)	8
rq densité ara	Texte	50
trait sem ara	Oui/Non	
produit trait sem ara	Texte	11
quant trait sem ara	Nombre (Réel double)	8
lieu achat trait sem ara	Texte	30
prix trait sem ara	Monétaire	8
pourquoi pas trait sem ara	Texte	50

C:\01_IVAN\BD\bd1.mdb

Table. semencesmil

Columns

Name	Type	Site
code parcelle	Texte	11
quantité mil semée	Nombre (Réel double)	8
quantité Res Pers mil	Nombre (Réel double)	8
quantité Marché mil	Nombre (Réel double)	8
autres origines semences mil	Tente	50
quantité autre origine mil	Nombre (Réel double)	8
lieu Marche mil	Texte	20
prix marché mil	Monétaire	8
lieu autre origine mil	Texte	50
prix autre origine mil	Monétaire	8
variété mil n°1	Texte	10
variété mil n°2	Texte	50
rq variété mil n°1	Texte	50
rq variété mil n°2	Texte	50
date semis mil	Date/Heure	8
quant 1 er semis mil	Nombre (Réel double)	8
un seul semis mil	Oui/Non	
nombre semis mil	Nombre (Réel double)	8
si non pourquoi mil	Texte	50
date dernier semis mil	Date/Heure	8
quant mil ressemée x nbre semis	Nombre (Réel double)	8
%-age de réussite mil	Nombre (Réel double)	8
disque mil	Texte	50
rq densité mil	Texte	50
traitement semences mil	Oui/Non	
produit traitement semences mil	Texte	10
quantité traitement semences mil	Nombre (Réel double)	8
lieu achat traitement semences mil	Texte	20
prix traitement semences mil	Monétaire	8
pourquoi pas traitement semences mil	Texte	50

C:\01_IVAN\BD\bd1.mdb

Table: intrants

Columns

Name	Type	Size
code <i>parcelle</i>	Texte	11
engrais sur ara	Oui/Non	1
quant engrais ara	Nombre (Réel double)	8
lieu approv engrais ara	Texte	20
prix engrais ara	Monétaire	8
pourquoi pas engrais sur ara	Texte	50
produit phyto cuit ara	Oui/Non	1
quant produit phyto ara	Nombre (Réel double)	8
lieu approv produit phyto ara	Texte	50
prix produit phyto ara	Monétaire	8
pourquoi pas produit phyto cuit ara	Texte	50
produit phyto récolte ara	Oui/Non	1
quelle partie récolte ara	Texte	15
type produit phyto ara	Texte	25
quant produit phyto récolte ara	Texte	50
lieu approv produit phyto récolte ara	Texte	20
prix produit phyto arachide	Monétaire	8
pourquoi pas traitement phyto sur ara	Texte	50

C:\01_IVAN\BD\bd1.mdb
Table: intrantsmil

Columns

Name	Type	Size
code parcelle	Texte	11
engrao mil	Oui/Non	
quant engrais mil	Nombre (Réel double)	8
lieu approv engrais ml	Texte	20
prix engrais mil	Monétaire	8
pourquoi pas engrais mil	Texte	50
produit phyto cult mil	Oui/Non	1
quant produit phyto mil	Nombre (Réel double)	8
lieu approv phyto mil	Texte	50
prix produit phyto mil	Texte	50
pourquoi pas phyto cuit mil	Texte	50
produit phyto récolte mil	Oui/Non	
quelle partie récolte mil	Texte	15
type produit phyto mil	Texte	50
quant produit phyto récolte mil	Nombre (Réel double)	8
lieu approv phyto récolte mil	Texte	20
prix phyto récolte mil	Monétaire	8
pourquoi pas phyto récolte mil	Texte	50

C:\01.JVAN\BD\bd1.mdb
Table fumure organique

Columns

Name	Type	Size
code parcelle	Texte	11
fumier sur arachide	Oui/Non	1
type de fumier	Texte	50
fumier sur mil	Oui/Non	1
type de fumier mil	Texte	50
commentaires	Texte	80

C:\01_IVAN\BD\bd1.mdb

Table: traitements

Columns

Name	Type	Size
code parcelle	Texte	11
traitement chevaux	Oui/Non	
montant traitements chevaux	Monétaire	8
pourquoi pas traitement chevaux	Texte	50
pertes chevaux	Nombre (R��l double)	8
raisons pertes chevaux	Texte	50
traitement boeufs	Oui/Non	
montant traitement boeufs	Monétaire	8
pourquoi pas traitement boeufs	Texte	50
pertes en boeufs	Nombre (R��l double)	8
raisons pertes en boeufs	Texte	50
traitement moutons	Oui/Non	
montant traitement moutons	Monétaire	8
pourquoi pas traitement moutons	Texte	50
pertes en moutons	Nombre (R��l double)	8
raisons pertes moutons	Texte	50
traitement chèvres	Oui/Non	
montant traitement chèvres	Monétaire	8
pourquoi pas traitement chèvres	Texte	50
pertes en chèvres	Nombre (R��l double)	8
raisons pertes chèvres	Texte	50
montant réparations matériel agricole	Monétaire	8

C:\D1_IVAN\BD\bd1.mdb
Table débouché

Columns

Name	Type	Size
code parcelle	Texte	1
production mil 1993	Nombre (Réel double)	8
quant mil vendue	Nombre (Réel double)	8
prix de vente	Monétaire	8
lieu de vente mil	Texte	20
quant mil autocons	Nombre (Réel double)	8
quant mil donnée (azakat,etc)	Nombre (Réel double)	8
conditions stock du mil	Texte	20
production ara 1 996	Nombre (Réel double)	8
quant ara sonagraine	Nombre (Réel double)	8
prix sonagraine	Monétaire	8
lieu sonagraine	Texte	20
quant ara locale	Nombre (Réel double)	8
prix de vente local	Monétaire	8
lieu de vente locale	Texte	20
quant ara autocons	Nombre (Réel double)	8
quant ara triturée	Nombre (Réel double)	8
quant huile vendue	Nombre (Réel double)	8
prix litre huile	Monétaire	8
quant ara donnée	Nombre (Réel double)	8

C:\01_IVAN\BD\bd1.mdb
Table. dépenses

Columns

Name	Type	Size
code parcelle	Texte	11
dépenses nourriture	Monétaire	8
dépenses médicament	Monétaire	8
dépenses cérémonies familiales	Monétaire	8
dépenses cérémonies religieuses	Monétaire	8
dépenses vêtements	Monétaire	8
achat bétail	Monétaire	8
achat fourrage	Monétaire	8
achat semences	Monétaire	8
achat traitement semences	Monétaire	8
achat engrais	Monétaire	8
achat produits phyto	Monétaire	8
achat produits sanitaires	Monétaire	8
dépenses diverses	Monétaire	8

C:\01_IVAN\BD\bd1.mdb

Table Revenus

Columns

Name	Type	Size
code parcelle	Texte	11
gain production d'arachide	Monétaire	8
gain production de mil	Monétaire	8
gain élevage	Monétaire	8
gain autres productions agriioks	Monétaire	8
gain commerce	Monétaire	8
gain transport en charrette	Monétaire	8
gain manoeuvrage	Monétaire	8
montant mandats	Monétaire	8
"gain de marabout	Monétaire	8
autres revenus	Monétaire	8

Annexe 4

Varp	Valeur	Variable									
PSU		ara1996	dbetail	dcerefam1	dcererel	ddiverse	dengrais	dfourrag	dist1	dist10	dist11
18	1508888.89	1088888889	7222222.2	248666667	854222222	0	175500000	0	0	0.14055593	
23	1366718.75	0	3000000	1050687500	272187500	0	31421875	#DIV/0!	70.2606175	262.299787'	
25	380064	948640000	1526400000	4361840000	7860400000	0	223560000	#DIV/0!	#DIV/0!	7.39689637	
32	342400	408160000	53440000	4.3122E+10	272240000	0	329960000	9.4105E-06	#DIV/0!	126.379734	
40	846666.667	501388889	56000000	1803555556	392000000	0	1314888889	#DIV/0!	0	2664.27954	
54	704400	0	7624000000	287640000	129422400	29160000	362800000	#DIV/0!	0	73.8363638	
58	576875.	0	27000000	828171875	19187500	0	938250000	#DIV/0!	#DIV/0!	43.7559947	
71	5386144	10240000	2.2832E+11	9.2876E+11	9.9957E+10	0	9.795E+11	#DIV/0!	0	7.04997438	
74	91924888.9	0	34138888.9	2324472222	673333333	0	6829868056	#DIV/0!	0	98.8981524	
86	9475	0	0	4.1309E+10	203187500	0	3814171875	#DIV/0!	0	2.91019615	
36	3187424	0	2224000000	294000000	262600000	0	96000000	#DIV/0!	#DIV/0!	3.0066711	
115	3682400	0	541440000	310560000	4564640000	0	304000000	0	#DIV/0!	0.11108242	
121	312722.222	0	1713888889	436805556	3026472222	79022222.2	555555556	#DIV/0!	0	1.14765202	
129	121600	0	9000000	414000000	329840000	40000	230400000	#DIV/0!	#DIV/0!	0.30794308	
135	461388.889	0	8345534722	3070555556	609472222	0	64555555.6	#DIV/0!	#DIV/0!	0.06453948	
158	351875	485375000	12687500	1531687500	87187500	0	6750000	33.5642008	#DIV/0!	0.04084063	
161	622400	3941440000	694000000	1074560000	1175440000	230400	0	0	#DIV/0!	0.29710552	
163	2684722.22	45000000	186805556	1455555556	2806222222	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	14.1383491	
166	308000	113368056	2052555556	1431250000	1219368056	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	14.4914774	
178	1381718.75	0	50000000	2938888889	38888888.9	8888.88889	74666666.7	#DIV/0!	#DIV/0!	28.56191	
187	366666.667	8888888.89	70138888.9	8.2078E+10	1.6121E+11	8000000000	86805555.6	0.56075425	0.01066659	27.8866106	
188	22400	2916000000	184000000	285440000	69360000	31360000	0	0.04756105	0	30.2298778	
	168.793832	56.2979323	292.539653	245.91655	233.336885	190.16921	334.378134	13.7076625	0	244.351283	
	32.670558	18.307029	31.4104204	32.670558	32.670558	12.591577427	5871003	7.8147247	3.84145534	32.670558	
	SUP	SUP	SUP	SUP	SUP	SUP	SUP	SUP	INF	SUP	

dist12	dist1	dist2	dist3	dist4	dist5	dist6	dist7	dist8	dist9	dmedicam
#DIV/0!	#DIV/0!	0.14055593	0.05931129	#DIV/0!	0.05931129	#DIV/0!	#DIV/0!	0.14055593	0.2105688	350000000~
0	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	52.0168611	#DIV/0!	0.00502182	205.310951	0	62500000
#DIV/0!	0.29641	0	0.55745743	#DIV/0!	50.1616981	#DIV/0!	60.1430969	253.072998	0	1416000000
#DIV/0!	0	0.49662555	#DIV/0!	#DIV/0!	0.00602512	#DIV/0!	0	0.00385231	131.3769	565000000
37.1450612	0	#DIV/0!	0	#DIV/0!	231.637568	#DIV/0!	0	23.5411974	0	114666667
18.2464622	12.3128074	6.16330144	#DIV/0!	0	15.7545788	#DIV/0!	14.5929569	55.7698821	#DIV/0!	2.3554E+10
0.26340646	0	0	0	#DIV/0!	7.65233799	#DIV/0!	0	16.6222545	0	468750000
142.036381	3.95535641	2.7474727	0	#DIV/0!	0	#DIV/0!	43.6992216	182.509122	2.7474727	1.7853E+10
0.01932939	0.04448515	0.04448515	188.604286	#DIV/0!	0.20634998	#DIV/0!	0	149.958227	#DIV/0!	222222.22
#DIV/0!	2.91019615	0.02043875	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	1.06377153	54.6988105	0	2.9045E+10
0	0.10707193	#DIV/0!	0.10341793	#DIV/0!	0.00627357	#DIV/0!	#DIV/0!	47.3390052	#DIV/0!	11040000
0	0.02345742	0.03489299	20.909363	#DIV/0!	15.1268753	#DIV/0!	14.8888632	0.00380038	0.25489382	549000000
0	0	0	0	0	0.75719681	0	#DIV/0!	11.412732	2.56084279	1266645833
0.00268905	0	#DIV/0!	0.28605715	#DIV/0!	0.23201008	0	#DIV/0!	0.39869163	0	16000000
#DIV/0!	0	#DIV/0!	16.6457648	#DIV/0!	0.04938914	#DIV/0!	#DIV/0!	0.01393985	0.00326552	297222222
#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0.04084063	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	0	0	9062500
#DIV/0!	0	#DIV/0!	0.17970393	#DIV/0!	21.87123	0.18255653	#DIV/0!	0	#DIV/0!	91160000
#DIV/0!	0	#DIV/0!	14.5485711	#DIV/0!	15.6315429	#DIV/0!	#DIV/0!	0.12397947	0	146555556
#DIV/0!	1.4433E-05	0.20587276	0	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	185138889
#DIV/0!	38.8472614	0.25419374	#DIV/0!	0	3959.72545	0	0	251.032185	0.0382206	1616666667
#DIV/0!	#DIV/0!	0.28880234	0	0	22.8549946	0	32.4281873	6.1922383	0	201555556
#DIV/0!	0	1.90518569	0	#DIV/0!	0	0	0	3.4615962	0	168640000
120.475064	148.484331	63.9750861	118.528031	#VALEUR!	272.133177	#VALEUR!	10.7287889	182.659686	118.225173	203.396428
11.0704826	15.5073125	18.307029	16.9189602	32.670558	26.2962209	32.670558	12.5935774	28.869321	12.5915774	32.670558
SUP	SUP	SUP	SUP	#VALEUR!	SUP	#VALEUR!	SUP	SUP	SUP	SUP

dnourrit	dprodphy	dprodsan	dsemence	dtraitsm	dvetemen	mil1996	nb2bovin	nbanes	nbboeufs	nbcharr
1.1121E+10	722222.222	500000	981500000	560000	838888889	780000	0	0.22222222	50	0.22222222~
2559687500	421875	187500	324917969	167500	768750000	13275	0	0.75	17.25	0.1875
4.2393E+10	3414400	0	1.339E+10	24885600	306000000	306856	0	0.4	12.8	0.24
1.459E+11	384100	25874784	1.3894E+10	6929400	2934000000	1444000	0.64	0.24	21.76	4.16
6.1774E+11	125000	2340000	1957015089	40802222.2	2222222222	1068888.89	0	0.22222222	0	0.22222222
4063040000	1984000	3211520	60522400	837900	1066640000	220336	0	0.56	234.64	0.16
3.5504E+10	0	1394218.75	465756919	7499218.75	75000000	1381068.75	0	5.5	46.6875	1.1875
1.9991E+12	24000000	27999424	2.1769E+12	624297600	7.1498E+10	1992000	0	0.8	47.6	0.16
4.3497E+10	53888888.9	207740589	3.9293E+10	76440833.3	718333333	6744791.67	0	0.66666667	59	0
2.3616E+11	62500	907500	1.038E+10	6255000	910687500	141518.75	0.75	1.25	256	1.6875
3.5922E+10	160000	1988100	55716900	1575400	16000000	1929600	0	0.16	57.76	0.4
1.3478E+11	64000	608400	197206400	3025600	376000000	409600	0	0.56	15.6	0.4
3.4201E+10	172222.222	50000	934208681	922500	2031250000	344747.222	0	1.13888889	155.333333	0.22222222
1.6435E+10	240000	9216	1336227500	3529600	256000000	2826400	0	0.64	35.44	0.4
1.4083E+10	834722.222	99555.5556	1.8835E+10	10421388.9	868055.556	172722.222	0	0.22222222	0.55555556	0.13888889
4524187500	367500	1011075	1368171875	7642500	6250000	891875	0	0.1875	20.6875	0.5
6016000000	3144000	61843696	125440000	9296000	7384000000	914400	0	0.56	5.76	0.24
2.0288E+10	243333.333	39560000	577800000	1281388.89	753472222	722222.222	0	0.91666667	17.25	0.88888889
1.9452E+10	88888.8889	70255347.2	31250000	6537013.89	1474138889	327222.222	0	0.33333333	72.222222	0.47222222
4822222222	2446666.67	93888.8889	72461666.7	380000	1105555556	29242500	0	18.75	639.1875	30.25
7.743E+11	30992768.1	88055.5556	2.3098E+10	333609253	228472222	7270347.22	0	2.22222222	324.583333	0.80555556
3.6164E+10	409600	376000	2219840000	360400	184000000	268000	0	0.16	44.16	0.56
131.852324	246.285523	205.798495	338.048963	179.43797	183.592442	101.127065	#VALEUR!	77.9184183	73.2610955	109.2981
32.670558	31.4104204	31.4104204	32.670558	32.670558	32.670558	32.670558	32.67056	32.670558	31.4104204	32.4104204
SUP	SUP	SUP	SUP	SUP	SUP	SUP	#VALEUR!	SUP	SUP	SUP

[illegible]

nbsine	nbsoulev	pertboeu	pertchev	pertchv	pertmout	pvautorA	pvautorM	pvlocalA	pvmarchA	pvmarchM
0.222222	0.666667	0	0	0	0	0	#DIV/0!	25	272.2222	#DIV/0!
0.5	0.25	0	1.6875	0.25	4.6875	36100	#DIV/0!	#DIV/0!	156.25	156.25
0.16	0.56	1	2.4	0	4.24	#DIV/0!	#DIV/0!	25	134	#DIV/0!
0.56	0.64	0.222222	4	3.04	69.1875	#DIV/0!	0	#DIV/0!	156.25	#DIV/0!
0	0.222222	0	5 555556	0	22.22222	0	#DIV/0!	0	1806.25	156.25
0.64	0.4	0	1.6875	1.36	1.44	0	#DIV/0!	#DIV/0!	312.5	138.8889
0.6875	1.25	0	0	0	0	#DIV/0!	0	0	400	25
0.24	0.24	140.1875	180.24	29.76	242.4	0	#DIV/0!	0	688.8889	80
0.222222	0.222222	1.6	3.472222	0	15.55556	0	#DIV/0!	292.1875	3441.667	25
10.25	6.75	0	5.1875	0.1875	0.888889	0	#DIV/0!	#DIV/0!	56.25	#DIV/0!
0.56	0.56	4	4	0.96	0	#DIV/0!	#DIV/0!	267.1875	625	0
0.16	0.16	0	0	0.24	0	0	#DIV/0!	155.5556	156.25	0
0	0.138889	0	4.583333	0.222222	2.333333	0	#DIV/0!	0	156.25	0
0.64	0.64	0	0	2.56	0	#DIV/0!	#DIV/0!	0	2500	25
0	0.333333	13.33333	0	0	13.33333	#DIV/0!	#DIV/0!	24	6.25	#DIV/0!
0	1.25	3	2.1875	1	2.1875	#DIV/0!	#DIV/0!	18.75	0	#DIV/0!
0	0.96	0.16	0.64	0.16	64	#DIV/0!	#DIV/0!	112.5	0	#DIV/0!
0	0.666667	0.96	13.47222	0	33.04	#DIV/0!	#DIV/0!	256.25	25	#DIV/0!
0.222222	0.222222	0	0	0	1.44	#DIV/0!	#DIV/0!	25	#DIV/0!	#DIV/0!
0	168.75	0	0	5.555556	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	22.22222	#DIV/0!
0.138889	1.555556	0	0	0	2.56	0	0	0	2025	#DIV/0!
0	1.6	0	3	0.16	5.76	0	#DIV/0!	0	2688.889	#DIV/0!
51.51514	200.7847	72.84144	72.32296	68.42662	79.32409	#####	#####	19.9221	81.066	11.54853
22.36203	32.67056	1 5.50731	22.36203	21.02606	24.9958	32.671	32.671	18.30703	28.86932	1 2.59158
SUP	SUP	SUP	SUP	SUP	SUP	#####	#####	SUP	SUP	INF

pvmil	pvsonagr	pvttrsmA	pvttrsmM	pxengM	pxengrA	pxphyreA	pxphyreM	pxsonag	pxtrtboe	pxtrtche
0	0	560000	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	62500	#DIV/0!	0	0	#DIV/0!
#DIV/0!	0	167500	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	421875	0	0	#DIV/0!	#DIV/0!
#DIV/0!	0	16676000	722500	#DIV/0!	#DIV/0!	882400	1062500	0	#DIV/0!	#DIV/0!
6.25	0	7281400	0	#DIV/0!	#DIV/0!	170156.3	0	0	1543200	#DIV/0!
#DIV/0!	0	12935556	0	#DIV/0!	#DIV/0!	35156.25	0	#DIV/0!	0	#DIV/0!
#DIV/0!	#DIV/0!	369500	626475	#DIV/0!	0	456000	548888.9	22.22222	209800	206475
#DIV/0!	0	7499219	0	#DIV/0!	#DIV/0!	15625	0	0	0	#DIV/0!
#DIV/0!	0	5.12E+08	7290000	#DIV/0!	#DIV/0!	0	1562500	5.555556	3212475	0
#DIV/0!	#DIV/0!	73958125	625	#DIV/0!	#DIV/0!	50666667	0	0	6752640	#DIV/0!
#DIV/0!	0	3851875	182500	#DIV/0!	#DIV/0!	0	55555.56	0	0	0
#DIV/0!	#DIV/0!	673400	41088.89	#DIV/0!	#DIV/0!	62500	#DIV/0!	#DIV/0!	2600156	#DIV/0!
0	100	3081600	50468.75	#DIV/0!	#DIV/0!	64000	0	6.25	0	0
#DIV/0!	0	382500	0	0	0	202222.2	#DIV/0!	0	0	#DIV/0!
#DIV/0!	0	3529600	0	0	#DIV/0!	222222.2	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!
#DIV/0!	16900	9454722	0	#DIV/0!	#DIV/0!	902500	#DIV/0!	#DIV/0!	27022.22	#DIV/0!
505.5556	0	7642500	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	#DIV/0!	191700	0
0	#DIV/0!	9742400	0	62222.22	#DIV/0!	3368889	#DIV/0!	#DIV/0!	158600	14478025
#DIV/0!	0	1088056	0	#DIV/0!	#DIV/0!	798888.9	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!
#DIV/0!	0	5530347	90000	#DIV/0!	#DIV/0!	0	#DIV/0!	441866.7	4225	22500
#DIV/0!	2025	2.88E+08	22500	0	0	2575556	10000	2.25	#DIV/0!	0
72.22222	0	3.34E+08	#DIV/0!	0	0	87223456	89942400	0	0	#DIV/0!
0	0	444400	0	0	#DIV/0!	0	160000	4900	0	#DIV/0!
4.989596	5.805089	181.4304	99.16888	#VALEUR!	#####	179.531	95.64537	144.2031	60.23577	30.68366
5.391476	5.991476	32.67056	15.50731	32.67056	32.67056	26.29622	12.59158	11.07048	15.50731	5.991476
INF	INF	SUP	SUP	#VALEUR!	#####	SUP	SUP	SUP	SUP	SUP

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Annexe 5

1') Résultat de l'ajustement par régression multiple pour la variable SURFARA

$$R^2 = 0.95015534$$

	DF	Somme des carrés	Carré moyen	F	Prob>F
Régression	8	2075.5942707	259.44928384	31.17	0.0001
Erreur	13	108.19509635	8.32269972		
Total	21	2183.7893670			

Variable	Paramètre estimé	Erreur standard	Somme des carrés	F	Prob>F
_INTERCEP	0.02932543	2.13817023	0.00156556	0.00	0.9893
%MILVEND	-0.89434339	0.15316480	283.76241122	34.09	0.0001
%RESPERM	0.81103830	0.31454209	55.33366128	6.65	0.0229
%VENSONA	0.60020027	0.05525467	982.01621694	117.99	0.0001
DTRAITSM	0.00121308	0.00023150	228.52871799	27.46	0.0002
QENGRA	-0.06348913	0.00756905	585.57125165	70.36	0.0001
RVNCOMM	-0.00002342	0.00000295	522.72727774	62.81	0.0001
NBMOUTON	1.65808104	0.14928148	1026.7479899	123.37	0.0001
NBSINE	-21.20486821	1.73710131	1240.1810394	149.01	0.0001

2°) Résultat de l'ajustement par régression multiple pour la variable SURFMIL

$$R^2 = 0.95035790$$

	DF	Somme des carrés	Carré moyen	F	Prob>F
Régression	10	7735.5526532	773.55526532 21.06	21.06	0.0001
Erreur	11	404.06787758	36.73344342		
Total	21	8139.6205307			

Variable	Paramètre estimé	Erreur standard	Somme des carrés	F	Prob>F
INTERCEP	-73.76698447	23.60727469	358.66912623	9.76	0.0097
%MAUTOC	1.19673558	0.25495702	809.32711322	22.03	0.0007
%AUTOCA	1.03257950	0.13850015	2041.7763363	55.58	0.0001
%RESPERA	-0.46740550	0.11338091	624.26564438	16.99	0.0017
QENGRM	0.31972818	0.11439443	286.95491637	7.81	0.0174
RVNARA	-0.00004122	0.00000960	677.55774948	18.45	0.0013
RVNMIL	-0.00073463	0.00013136	1148.8217456	31.27	0.0002
%SMSONAG	0.30100210	0.10378709	308.96834940	8.41	0.0144
QSEMIS2A	0.07098588	0.00943081	2081.1696303	56.66	0.0001
QTRTSEMM	-0.22297531	0.03172947	1814.0509580	49.38	0.0001
NBANES	-6.91971554	2.68791008	243.44936881	6.63	0.0258

3°) Résultat de l'ajustement par régression multiple pour la variable RDTGOUS

$$R^2 = 0.77643810$$

	Df	Somme des carrés	Carré moyen	F	Prob>F
Régression	6	1207442.4536	201240.40894	8.68	0.0003
Erreur	15	347662.14577	23 177.476384		
Total	21	1555104.5994			

Variable	Paramètre estimé	Erreur standard	Somme des carrés	F	Prob>F
INTERCEP	-131.4499761	148.12755966	18252.209054	0.79	0.3889
%VENLOCA	11.92372856	2.74436547	437528.56822	18.88	0.0006
RVNAGRI	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00	0.9999
RVNAUTRE	0.00368695	0.00049283	443428.83466	10.44	0.0005
%SMMARCA	-4.20909214	1.61699972	157044.64212	6.78	0.0200
NBMOUTON	8.91209560	4.47090018	92094.961806	3.97	0.0647
NBPERSON	11.83247548	6.36938952	79987.432203	3.45	0.0830

4') Résultat de l'ajustement par régression multiple pour la variable RDTFANES

$$R^2 = 0.76714398$$

	Df	Somme des carrés	Carré moyen	F	Prob>F
Régression	6	2749609.2954	458268.21591	8.24	0.0005
Erreur	15	834606.14176	55640.409450		
Total	21	3584215.4372			

Variable	Paramètre estimé	Erreur standard	Somme des carrés	F	Prob>F
INTERCEP	949.66212322	144.44654326	2404995.3679	43.22	0.0001
%RESPERM	-39.67651009	25.70714669	132540.77203	2.38	0.1436
QENGRM	8.89099196	3.79260600	305784.37986	5.50	0.0332
RVNARA	0.00181299	0.00038987	1203189.5306	21.62	0.0003
RVNMIL	0.00612821	0.00399282	131068.78064	2.36	0.1457
RVNMANOE	-0.00126030	0.00063575	218654.47342	3.93	0.0661
NRSINE	234.57810730	96.72138339	327280.60843	5.88	0.0284

5') Résultat de l'ajustement par régression multiple pour la variable RDTMIL

$$R^2 = 0.89486892$$

	DF	Somme des carrés	Carré moyen	F	Prob>F
Regression	8	3773244.9289	471655.61612	13.83	0.0001
Erreur	13	443288.71797	34099.132151		
Total	21	4216533.6469			
Variable	Paramètre estimé	Erreur standard	Somme des carrés	F	Prob>F
INTERCEP	-1719.908850	541.34825581	344191.94711	10.09	0.0073
%MAUTOC	26.88702304	6.41808028	598437.05170	17.55	0.0011
%TRITURA	4.52705347	2.79296673	89586.598923	2.63	0.1290
DENGRAIS	0.16168805	10.02425594	1515175.4446	44.43	0.0001
DPRODPHY	0.23349639	0.07315763	347363.70741	10.19	0.0071
QENGRM	-109.9498428	16.99252741	1427633.0507	41.87	0.0001
RVNAGRI	-0.01713304	0.00413851	584418.92107	17.14	0.0012
RVNAUTRE	0.00639225	0.00142028	690724.66986	20.26	0.0006
NBSEMISM	-216.5193412	36.51285833	1199071.4318	35.16	0.0001

BIBLIOGRAPHIE

BENOIT-CATTIN Michel et FAYE Jacques, 1986. La politique agricole du Sénégal, p. 23-28, in Les unités expérimentales au Sénégal, ouvrage collectif sous la direction de Michel BENOIT-CATTIN. Montpellier, ISRA/CIRAD/FAC, 500 pages.

BOSC P.-R.L., CA LKINS P., Y UNG J.-M., 1990. Développement et recherche agricole dans les pays sahéliens et soudaniens d'Afrique, p. 14-1-56. Montpellier, CIRAD-DSA, 310 pages

CHAN HO TONG Sonia, 1996. Méthodologie de collecte de données agricoles pour l'alimentation d'un Système d'Information Géographique. Rapport de stage de deuxième année ISTOM, CERAAS, 32 pages.

CHAUVET Pierre, 1992. Traitement des données à support spatial : la géostatistique et ses usages Fontainebleau, Ecole des Mines, Centre de Géostatistique, 43 pages

DIARASSOUBA, 1968. L'évolution des structures agricoles au Sénégal : Déstructuration et restructuration de l'économie rurale. Paris, CUJAS, 299 pages.

FREUD C., HANAK-FREUD E., RICHARD J., THEVENIN P., 1997 La crise de l'arachide au Sénégal : un bilan-diagnostic. Montpellier, CTRAD, 157 pages.

GUISSARD Réginald, Septembre 1995. Contribution à la conception et à la mise en place d'un Système d'Information Géographique pour le suivi des cultures vivrières dans le bassin arachidier sénégalais. Travail de fin d'études présenté pour l'obtention du grade d'ingénieur agronome à l'Université Libre de Bruxelles (Belgique), 83 pages.

OLIVIER Thierry, 1997, Etude des protocoles de terrain et outils informatiques pour une nouvelle méthodologie de découpage géographique basée sur l'utilisation du GPS : mise en place d'une base aréolaire de sondage sur le département de Diourbel. Rapport de stage DESS SIG, CERAAS, 63 pages.

TEMARA Samir, septembre 1997. Contribution au suivi des rendements de l'arachide dans le département de Diourbel (Sénégal) : enquête par sondage et interpolation géographique. Travail de fin d'études présenté pour l'obtention du grade d'ingénieur agronome à l'Université Libre de Bruxelles (Belgique), 141 pages.

TOMASSONE R., AUDRAIN S., LESQUOY-de TURCKHETM E., MILLIER C., 3392. La régression : nouveaux regards sur une ancienne méthode statistique, p. 13-14 et 164-166. Paris, Masson, 188 pages.