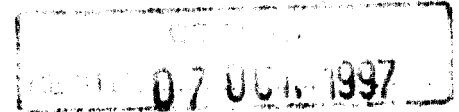


TEPA
SIG 4



Remerciements

Mes plus vifs remerciements s'adressent tout d'abord au Professeur R. Lannoye qui m'a permis de réaliser un travail qui constitue l'expérience la plus enrichissante que j'ai déjà pu réaliser et qui m'a soutenu tout au long de mon mémoire ; au Docteur Eleonore Wolff qui m'a t'ait partager son expérience, guidé dans l'avancement de mon T.F.E. et dont les encouragements continus ont dynamisé mes initiatives.

Je remercie également :

Le Docteur D. Annerose, directeur du Centre d'Etude pour l' Amélioration de l'Adaptation a la Sécheresse pour l'accueil, les moyens financiers et techniques dont j'ai pu bénéficier et pour la confiance qu'il m'a accordée.

Réginald Guissard pour son aide, sa confiance et ses encouragements tout au long de cette année académique.

David et les nombreux membres du C.E.R.A.A.S. qui par leur expérience m'ont également apporté une grande aide tant sur le plan technique que théorique.

Sonia avec qui j'ai réalisé toute la campagne de collecte des données agronomiques durant la campagne agricole 1996.

Laurent, Olivier, Renzo et Marius qui constituent le team I.G.E.A.T. dont J'ai pu user a outrance par mes innombrables questions mais qui sont toujours restés disponibles.

'Madame Malice, professeur d'expérimentation, qui m'a guidé dans mon raisonnement pour l'établissement de la taille d'échantillonnage.

Jésus Millor pour m'avoir guidé dans mes raisonnements statistiques.

Monsieur et Madame Massard pour leurs conseils précieux.

S'adresse mes plus sincères remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à faire de ce Travail de Fin d'Etudes une aventure enrichissante et inoubliable.

Enfin, j'adresse toute ma reconnaissance à mes parents mes frères, Christine et Evelyne pour m'avoir encouragé, soutenu et conseillé tout au long de mes études.

Résumé

Ce travail a pour objet le suivi des rendements de l'arachide dans le département de Diourbel au Sénégal. En premier lieu, il propose une taille d'échantillon qui pourra être appliquée dans le département pour les campagnes agricoles futures. Cet échantillonnage a pour objectif l'estimation des rendements moyens de l'arachide au sein du département de Diourbel avec une précision connue tout en respectant des contraintes de coût et de temps. Le plan de sondage proposé permet en outre d'étendre l'échantillonnage au sein des unités primaires ce qui a comme conséquence principale de diminuer la **variance** interne des rendements qui leur sont associées et ainsi d'améliorer l'estimation des rendements par rapport à l'échantillonnage précédemment établi.

La collecte des données complémentaires aux rendements par des enquêtes auprès des exploitants permet de déterminer les facteurs explicatifs déterminants de ces rendements et de mieux comprendre l'organisation agricole des populations locales.

Enfin, l'application de la Géostatistique aux données de rendement permet la conception d'une carte des rendements moyens au sein du département qui a pour objet de répondre, à terme, à un besoin urgent du gouvernement sénégalais d'obtenir des données **chiffrées** et fiables sur l'état des productions agricoles nationales.

I. INTRODUCTION	4
A. CONTEXTE ET BUT DU TRAVAIL	4
B. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE	5
1. Situation du Sénégal	5
2. Le bassin de l'arachide	6
3. Le département de Diourbel	6
C. LE CLIMAT	9
1. Les saisons	9
2. Les caractéristiques pluviométriques	9
D. L'ARACHIDE (ARACHIS HYPOGEA)	11
1. Historique	12
2. Botanique et systématique	12
3. Rut de la culture	13
4. Valeur alimentaire	11
5. Cycle végétatif	14
6. Contexte économique	15
II. PLAN DE SONDAGE	16
A. INTRODUCTION	16
1. Définitions	16
2. Sonde à plusieurs degrés	16
3. Hase de sondage Aréolaire (A.S.F.)	16
4. La hase de sondage aréolaire réalisée au C.E. 12.A.A.S.	17
a) Introduction	17
b) Stratification de l'A.S.F. dans le département de Diourbel	17
B. OBJECTIF	22
C. MÉTHODE	23
D. RÉSULTATS	23
1. Introduction	23
2. Détermination de la taille d'échantillon dans les unités A et B	23
a) Détermination des scénarios d'échantillonnage au sein d'une P.S.U.	23
b) Calcul de l'erreur relative associée à chaque scénario envisagé pour les unités A et B	30
c) Conclusion	32
3. Détermination de la taille d'échantillon dans les 20 unités du département de Diourbel autres que les unités A et B	33
a) Calcul de la variance totale pour chaque P.S.U.	33
b) Calcul de l'erreur relative en fonction des 6 scénarios envisagés	33
E. DISCUSSION	37
F. CONCLUSION	39
III. SUIVI DES RENDEMENTS DE L'ARACHIDE DANS LE DÉPARTEMENT DE DIOURBEL	40
A. OBJECTIFS	40
B. COLLECTE DES DONNÉES DE RENDEMENT	40
1. Mesure des rendements de l'arachide	40
3. Identification (levé au G.P.S.) et marquage des zones d'échantillonnage	42
3. Enquête complémentaire auprès de l'exploitant	47
a) Objectif	47
b) Etablissement des questionnaires	47
4. Organisation de la collecte des données	55
a) Equipes de terrain	55
b) Gestion de la base de données	55
(1) introduction	55
(2) Les tables de la base de données	55

(3) Les identifiants	56
(4) La saisie des données	56
C. ANALYSE DE LA VARIATION DES RENDEMENTS DE L'ARACHIDE DANS LE DÉPARTEMENT DE DIOURBEL	57
1. Introduction - Objectifs	57
2. Analyse des facteurs explicatifs	57
a) Influence des facteurs physiques du milieu sur les rendements	57
(1) Les facteurs édaphiques	57
(a) Introduction	57
(b) Méthode	58
(i) Digitalisation de la carte morphopédologique du département de Diourbel	58
(ii) Analyse de la carte morphopédologique	58
(c) Résultats	61
(d) Discussion	61
(2) Les facteurs climatiques	62
(a) Le régime hydrique	62
(i) introduction	62
(ii) Méthode	63
(a) Mise en place des pluviomètres	63
(b) Fiches d'enquête	63
(iii) Résultats	66
(a) Introduction	66
(b) Relation rendements - pluviométrie	69
(i) Relation rendements - pluviosité totale	69
(ii) Relation rendements - maximum de pluviosité	70
(iii) Relation rendements - nombre de jours de sécheresse	73
(iv) Discussion	73
(b) La température	73
b) Influence des facteurs humains sur les rendements	74
(1) Introduction	74
(2) La densité de population	74
(3) La distance parcelle/ville ou village	83
(a) Introduction	83
(i) Méthode	84
(ii) Résultats	84
(iii) Discussion	84
(b) Dans le département de Diourbel	85
(i) Introduction	85
(ii) Méthode	85
(iii) Résultats	85
(iv) Discussion	85
c) Influence des techniques culturales sur les rendements	90
(1) Le semis	90
(a) La densité de semis	90
(b) La profondeur de semis	90
(c) La date de semis	90
(i) Introduction	90
(ii) Résultats	91
(a) relation rendements - date de semis	91
(b) relation date de semis - croissance des plantes d'arachide	91
(i) relation rendements - pluviosité totale effectivement tombée durant la croissance des plantes d'arachide	93
(ii) relation rendements - pluviosité effectivement tombée durant les différentes phases de croissance des plantes d'arachide	94
(iii) Discussion	95
(2) Les rotations	98
(a) Dans les unités A et B	98
(b) Dans le département de Diourbel	99
(c) Discussion	99
(3) La préparation du sol	99
(4) La fumure	100
(a) Introduction	100
(b) Dans les unités A et B	100
(c) Dans le département de Diourbel	100

(5) La variété	101
d) Conclusion	101
3. régression multiple	107
a) Introduction	107
b) Méthode	107
(1) Introduction	107
(2) Dans les unités A et B	108
(3) Dans le département de Diourbel	108
c) Résultats	109
(1) Dans les unités A et B	109
(a) Détermination des variables explicatives des rendements	109
(i) y_{res} en fonction de la distance au village	109
(ii) y_{res} en fonction du précédent cultural	109
(iii) y_{res} en fonction de l'application de fumure organique	110
(b) discussion	110
(2) Dans le département de Diourbel	111
(a) Détermination du nombre de variables explicatives des rendements	111
(i) y_{res} en fonction de la pédologie	111
(ii) y_{res} en fonction de la fumure organique	111
(b) Calcul de l'équation de régression multiple	112
d) Discussion	113
e) Conclusion	114
IV. ANALYSE SPATIALE DES RENDEMENTS ET DE LA PLUVIOMÉTRIE	115
A. INTRODUCTION	115
1. L'approche géostatistique	115
2. Les hypothèses de la géostatistique	116
a) Pour les unités A et B	116
b) Pour les unités du département de Diourbel	116
B. CONCEPTS THÉORIQUES	125
C. RÉSULTATS ET DISCUSSION	127
1. Interpolation des rendements	127
a) Introduction	127
b) Interpolation des rendements dans les unités A et B	127
(1) Interpolation des rendements dans l'unité A	127
(2) Interpolation des rendements dans l'unité B	127
(3) Conclusion	131
c) Interpolation des rendements dans le département de Diourbel	133
2. Interpolation de la pluviométrie	133
D. CONCLUSION	138
V. CONCLUSION GÉNÉRALE	139
BIBLIOGRAPHIE	142

I. Introduction

A. Contexte et But du travail

Ce travail est consacré au suivi des rendements de l'arachide dans le département de Diourbel au Sénégal. Il est constitué de trois parties :

1. la détermination de la taille de l'échantillon au sein du département qui permettra d'estimer la répartition spatiale des rendements en tenant compte des facteurs **précision - temps et coût**,
- 3 la description de la campagne de suivi des rendements auprès des exploitants ; l'analyse de l'influence des différents facteurs (physiques, humains et techniques culturelles) sur la **variation** des rendements et la détermination d'une régression multiple éventuelle entre les rendements et ces facteurs,
- 3 l'analyse spatiale des rendements et de la **pluviométrie**, et la détermination de fonctions d'**interpolation** des rendements afin d'obtenir une carte de leur répartition au sein du département.

Ce T.F.E. s'est déroulé en deux étapes.

La première a été consacrée à la collecte des données pour le suivi des rendements dans le **département** de Diourbel auprès des exploitants. Cette étape a été réalisée en deux stages pour une durée totale de trois mois. Le premier stage s'est déroulé de mi-juillet à fin **août** 1996 et a permis de recenser les parcelles d'arachide et à préparer la campagne de mesure des rendements par le C.E.R.A.A.S.¹, centre de recherche qui m'a accueilli durant cette période. Le second stage s'est déroulé de mi-septembre à fin octobre pour les mesures des **rendements** à la récolte au sein de ces parcelles.

Le C.E.R.A.A.S. est un pôle régional de recherche et de formation pour l'amélioration de l'adaptation à la **sécheresse**. Il a été créé en 1989 à l'initiative des institutions nationales de recherche agronomique membres de la C.O.R.A.F.² et du C.I.L.S.S.³ Il trouve son origine dès 1983 avec la mise en place par l'I.S.R.A.⁴ d'un nouveau programme de l'amélioration de l'adaptation de l'arachide. L'objectif de ce programme est d'améliorer la production grâce à la création de variétés mieux adaptées aux conditions pluviométriques des régions **sahéliennes**, sans **accroître** l'investissement déjà réalisé par l'agriculteur.

Le projet dont ce mémoire fait l'objet a été mis en œuvre à la suite d'une collaboration entre le C.E.R.A.A.S. et le laboratoire de physiologie végétale de l'U.L.B. en 1995.

La seconde étape s'est déroulée à l'U.L.B. pour l'analyse des données de rendements. L'encadrement relatif à l'utilisation des S.I.G.⁵ et de l'application à ces données de statistiques spatiales a été réalisé par l'I.G.E.A.T.⁶

Ce mémoire est la suite logique du T.F.E. de Réginald Guissard qui a **permis d'établir** les fondements de la réalisation de la campagne de suivi des rendements dans le **département** de Diourbel pour l'année 1996 (Guissard 1995).

¹ Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse

² Conférence des Responsables des institutions agronomiques Africaines

³ Comité Interafricain de Lutte contre la Sécheresse au Sahel

⁴ Institut Sénégalais de Recherches Agronomiques

⁵ Systèmes d'Information Géographique

⁶ Institut de Gestion de l'Environnement et de l'Aménagement du territoire

Un bref aperçu du contexte géographique de l'étude, du climat de la région, du contexte économique et de la culture de l'arachide dans le « bassin de l'arachide » est présentée ci-dessous. Une description détaillée de la situation morphopédologique du département de Diourbel est réalisée dans le second chapitre.

B. Contexte géographique

1. Situation 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. Au nord, la frontière avec la Mauritanie est définie par le fleuve Sénégal ; le fleuve Falémé délimite la frontière avec le Mali ; la Guinée et la Guinée-Bissau sont les pays limitrophes au Sud. La Gambie forme une enclave de 11 295 km² le long du fleuve Gambie au Sud du Sénégal (voir figure I-1).

Comme tout le Sénégal est situé au Sud du 17^{ème} degré de latitude nord, au plein cœur de la zone tropicale, les températures sont élevées toute l'année. Les précipitations annuelles ont presque entièrement lieu pendant l'été qui est la saison humide et qui dure jusqu'à six mois au Sud et se réduit à trois mois en remontant vers le nord. Comme toutes les régions à la limite Nord des vents alizés, le Sénégal souffre d'un régime de précipitations extrêmement variable. A titre d'exemple- Saint-Louis a eu 127 mm de pluie en 1903 et 660 mm en 1912. Dakar a eu 381 mm en 1937 et 686 mm l'année suivante. La moyenne pluviométrique varie de 1500 mm dans le sud-Ouest à un peu moins de 300 mm dans le Nord-Ouest (USAID/RSI 1984 (1)).

La majorité de la population du Sénégal réside dans la partie Ouest soit le « bassin de l'arachide » (voir description ci-dessous) et les centres surpeuplés de Dakar, Thiès, Saint-Louis, Diourbel, Kaolack, Louga, Tambacounda et Ziguinchor.. Environ 30 % de la population est concentré dans ces villes et 40 % dans le « bassin de l'arachide ». Plus de 60 % de la population vit dans un rayon de 330 km autour de Dakar. Environ 60 % de la population appartient au secteur rural de l'économie sénégalaise, qui comprend les productions végétales, l'élevage, la pêche et la sylviculture. Grossièrement, 61 % de la population dépend des productions végétales uniquement et 7 % dépend de ces productions en combinaison avec l'élevage. Seulement 2 % est totalement dépendant des troupeaux et 1 % vit uniquement de la pêche.

La majorité de l'agriculture consiste en cultures pluviales dans le « bassin de l'arachide » avec une augmentation du nombre de terres où une agriculture de décrue est pratiquée dans la Casamance et dans la vallée du fleuve Sénégal. Les principales cultures sont les légumineuses (arachide principalement), le mil, le sorgho, la canne à sucre, le manioc, le riz, le coton, les légumes et les fruits.

Le pays incluant la Gambie est arrosé par quatre grands fleuves. Le Sénégal est navigable de façon intermittente jusqu'à Kayes au Mali et le Gambie est navigable sur 470 km environ. Le fleuve Saloum et son principal affluent le Sine, sont des cours d'eau stagnants qui alimentent les vastes étangs sujets aux marées de l'estuaire submergé. Le Casamance coule dans un étroit bassin entre la Gambie et la Guinée Bissau. Un certain nombre de cours d'eau plus petits tels que le Ferlo coulent de façon intermittente pendant la saison des pluies, mais sont en fait des reliques d'un climat plus humide de par le passé.

2. Le bassin de l'arachide

Le bassin de l'arachide 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 jusqu'à la Gambie au Sud. Depuis plus d'un siècle, la constante migration de l'arachide en a fait la région la plus active des campagnes sénégalaises (Pélissier 1980). La « graine » a d'abord pris place sur les terroirs anciens des pays Wolof et Sérér, 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 vers le début du XIXe siècle, car elle était la meilleure culture de rapport, elle constituait jusque dans les années 60 la première ressource économique du pays. Dès son apparition dans le pays, l'arachide a été cultivée dans le bassin de l'arachide apportant à cette région du Sénégal une importance économique de premier ordre. Cependant, La culture de l'arachide ne figure plus aujourd'hui en première position dans les ressources du pays (voir point D.6)

3. Le département de Diourbel

Le Sénégal est administrativement divisée en régions et chaque région en départements (voir figure 1- 1). La région de Diourbel se situe au Centre-Ouest du Sénégal et correspond à une latitude et une longitude d'environ 14° Nord et 17° Ouest. Elle est divisée administrativement en trois départements : Diourbel, Bambey et Mbacke (voir figure I-2). Le département de Diourbel est situé en plein centre du « bassin de l'arachide ». A quelques cent cinquante kilomètres de la capitale, Diourbel lui est relié par route et par chemins de fer. C'est au sein du département de Diourbel que s'étend la présente étude.

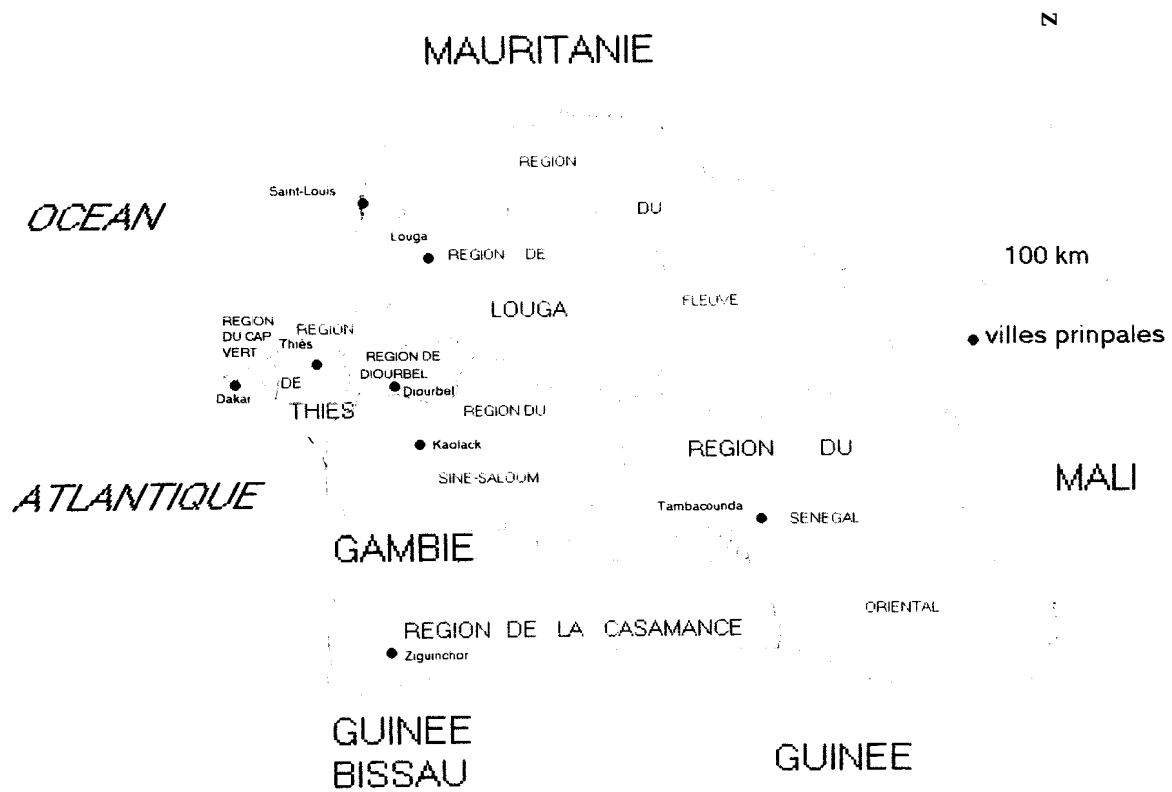


Figure I-1

Découpage administratif du Sénégal en régions (Pélissier 1980)

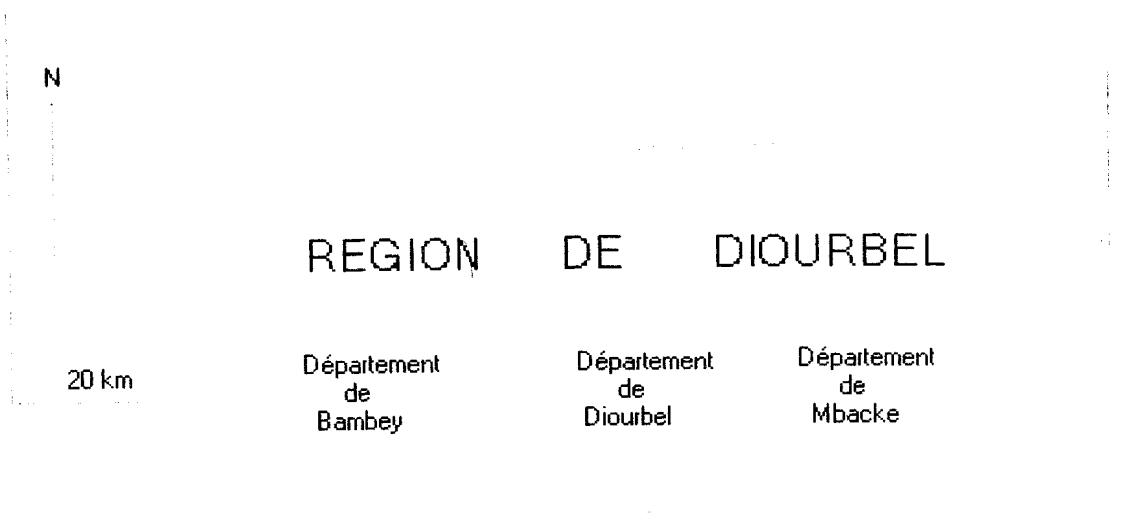


Figure I-2

Découpage administratif de la région de Diourbel en départements (Pélissier 1980)

C' Le climat

1. Les saisons

Le climat du Sénégal peut être divisé en deux saisons au cours de l'année :

- la saison sèche (mi-octobre à juin), pratiquement sans une goutte de pluie. Le paysage est alors balayé parfois, entre décembre et février, par l'harmattan, un vent sec et froid en provenance du Nord. responsable des forts taux d'évaporation existant sur la majorité du territoire sénégalais. Les températures varient alors de 16 à 26°C à Dakar (USAID/RSI 1984 (1)). Le climat est le plus doux durant les mois de décembre à février.
- la saison des pluies (juillet à mi-octobre) est appelée hivernage. Au Nord, l'hivernage y est plus doux et les pluies assez rares. Au sud, les pluies sont plus fréquentes et arrosent chaque jour la végétation durant quelques heures ou peut devenir continue pendant plusieurs jours.

2. Les caractéristiques pluviométriques

En excluant les pluies côtières occasionnelles de la saison sèche, appelées « heug », les pluies pour la plupart tombent pendant la saison humide.

La carte des isohyètes du Sénégal réalisée sur une moyenne entre les années 1981 et 1983 (figure I-3) indique une diminution relative des pluies du Sud au Nord. La longueur moyenne de la saison pluvieuse est de cinq mois et demi à Kédougou (extrême Sud Est), cinq mois sur la côte Casamançaise (Sud Ouest), quatre mois à Nioro du Rip (frontière Nordde la Gambie), deux mois et demi à Louga (Norddu pays) et deux mois dans la basse vallée du fleuve Sénégal (frontière Mauritanienne). Les mois les plus arrosés sont par ordre décroissant août, septembre et juillet. Les précipitations sont très variables d'une année à l'autre ou même sur des périodes de plus longue durée comme on peut le voir sur le tableau I-1. Un écart de plus de 100 % est possible. tel fut le cas à Saint-Louis où on a enregistré 127 mm de pluie en 1903 et 660 mm en 1912. De plus, alors que les précipitations peuvent paraître normales une certaine année en quantité, le moment où elles commencent et où elles s'arrêtent et leur périodicité peuvent varier énormément surtout dans le Centre et le Norddu Sénégal. De telles variations désorganisent les pratiques culturelles et éventuellement résultent en des rendements désastreusement bas pour les principales cultures,

Relevés pluviométriques des principales stations
climatiques de 1974 à 1983 (en mm) (USAID/RSI 1984

Tableau I-1

STATIONS	ANNEES									
	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Dakar Yoff	366.3	564.0	387.3	171.2	323.4	341.1	377.8	338.2	305.5	154.9
Kédougou	1296.21	1271.9	1111.8	1109.3	1595.3	958.3	1116.1	1305.5	957.4	879.8
Kaolack	548	553.7	472.4	461.1		510.5	418.1	457.9	654.3	302.5
Linguère	330.0	478.9	387.7	340.0	316.0	393.3	380.9	376.7	480.0	189.4
Louga	408.5	308.3			308.0	252.4		259.1		145.4
Tambacounda	943.0	892.9	665.6	602.3	725.6	737.0	523.9	762.8	457.9	488.7
Diourbel	598.9	505.2	497.1	351.8	601.2	527.3	340.6	370.8	328.5	285.0
Thiès	655.4			288.1	605.6	626.5	409.1	482.7	459.9	250.7
Kolda	1019.0	1187.8	920.4	644.6	991.9	823.2	565.9	1001.9	848.4	726.4
Podor	150.9	225.5	264.0	132.4	303.9	226.6	219.6	139.5	169.4	94.2
Matam	327.5	407.5	392.5	194.0	318.7	259.0	217.5	370.8	275.9	265.0
Ziguinchor	1240.4	1417.2	1296.5	790.3	1513.4	1194.1	698.5	1221.4	897.9	818.5

D. L'arachide (*Arachis hypogea*)

1. Historique

L'arachide, plante à la fois vivrière et industrielle, serait originaire de l'Amérique latine, et plus précisément du Pérou⁷. De là, elle aurait émigré au Brésil d'où elle aurait traversé l'Atlantique avec les premiers conquérants portugais puis serait retournée en Amérique avec les négriers. Pour se faire une idée du développement de l'arachide, il suffit de consulter le nombre d'appellations pouvant être recueillies dans les régions productrices*.

L'introduction en France date de 1840 environ, époque à laquelle les Français installés au Sénégal flairèrent l'intérêt possible de cette graine oléagineuse et en expédièrent de petits contingents à Marseille, Rouen et Bordeaux (Adrian et al 1968). Depuis cette époque, la vogue ne fit que croître au Sénégal jusqu'en 1960 où elle représentait la première source du pays (voir point D.3).

2. Botanique et systématique

L'arachide est une légumineuse oléagineuse à gousse souterraine, de la sous-famille des Papilionacées. Elle possède des fleurs aériennes typiques jaunes. L'ovaire, après fécondation, est portée en terre par le développement du gynophore. Le fruit (gousse) se développe et mûrit entre 3 et 5 cm de profondeur. La gousse est appelée « coque » au stade commercial.

L'arachide possède un système racinaire particulier : elle n'a pas d'épiderme et, par conséquent, pas de vrais poils absorbants. L'absorption des éléments minéraux et de l'eau se fait directement par le parenchyme cortical.

L'espèce est divisée en plusieurs types. C'est Gregory (Gregory et al 1951), à la suite des travaux de Richter qui a montré l'intérêt de baser la classification de l'arachide 'notamment sur la disposition des organes reproducteurs (Richter 1899). Ceux-ci sont distribués sur les rameaux latéraux de façon alternée chez le type Virginia faisant succéder deux bourgeons végétatifs, deux bourgeons fructifères, alors que chez les types Valencia et Spanish on notera une série de bourgeons fructifères à la base suivis de quelques bourgeons végétatifs, puis à nouveau une série de bourgeons fructifères. Il existe trois grands groupes de variétés (M.C.D.⁹ 1993):

- les variétés hâtives dont le cycle de vie dure 90 jours approximativement Ce groupe comprend les variétés des types Valencia et Spanish
- les variétés intermédiaires dont le cycle de vie est de 100 à 115 jours
- les variétés tardives dont le cycle de vie est de 120 à 140 jours.

⁷ Des gaines d'arachide furent retrouvées dans des vases funéraires de l'époque préhistorique, dans la région de Lima, et ses dessins de la plante figurent dans des sculptures de cette époque

⁸ Appellations de l'arachide dans les principaux pays producteurs

Amérique du Nord: ground-nut, peanut, monkey-nut, earth-nut ; Antilles et Amérique Centrale manobi, ; Cuba, Vénézuéla : mani ; Brésil : mendubin, mandobi, mondobi, Andes : pindar ; Pérou : anchic, inchi ; Sénégal : mantiga, tiga (du portugais : manteiga = beurre) ; Inde : mungphali, verk-kadalai, verushanaga, verushanaga kaya ; Birmanie : mibe, Malaisie : kachang-tanah, Chine : loh-hwasang, fa-sang, fasan ; Espagne : cacahuete. Portugal : amandoim ; Italie : pindaro, arachide ; France : arachide, cacahuète, pistache de terre.

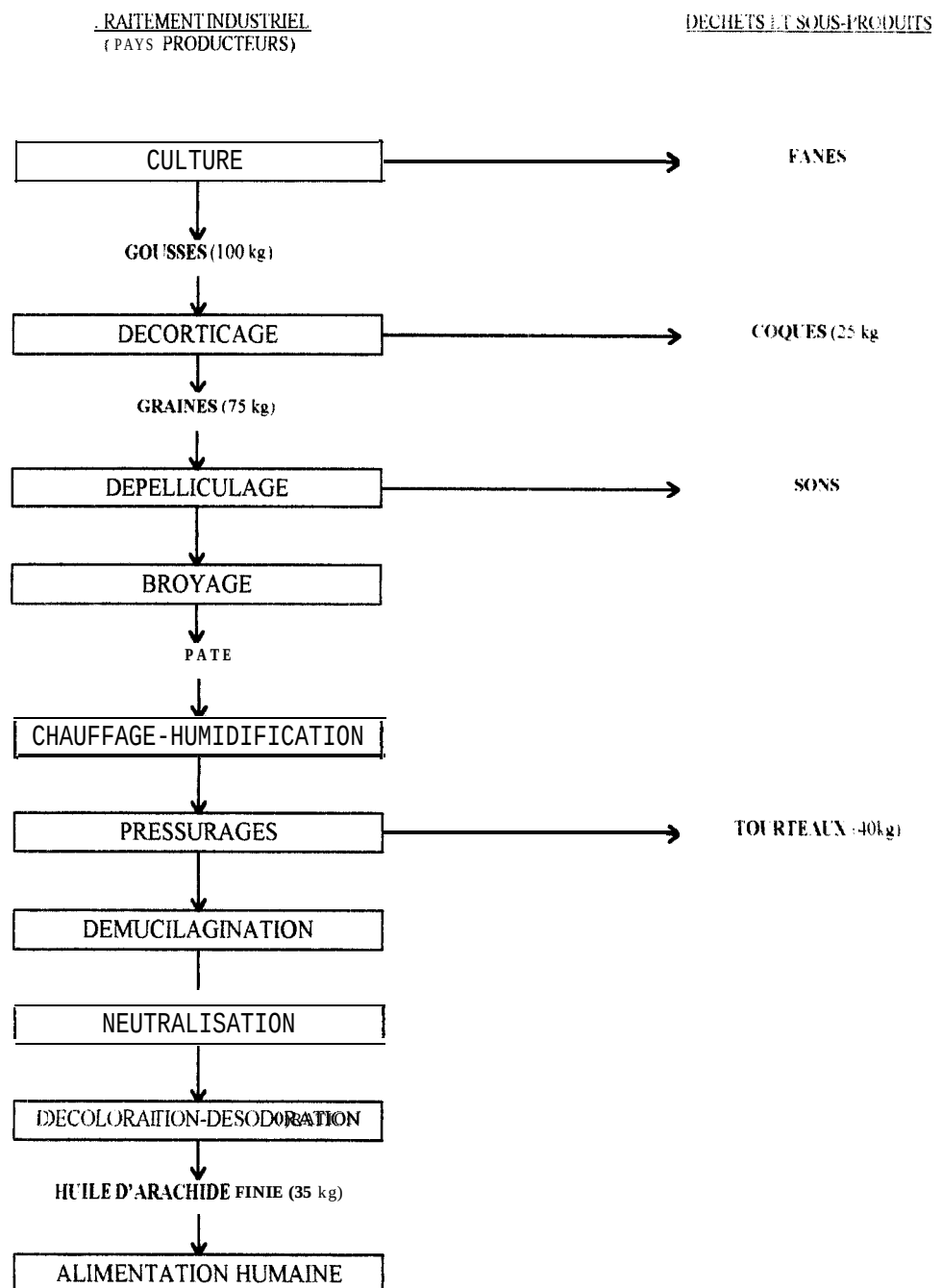
⁹ Ministère de la Coopération et du Développement français

3. But de la culture

L'arachide est cultivée pour ses graines, graines servant surtout de matière **première pour** l'extraction d'une huile utilisée en cuisine et en savonnerie. Les sous-produits d'huilerie sont nombreux :

- les tourteaux (alimentation du bétail)
- les farines de tourteaux
- les coques qui servent, après broyage, de combustible
- les pellicules rouges qui constituent un son
- les mucilages (liquide visqueux)

On peut voir ci-dessous le schéma de fabrication des produits issus de l'arachide (M.C.D.⁽¹⁾ 1993):



⁽¹⁾ Ministère de la Coopération et du Développement français

Une grande partie de la production d'arachide n'est pas transformée en huile : il existe en effet de nombreux autres modes de consommation de l'arachide : telle quelle ou grillée, sous forme de beurre d'arachide. Particulièrement dans un pays comme le Sénégal, il ne faut pas oublier que la graine constitue un des aliments de base. On estime en effet que l'arachide fournit près de 2/3 de la ration alimentaire lipidique des pays tropicaux.

4. Valeur alimentaire

Pendant longtemps, la caractéristique la plus remarquable de la graine de l'arachide fut sa teneur en huile. On peut voir ci-dessous sa composition :

Eau	3 à 8 %
Protéines	22 à 32 %
Lipides	34 à 54 %
Cellulose	1.5 à 3 %
Extractif non azoté	16 à 22 %
Sels minéraux	2 à 3 %

Une teneur en huile allant jusqu'à 50 %, à une époque où les besoins en corps gras étaient au début du siècle très grands, fut une aubaine pour le Sénégal. Le succès initial de l'arachide ne fut cependant pas d'ordre alimentaire mais industriel : les essais de culture effectués dans le midi de la France sous Napoléon avaient pour but de produire une huile d'éclairage. Et dans ce but, l'huile d'arachide s'est révélée très intéressante, car la lumière qu'elle produisait était beaucoup plus blanche que celle fournie par les autres huiles de l'époque (Adrian *et al* 196X)..

5. Cycle végétatif

Le cycle végétatif de l'arachide est fortement influencé par la température. Il varie également selon les groupes (Gillier 1969). Dans les conditions écologiques qui règnent dans le département de Diourbel pour la variété 55-437 (principale variété cultivée dans le département de Diourbel : voir chapitre II relation variété cultivée - rendements).. le cycle se décompose de la manière suivante :

Phases	Durée
Semis - levée	4 - 5 jours
Levee - 1 ^{ère} fleur	15 - 20 jours
Floraison utile	30 - 40 jours
Durée de maturation	40 - 45 jours

Tableau I-2

Durée des phases du cycle végétatif de l'arachide (Gillier *et al* 1969)

6. Contexte économique

L'agriculture représente le secteur prédominant de l'économie du Sénégal, du moins en terme d'emplois : elle fait vivre huit habitants sur dix. La place des produits arachidiers dans les ventes reste primordiale. En 1966, l'arachide représente la première ressource économique du pays (Pelissier 1966). En effet, les échanges extérieurs étaient essentiellement caractérisés dans les années 60 par la mono-exportation de ces produits qui alimentaient 80 % des ventes sénégalaises en valeur. L'arachide et ses dérivés ne représentent que 35 % des exportations en 1974 (Pelissier 1980). Que l'arachide ne soit plus l'exportation exclusive du Sénégal est un événement considérable. D'autres productions nationales ont conquis une place de plus en plus grande dans le commerce extérieur. L'arachide ne représente plus en 1980 que 40 % environ des exportations, les phosphates 20 % ; le tourisme représente 10 % en terme « d'exportations » et est ainsi placé en troisième position, secteur qui est d'ailleurs en pleine expansion. En effet, depuis 1980, le marché de l'arachide a encore perdu de la place et ne figure plus aujourd'hui qu'en troisième position dans les revenus du pays après la pêche et le tourisme (M.C.D.¹¹ 1993).

Le Sénégal figure en cinquième position mondiale pour ce qui est de la production en arachides non décortiquées et des superficies cultivées en arachide après l'Inde, la Chine, les U.S.A. et l'Indonésie (données F.A.O. 1986). Cependant, il ne figure pas dans les cinq plus grands exportateurs mondiaux en arachide (U.S.A., Chine, Argentine, Inde et Gambie).

¹¹ Ministère de la Coopération et du Développement français

II. Plan de sondage

A. Introduction

1. Définitions

Dans toute **enquête** par sondage, le but recherché est de déterminer un **échantillon** qui soit « représentatif » de l'ensemble que l'on cherche à étudier. Si cet échantillon est représentatif de cet ensemble, on pourra extrapoler à la population tout entière les renseignements obtenus à partir de cet échantillon seulement (M.C.D.¹² 1993). L'ensemble de la population est couramment appelé **univers** et est représenté ici par l'ensemble des parcelles d'arachide cultivées dans le département de Diourbel. Un découpage spatial, appelé **stratification**, permet d'obtenir des sous-ensembles plus homogènes (**ou strates**). Cette **stratification** permet de tirer des échantillons distincts, puis de réunir ensuite tous ces échantillons pour obtenir l'estimation cherchée pour l'ensemble de l'univers.

2. Sondage à plusieurs degrés

Le **sondage** à plusieurs degrés consiste à tirer dans la base de sondage un premier échantillon constitué « **d'unités primaires** », puis à l'intérieur de ce premier échantillon, on établira une deuxième base de sondage à l'intérieur de laquelle on tirera les « **unités secondaires** », puis les « **unités du troisième degré** »,... L'échantillonnage par degrés regroupe donc toute une série de plans d'échantillonnage caractérisés par un système ramifié et hiérarchisé d'unités (Palm 1996). Une collaboration entre le C.E.R.A.A.S. et le C.S.E.¹³ a abouti à la réalisation d'un document sur lequel s'effectue le tirage : la **base de sondage**. Ce document comporte des éléments qui sont appelés les unités de sondage (C.S.E. 1993 ; Guissard 1995)

Le rapport du nombre des unités « tirées au sort » au nombre total des unités s'appelle la **fraction de sondage**. La fraction de sondage doit être d'autant plus importante que l'univers est plus hétérogène (Cochran 1953). La base de sondage qui a été réalisée au C.E.R.A.A.S. en 1995 est conçue par un tel découpage géographique du département de Diourbel. Au contraire des sondages classiques (sondage en grappes,... : voir M.C.D. 1993), où les sondages se font à partir de listes, on tire dans cette base, après l'avoir décomposée en aires élémentaires, les unités échantillons (voir Guissard 1995). Ce type de sondage est un **sondage aréolaire**.

3. Base de sondage Aréolaire (A.S.F.¹⁴)

On se limitera dans cette partie du chapitre à la description de l'A.S.F. pour la compréhension du présent travail. Une comparaison des différentes méthodes de collecte des 'statistiques agricoles dans les pays en voie de développement a déjà été réalisée par Guissard (Guissard 1995). La méthode A. F. S. a été élaborée aux Etats-Unis avant d'être adoptée par de nombreux pays en voie de développement (Wigton 1990). Ce type d'enquêtes utilise les techniques de la télédétection (enregistrements satellitaires et photos aériennes). Ces images acquises sur la totalité du territoire sont interprétées analogiquement afin de stratifier l'espace en « **domaine agricole** » et « **domaine non agricole** ». Le domaine agricole est ensuite subdivisé sur base de limites naturelles visibles, en unités élémentaires de quelques kilomètres carrés chacune

¹² Ministère de la Coopération et du Développement français

¹³ Centre de Suivi Ecologique

¹⁴ Area Sampling Frame

Un échantillonnage aléatoire de ces unités élémentaires est effectué : le choix des unités échantillonnées est issu d'une proposition aléatoire de l'ordinateur dans la liste répertoriant toutes Les unités de l'univers : un nombre aléatoire est attribué à chaque unité élémentaire qui peuvent alors être classées en ordre de nombre aléatoire croissant ; les unités correspondant aux x nombres les plus petits sont choisies. Les unités sélectionnées sont étudiées sur le terrain et les superficies agricoles par espèce sont mesurées. La base de sondage constituée de segments aux limites naturelles est stable d'année en année (Wilmet et al 1992).

4. La base de sondage aréolaire réalisée au C.E.R.A.A.S.

a) Introduction

La base de sondage réalisée sur le département de Diourbel a abouti à une subdivision en 194 unités primaires (P.S.U.¹⁵) Figure II-2 : ces 194 P.S.U. sont réparties en deux types : « domaine agricole » (191 P.S.U., caractérisées par plus de 50% d'agriculture) et « domaine non agricole » (villes et villages couvrant plus de 30 ha : 3 P.S.U.).

b) Stratification de l'A.S.F. dans le département de Diourbel

Il s'agit d'un échantillonnage à 3 degrés

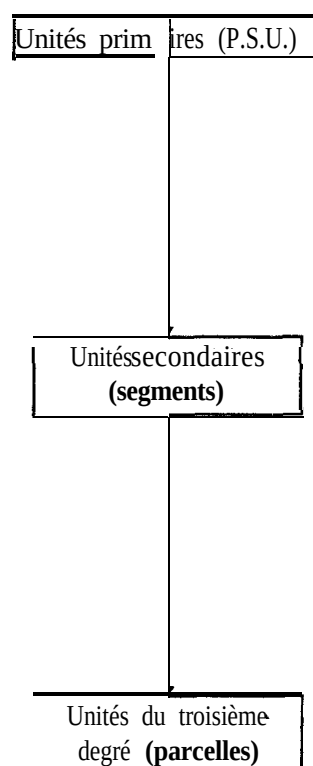


Figure II-1

Schéma de la stratification de l'A.F.S.
dans le département de Diourbel

¹⁵ Primary Sampling Unit

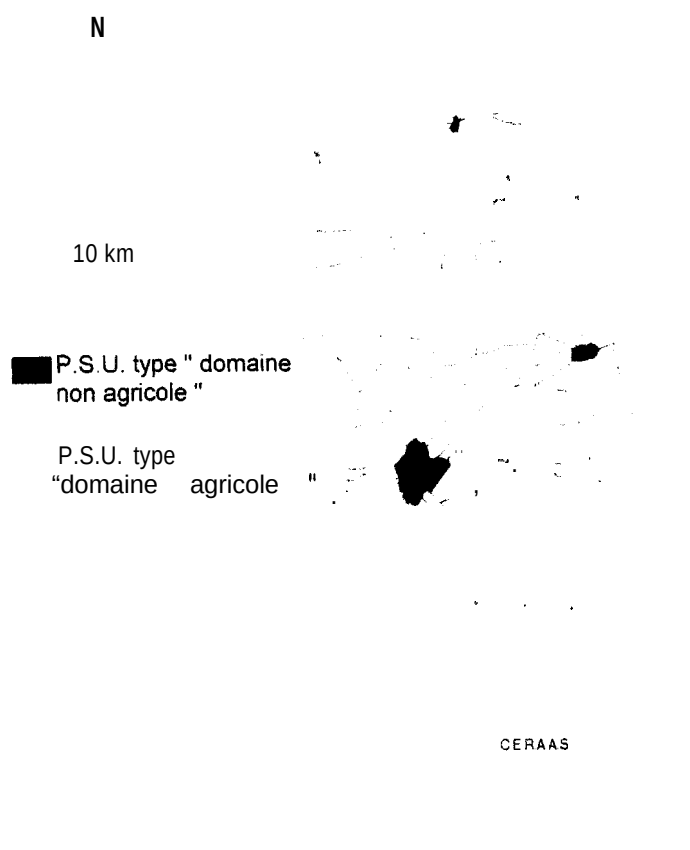


Figure II-2
subdivision du département de Diourbel en 194 P.S.U.

Le département est divisé en unités primaires ; chacune de celles-ci est divisée en segments : chaque segment contient les parcelles. Les parcelles peuvent avoir différentes affectations (parcelle agricole arachide, mil, niébé.... ; habitations, mares,...) mais seuls les rendements de l'arachide sont suivis. Les P.S.U. et les segments sont limités par des routes ou de grandes pistes stables d'une année à l'autre. Les limites de ces unités sont relevées au G.P.S.¹⁶ (voir point Ill.B.2 : identification des zones d'échantillonnage) afin de les localiser sur la base de sondage aréolaire réalisée au C.E.R.A.A.S. Dans le cas où les pistes peuvent varier entre la saison sèche et la saison humide, une piste stable a été prise en compte pour délimiter ces unités. Les limites des parcelles ne sont pas prises en compte puisque seules les coordonnées du centre de ces unités sont enregistrées au G.P.S. (voir point IKB.2).

Depuis 1995, le département de Diourbel fait l'objet d'un échantillonnage de parcelles d'arachide. La taille de l'échantillon a été établie en 1995 comme suit (Guissard 1995) :

- 2.2 P.S.U.
- 2 segments par P.S.U.
- 2 parcelles par segment

soient 88 parcelles pour tout le département.

La figure II-3 montre les 22 P.S.U. sélectionnées. La figure II-4 montre la subdivision de ces 22 P.S.U. en unités secondaires d'échantillonnage (= segments). En noir y apparaissent les 44 segments sélectionnés pour le choix des 88 parcelles : 2 parcelles par segment sont échantillonnées aléatoirement sur le terrain.

Chaque P.S.U. a en moyenne une superficie de 500 ha. Elles comprennent de 10 à 25 segments d'une surface moyenne de 30 ha.

¹⁶ Global Positionning System

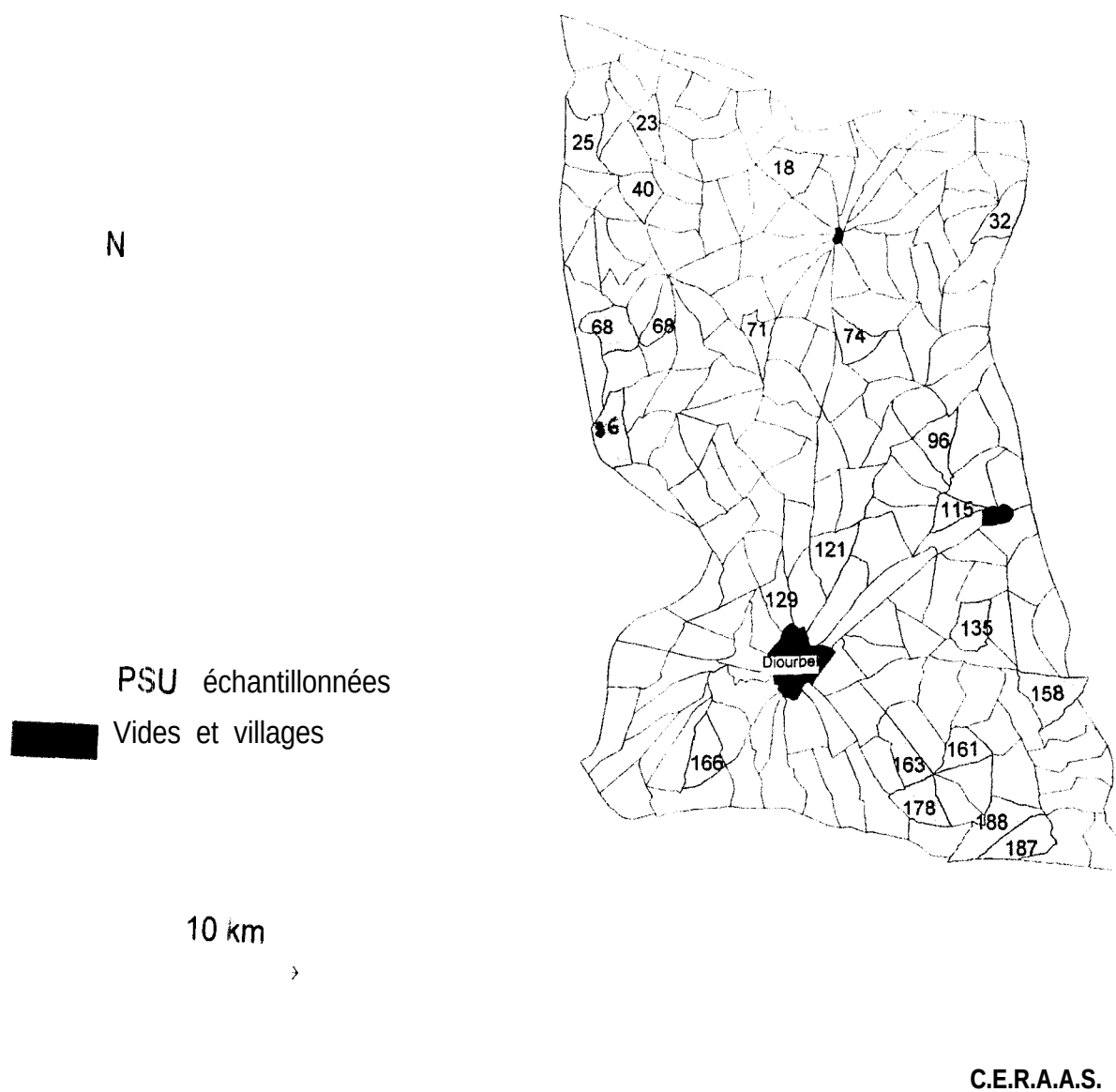


Figure II-3

P.S.U sélectionnées dans le département de Diourbel pour la campagne 1996

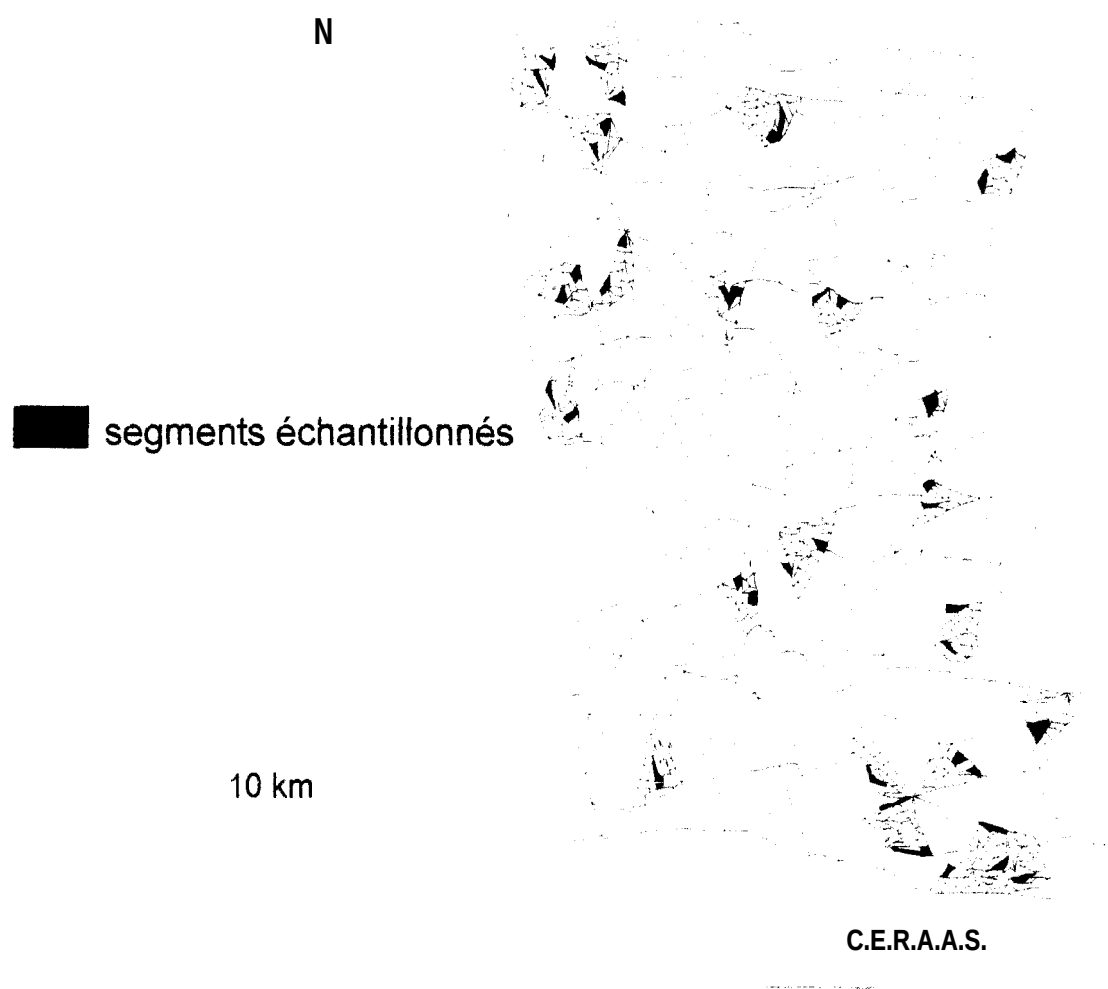


Figure II-4

Subdivision des 22 P.S.U. sélectionnées en unités secondaires d'échantillonnage (= segments)

B. Objectif

Le degré de précision n'est pas le seul critère permettant de déterminer la taille de l'échantillon. Il faut tenir compte du temps imparti lors de la prise de données et des moyens financiers, techniques et humains mis à disposition. Il conviendra de tenir compte de trois ensembles de critères [précision - temps - coût] dans la discussion pour déterminer la « taille optimum d'échantillonnage ».

En ce qui concerne les P.S.U., la taille d'échantillon est fixée dès le départ : les moyens limités en personnel et véhicules ont restreint ce nombre à celui fixé en 1995 : 22 P.S.U sont suivies dans le département de Diourbel. Il reste donc à déterminer la taille de l'échantillon au sein d'une P.S.U. La nécessité d'une connaissance chiffrée, précise et sûre de la réalité économique du domaine agricole est soulignée dans le travail de Guissard (Guissard 1995). La méthode par sondage aréolaire permet de prélever quelques unités seulement de la population à étudier (= échantillon). On extrapole ensuite à l'ensemble de cette population les résultats obtenus au niveau de cet échantillon. Il est évident que les résultats de cette extrapolation seront bons ou mauvais selon que l'échantillon sera représentatif ou non de l'ensemble à étudier. Afin d'estimer cette représentativité, l'objectif de ce chapitre est de répondre aux deux questions suivantes :

- ***Quel est le gain de précision dans l'estimation des rendements de l'arachide au sein d'une P.S.U. quand on passe de 2 segments échantillonnés par P.S.U. à m segments échantillonnés par P.S.U. ?***
- ***Quel est le gain de précision dans l'estimation des rendements de l'arachide au sein d'une P.S.U. quand on passe de 2 parcelles échantillonnées par segment à n parcelles échantillonnées par segment ?***

C. Méthode

Deux P.S.U. sont échantillonnées à 100% : les P.S.U. 64 et 68 ; c'est-à-dire que toutes les parcelles d'arachide présentes dans ces deux unités sont recensées et suivies. Nous les appellerons unités A et B. La figure II-5 montre l'échantillonnage qui a eu lieu lors de la campagne 1996 : 20 P.S.U. ont été échantillonnées comme lors de la campagne 1995 (Guissard 1995) et 2 P.S.U. = P.S.U. 64 et 68 = unités A et B ont été échantillonnées à 100%. Les unités A et B ont été choisies pour leur proximité par rapport au C.E.R.A.A.S. (20 km environ) Ces deux unités sont accolées l'une à l'autre. On présuppose ainsi que la variabilité est semblable partout et que les P.S.U. 64 et 68 sont représentatives de la situation globale. Cette hypothèse sera discutée par la suite.

D. Résultats

1. Introduction

Dans un premier temps, les unités A et B échantillonnées à 100 % vont permettre de déterminer la taille de l'échantillon qui est la plus adaptée aux exigences de précision et aux moyens disponibles. Ensuite, l'application de la taille d'échantillon **déterminée** au sein de ces deux unités à l'ensemble du département (c'est-à-dire sur les 22 unités primaires sélectionnées par l'A.S.F au sein du département) sera étudiée, **c'est-à-dire que la représentativité des unités A et B par rapport aux autres unités y sera étudiée.**

2. Détermination de la taille d'échantillon dans les unités A et B

a) Détermination des scénarios d'échantillonnage au sein d'une P.S.U.

La stratification de l'échantillonnage de Diourbel contient 3 degrés. Cependant, nous nous intéressons ici à l'hétérogénéité des rendements au sein d'une P.S.U. Il s'agit donc non plus d'un échantillonnage à trois degrés mais d'un échantillonnage à deux degrés : l'ensemble de la population que l'on a appelé « univers » correspond ici à l'ensemble des valeurs de rendement en arachide au sein d'une P.S.U. Les unités A et B sont donc étudiées **séparément** et les résultats qui correspondent à chaque unité seront ensuite comparés et analysés, Chaque P.S.U. est composée de M segments (ou unités secondaires) dont m unités seront **sélectionnées**. Chaque segment comprend N parcelles. Parmi ces N parcelles, n parcelles seront échantillonnées dans chacun des m segments sélectionnés. Ainsi, une fois la taille d'échantillon déterminée (= nombre de segments et nombre de parcelles d'arachide dans chaque segment), le produit $m * n$ correspondra au nombre de parcelles qu'il conviendra d'échantillonner au sein des unités A et B, en tenant compte de l'ensemble des **critères** (précision, temps, coût) qui guideront la discussion du problème. Echantillonner à 100% les unités A et B revient donc à dire que toutes les parcelles des M segments dans chaque unité sont suivies et que le rendement de chacune de celles-ci est connu.

Pour- l'unité A, $M = 17$ et pour l'unité B, $M = 22$. Les valeurs de N pour les deux unités seront déterminées plus loin

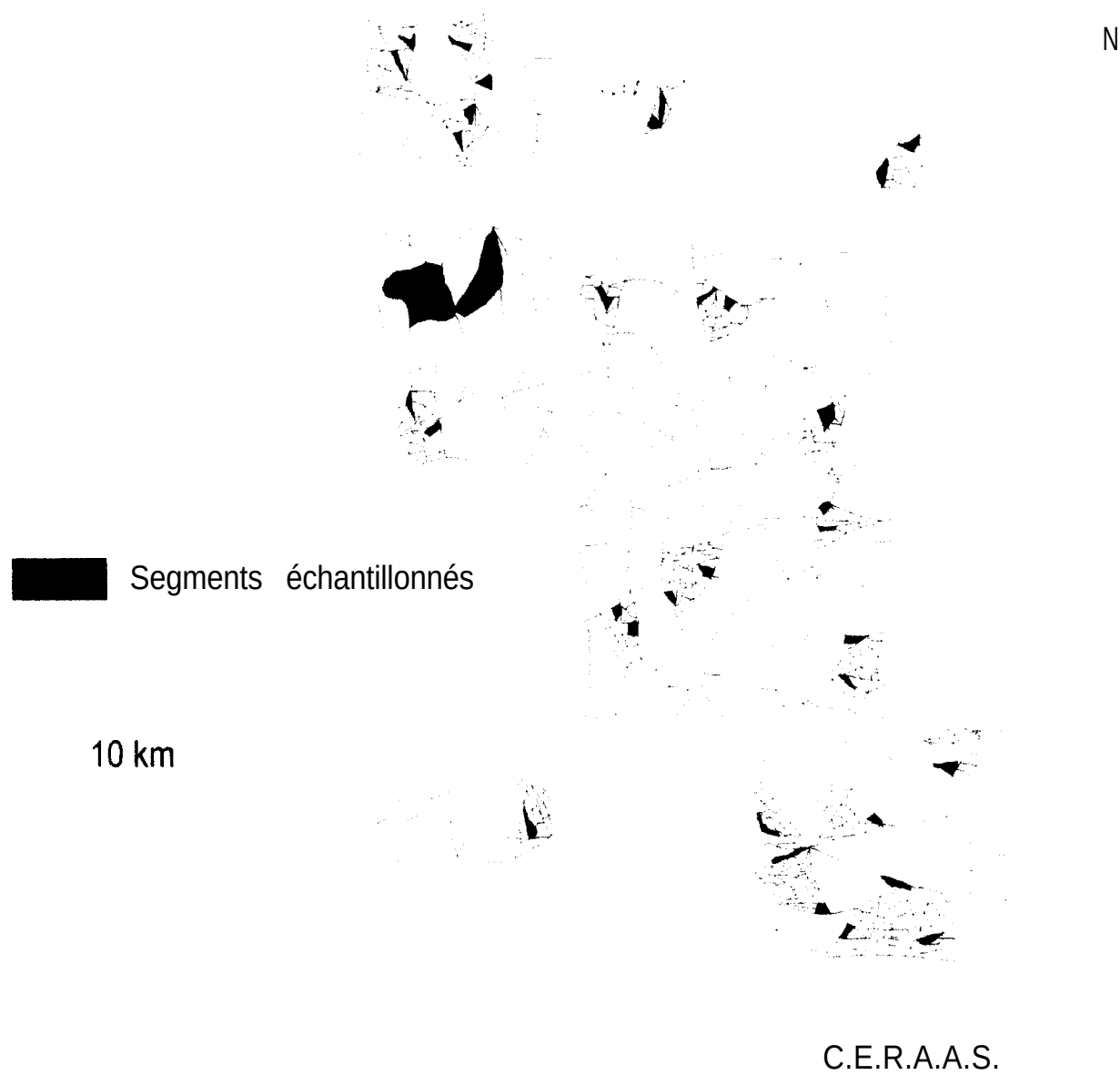


Figure II-5
Campagne d'échantillonnage 1996

Selon Moser, la valeur qui permet d'estimer la **variance** totale de la moyenne d'un échantillonnage à deux degrés est décrite par la relation suivante (Moser 1969) :

$$(EST) \text{ var } \bar{y} = \left(1 - \frac{m}{M}\right) * \frac{sb^2}{m} + \left(\frac{m}{M}\right) * \left(1 - \frac{n}{N}\right) * \frac{sw^2}{m * n}$$

Avec :

m : nombre de segments échantillonnés par unité primaire

M : nombre total de segments par unité primaire

n : nombre de parcelles échantillonnées par **segment**

N : nombre total de parcelles par segment

s_b^2 : **variance** de la moyenne entre les segments (= « **variance** intersegments »)

s_w^2 : **variance** de la moyenne « intrasegment »

Prenons l'unité A comme exemple afin de définir s_b^2 et s_w^2 :

			
$\bar{x}_1$	x_2	x_M	moyennes des rendements par segment effectif (= nombre de parcelles) dans chaque segment
n_1	n_2	n_M	
s_1^2	s_2^2	s_M^2	
			variance dans chaque segment avec M= 17

$$s_b^2 = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{17} (\bar{x}_i - \bar{x})^2$$

où $\bar{x}$ = moyenne totale des rendements

$$s_w^2 = \frac{(n_1 - 1) * s_1^2 + \dots + (n_i - 1) * s_i^2}{(n_1 + \dots + n_i) - 17}$$

Afin de calculer les **variances** pour un échantillonnage stratifié, les formules définies ci-dessus nécessitent la connaissance de la taille de l'échantillon dont on veut connaître cette **variance**. De cette façon, il est important de se faire une idée des différents échantillonnages possibles en fonction de l'erreur approximative qui sera attribuée à celui-ci par rapport aux moyens du C.E.R.A.A.S. (temps et argent).

Dans un premier temps, on considère un échantillonnage aléatoire permettant de connaître rapidement l'erreur associée à cet échantillonnage par le test décrit ci-dessous. Dans un second temps, on s'inspirera des résultats de ce test pour l'appliquer à notre cas en tenant compte d'un échantillonnage stratifié.

Afin d'effectuer un échantillonnage aléatoire, un nombre aléatoire est attribué à chaque mesure de rendement ensuite, ces nombres aléatoires sont classés en ordre croissant. Les

graphiques II-1 et II-2 donnent l'erreur relative ($= \frac{\text{Intervalle de Confiance}}{\text{Rendement Moyen}}$) en fonction du

nombre de parcelles échantillonnées aléatoirement au sein des unités A et B. La valeur du rendement moyen dans la formule de l'erreur relative est définie comme suit : au fur et à mesure que le graphique est construit, le rendement moyen = moyenne des rendements des parcelles prises en compte. La valeur de l'intervalle de confiance est estimée par la formule suivante (Hallin 1996) :

$$\bar{X} \pm \frac{s}{\sqrt{n-1}} * t_{n-1, \alpha}$$

avec $\alpha = 5 \%$

$\bar{X}$: moyenne des rendements entre les parcelles

s : écart type des rendements entre les parcelles

n : nombre de parcelles

et $t_{n-1, \alpha}$: quantiles d'une distribution de Student¹⁷

Ces mesures ont ensuite été classées en ordre croissant selon les valeurs des nombres aléatoires.

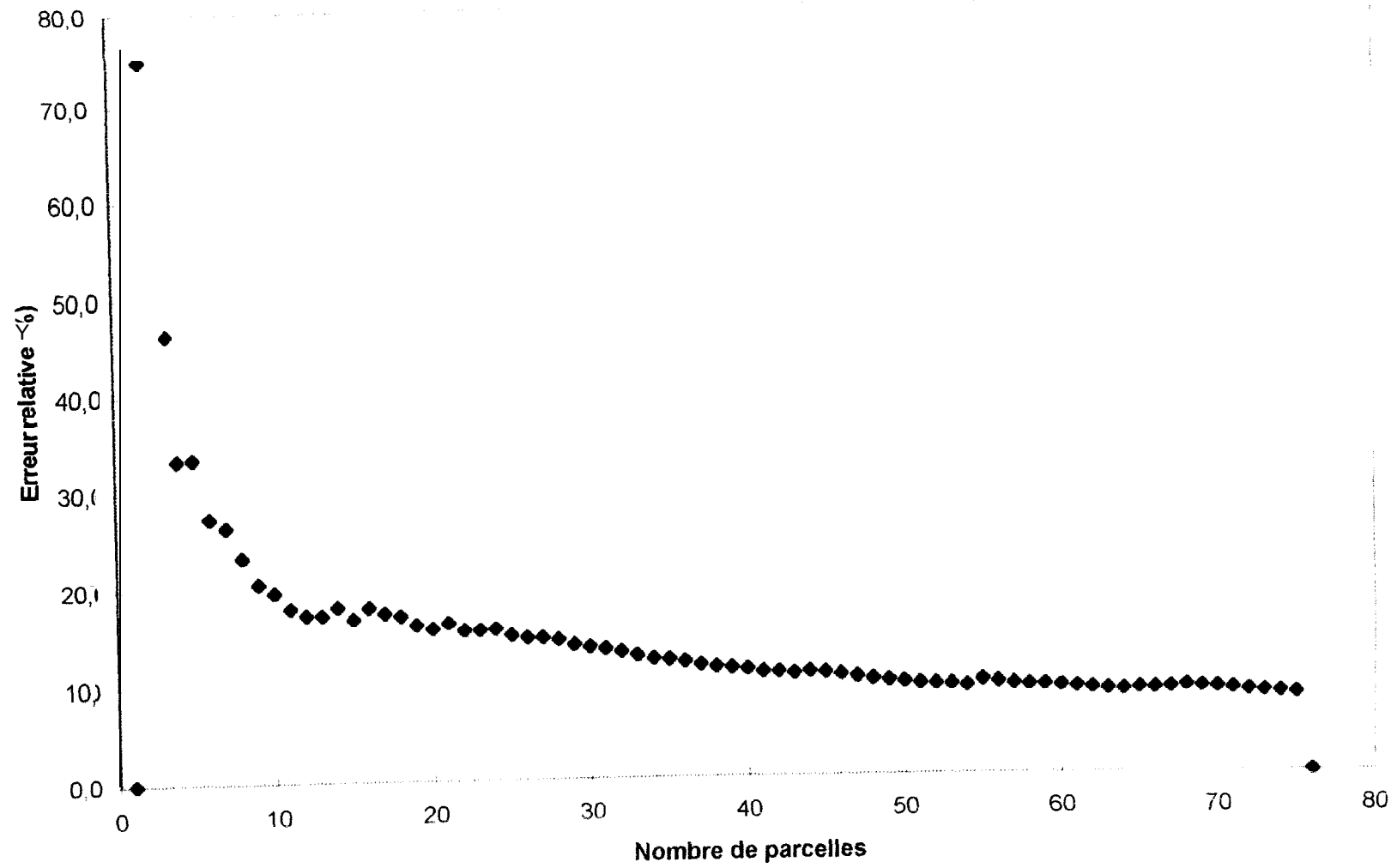
La courbe décroît rapidement pour les 25 premières parcelles ; puis, sa décroissance ralentit pour se stabiliser aux alentours de 6 à 8 % d'erreur. En fonction des moyens disponibles il ne serait pas envisageable de suivre plus de 10 parcelles au sein d'une unité primaire

La moyenne des erreurs calculée entre les unités A et B vaut 20.5 % pour 10 parcelles échantillonnées aléatoirement.

¹⁷ Voir recueil de tables statistiques. Institut de statistiques. U.L.B. 1996-97

Graphique 1

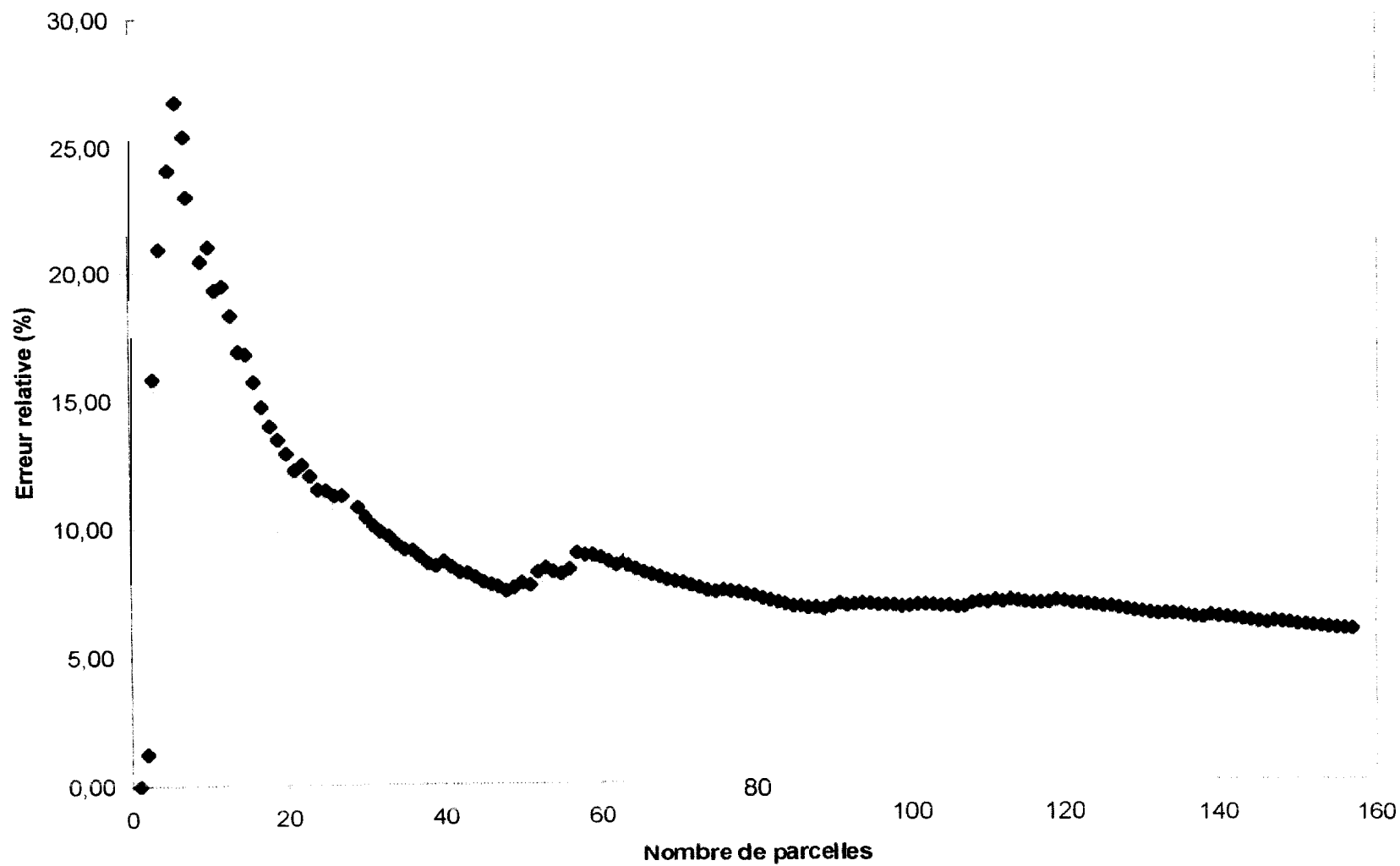
Erreur relative - unité B



Graphique II-1

Graphique 2

Erreur relative - unité A



Graphique II-2

Il est à présent possible de déterminer des scénarios pouvant être appliqués à un échantillonnage stratifié en fonction de résultats attendus (erreur relative tournant autour de 20 %) Ainsi, dans le cas d'un échantillonnage à deux degrés, cinq scénarios peuvent être envisagés afin de ne pas dépasser 10 parcelles à échantillonner au sein d'une P.S.U.

- **Scénario 1**

2 segments - 3 parcelles **pur** segment ($m = 2$ et $n = 3$) soient 6 parcelles **pur** P.S.U.

- **Scénario 2**

2 segments - 4 parcelles **pur** segment ($m = 2$ et $n = 4$) soient 8 parcelles **pur** P.S.U.

- **Scénario 3**

2 segments - 5 parcelles **pur** segment ($m = 2$ et $n = 5$) soient 10 parcelles **pur** P.S.U.

- **Scénario 4**

3 segments - 2 parcelles **pur** segment ($m = 3$ et $n = 2$) soient 6 parcelles **pur** P.S.U.

- **Scénario 5**

3 segments - 3 parcelles **pur** segment ($m = 3$ et $n = 3$) soient 9 parcelles **pur** P.S.U.

- **Scénario 6**

4 segments - 1 parcelle **pur** segment ($m = 4$ et $n = 1$) soient 4 parcelles **pur** P.S.U.

- Nous appellerons **scénario 0** l'échantillonnage ($m = 2$ et $n = 2$) qui a été réalisé au sein des 20 PSU. autres que les unités A et B.

Pour le calcul de $(EST) \text{ var } \bar{y}$, M est connu dans les unités A et B ; N = moyenne du nombre de parcelles par segment dans chacune des deux P.S.U. : $N = 5$ pour l'unité A et $N = 7$ pour l'unité B. s_b^2 est calculé à partir des moyennes dans les segments des deux unités ; s_a^2 est calculé à partir des variances associées aux différents segments des deux unités. m et n sont déterminés par les différents scénarios qui seront appliqués.

Une valeur de $(EST) \text{ var } \bar{y}$ (= variance totale = variance intersegment + variance intrasegment) correspond à l'unité A $((EST) \text{ var}_A \bar{y})$ et une valeur correspond à l'unité B $((EST) \text{ var}_B \bar{y})$.

Résultats

Les valeurs de $\text{var}_{\bar{x}}$ pour les 7 scénarios sont classés en ordre croissant pour les unités A et B dans le tableau suivant :

Unité A	Unité B
(EST) $\text{var}_{\bar{x}} (m=4 \text{ et } n=1) = 0.0099$ (Sc 6)	(EST) $\text{var}_{\bar{x}} (m=3 \text{ et } n=3) = 0.00155$ (Sc 5)
(EST) $\text{var}_{\bar{x}} (m=3 \text{ et } n=3) = 0.0114$ (Sc 5)	(EST) $\text{var}_{\bar{x}} (m=3 \text{ et } n=2) = 0.00171$ (Sc 4)
(EST) $\text{var}_{\bar{x}} (m=3 \text{ et } n=2) = 0.0118$ (Sc 4)	(EST) $\text{var}_{\bar{x}} (m=4 \text{ et } n=1) = 0.00182$ (Sc 6)
(EST) $\text{var}_{\bar{x}} (m=2 \text{ et } n=5) = 0.0179$ (Sc 3)	(EST) $\text{var}_{\bar{x}} (m=2 \text{ et } n=5) = 0.00220$ (Sc 3)
(EST) $\text{var}_{\bar{x}} (m=2 \text{ et } n=4) = 0.0181$ (Sc 2)	(EST) $\text{var}_{\bar{x}} (m=2 \text{ et } n=4) = 0.00225$ (Sc 2)
(EST) $\text{var}_{\bar{x}} (m=2 \text{ et } n=3) = 0.0182$ (Sc 1)	(EST) $\text{var}_{\bar{x}} (m=2 \text{ et } n=3) = 0.00233$ (Sc 1)
(EST) $\text{var}_{\bar{x}} (m=2 \text{ et } n=2) = 0.0186$ (Sc 0)	(EST) $\text{var}_{\bar{x}} (m=2 \text{ et } n=2) = 0.00250$ (Sc 0)

Tableau II- 1

Valeurs des **variances** associées aux sept scénarios d'échantillonnage envisagés dans les unités A et B

Les valeurs de **variance** sont fort différentes pour les unités A et B. Cette différence pousse à aller plus loin qu'une analyse de détermination de la taille d'échantillon au sein des unités A et B. Il sera tenu compte des valeurs de **variance** au sein du département en fonction des rendements observés dans les 20 unités autres que les unités A et B. Ce n'est que l'analyse de l'ensemble des données qui permettra de déterminer la taille d'échantillon à appliquer au sein du département de Diourbel

Pour les unités A et B, l'ordre de la valeur des **variances** calculées selon les différents scénarios est le suivant :

Scénario 5 < Scénario 4 < Scénario 3 < Scénario 2 < scénario 1 < scénario 0. Le scénario 6 possède la valeur de **variance** la plus faible dans l'unité A ; dans l'unité B, elle est en troisième position derrière les scénarios 5 et 4. Le scénario 0 possède toujours la valeur de **variance** la plus élevée.

b) Calcul de l'erreur relative associée à chaque scénario envisagé pour les unités A et B

L'erreur relative (E_{rel}) qui correspond à un scénario d'échantillonnage déterminé est calculé à partir de la formule de l'**Intervalle** de Confiance suivante :

$$\bar{X} \pm \sigma * k_{\alpha/2}^{18}$$

avec : $\bar{X}$: moyenne des rendements entre les parcelles

σ : écart type des rendements entre les parcelles

$k_{\alpha/2}$: quantiles de distribution normale

¹⁸ En supposant que le résultat ait une moyenne qui suit une distribution normale.

D’où découle la formule donnant E_{rel} :

$$(\sigma * k_{\alpha/2}) / \bar{X}$$

L’erreur relative a été calculée pour chaque scénario dans les unités A et B.

La valeur du Rendement Moyen utilisée dans le calcul de l’erreur relative = moyenne des rendements observés dans chaque unité.

Le tableau de la page suivante indique les résultats obtenus pour le calcul de l’erreur relative dans les unités A et B. Les valeurs de E_{rel} y sont classées par ordre croissant.

Résultats

Unité A

- Scénario 6 ($m = 4$ et $n = 1$)
 $E_{rel} = 31.89 \%$
- Scénario 5 ($m = 3$ et $n = 3$)
 $E_{rel} = 34.3 \%$
- Scénario 4 ($m = 3$ et $n = 2$)
 $E_{rel} = 34.8 \%$
- Scénario 3 ($m = 2$ et $n = 5$)
 $E_{rel} = 42.9 \%$
- Scénario 2 ($m = 2$ et $n = 4$)
 $E_{rel} = 43.0 \%$
- Scénario 1 ($m = 2$ et $n = 3$)
 $E_{rel} = 43.2 \%$
- Scénario 0 ($m = 2$ et $n = 2$)
 $E_{rel} = 43.7 \%$

Unité B

- Scénario 5 ($m = 3$ et $n = 3$)
 $E_{rel} = 18.29 \%$
- Scénario 4 ($m = 3$ et $n = 2$)
 $E_{rel} = 19.26 \%$
- Scénario 6 ($m = 4$ et $n = 1$)
 $E_{rel} = 20.60 \%$
- Scénario 3 ($m = 2$ et $n = 5$)
 $E_{rel} = 21.8 \%$
- Scénario 2 ($m = 2$ et $n = 4$)
 $E_{rel} = 22.05 \%$
- Scénario 1 ($m = 2$ et $n = 3$)
 $E_{rel} = 22.46 \%$
- Scénario 0 ($m = 2$ et $n = 2$)
 $E_{rel} = 23.25 \%$

Tableau II-2

Résultats des E_{rel} associées aux six scénarios
d’échantillonnage (+ scénario 0) envisagés dans les unités A et B

Les valeurs élevées de E_{rel} dans l’unité A sont dues aux valeurs de la variance totale var_A qui y étaient près de sept fois plus élevées que les valeurs obtenues pour l’unité B. Ceci donne un rapport d’écarts-types de $\sqrt{7} = 2.65$. Le rapport des erreurs relatives (= 1.7 à 2) est en fait tempéré par une moyenne de rendements plus élevée dans l’unité A (= 0.514 tonnes/ha contre 0.354 tonnes/ha dans l’unité B).

c) Conclusion

Les scénarios 3-2-I et 0 ont des valeurs de **variance** totale et de E_{rel} les plus élevées. Par conséquent, la discussion sur le choix de l'un des scénarios envisagés sera dirigé entre les scénarios 4-5 et 6. Le point suivant de ce chapitre permet de déterminer la taille d'échantillonnage dans les autres unités **du** département. Les résultats de ce point permettront de guider la discussion générale : en effet, l'objectif y est de s'assurer de la **représentativité des mités** A et B par rapport aux autres unités du département.

3. Détermination de la taille d'échantillon dans les 20 unités du département de Diourbel autres que les unités A et B

a) Calcul de la variance totale pour chaque P.S.U.

Sur les 20 unités étudiées, les six scénarios ont été testés de la même manière que le test précédent. Ne connaissant pas le nombre de parcelles dans chaque unité, N a été estimé en faisant la moyenne du nombre de parcelles par segment dans les unités A et B $N = 6$. M est connu pour chaque unité et est donc différent pour chacune d'elle ; s_b^2 est calculé pour chaque unité à partir des moyennes des deux segments échantillonnés dans **chacune** d'elle ; s_w^2 est également calculé pour chaque unité à partir des **variances** des **deux** segments échantillonnés dans chacune d'elle.

Le tableau II-4 (voir page suivante) présente les résultats de calcul des **variances** totales au sein des unités Diourbel. **Sur** les vingt unités observées, dix donnent une valeur de **variance** la plus, faible pour le scénario 6 ; le scénario 5 est placé en première place dans sept unités et le scénario 4 est placé en première place dans six unités.

Remarque le calcul des **variances** dans ce point se **base** sur deux valeurs seulement (M et rendements) : **ceci** est dû **au** fait que N est estimé à partir des données des unités A et B. Les résultats que l'on obtient ne peuvent pas donner d'estimation fiable au niveau d'une seule P.S.U. Cependant., il est probable que le classement des **moyennes** des valeurs de E_{rel} sur les 20 P.S.U. ait **un sens** ; d'autant plus que les résultats convergent avec ceux obtenus pour les unités A et B.

b) Calcul de l'erreur relative en fonction des 6 scénarios envisagés

La valeur du rendement moyen utilisée dans le calcul de l'erreur relative pour chaque unité est **égale** à la moyenne des 4 valeurs de rendement observées dans chacune d'elle.

Ch peut classer les 6 scénarios en faisant une moyenne des valeurs de E_{rel} par ordre croissant. On obtient les résultats suivants :

SC 0	SC 1	SC 2	SC 3	SC 4	SC 5	Sc 6
22.73	20.23	17.70	20.91	21.62	18.94	19.78

Tableau II-3

Valeurs moyennes des E_{rel} associées aux six scénarios
d'échantillonnage (+ scénario 0) envisagés dans le département de **Diourbel**

Donc. les valeurs de **variance** se classent dans l'ordre croissant suivant :
 $Sc5 < Sc4 < Sc6 < Sc3 < Sc2 < Sc1 < Sc0$.

Le tableau II-3 reprend les résultats détaillés des **variances** et des **erreurs relatives** calculées pour les **20 unités** de Diourbel.

Tableau II-4

Unités primaires (P.S.U.)		018	023	025	032	040	071	074	086
Scénario 0	var $\bar{x}$	0.000526	0.00132	0.00024	0.0034	0.0025	0.00213	0.00207	0.0300
	E _{rel} (%)	7.92	11.29	5.7	16.5	15.3	16.55	22.48	56.56
Scénario 1	var $\bar{x}$	0.000454	0.00117	0.000183	0.00322	0.00149	0.00176	0.00205	0.0299
	E _{rel} (%)	7.36	10.63	5.00	15.9	11.8	15.06	22.39	56.60
Scénario 2	var $\bar{x}$	0.000418	0.00110	0.000156	0.00311	0.00097	0.00158	0.00204	0.0298
	E _{rel} (%)	7.06	10.29	4.61	15.61	9.49	14.3	22.34	56.54
Scénario 3	var $\bar{x}$	0.000396	0.00106	0.000139	0.0030	0.00066	0.00147	0.00203	0.0297
	E _{rel} (%)	6.88	10.08	4.36	15.43	7.8	13.75	22.3	56.54
Scénario 4	var $\bar{x}$	0.000389	0.00093	0.000191	0.00235	0.00236	0.00160	0.00131	0.0189
	E _{rel} (%)	6.82	9.47	5.11	13.6	14.8	14.4	17.93	45.03
Scénario 5	var $\bar{x}$	0.0003 17	0.00078	0.000137	0.002 10	0.00132	0.00 123	0.00 130	0.0188
	E _{rel} (%)	6.15	8.69	4.32	12.85	11.07	12.6	17.8	44.9
Scénario 6	var $\bar{x}$	0.000606	0.00132	0.000385	0.00273	0.00637	0.00278	0.00100	0.0137
	E _{rel} (%)	8.5	11.28	7.25	14.62	24.31	18.93	15.68	38.3 1
Ordre des valeurs de var $\bar{x}$		Sc 5 < Sc 4 < Sc 3 < Sc 2 < Sc 1 < Sc 0 < Sc 6	Sc 5 < Sc 4 < Sc 3 < Sc 2 < Sc 1 < Sc 6 < Sc 0	Sc 5 < Sc 3 < Sc 2 < Sc 1 < < Sc 4 < Sc 0 < Sc 6	Sc 5 < Sc 4 < Sc 3 < Sc 2 < Sc 6 < Sc Sc 1 < Sc 0	Sc 3 < Sc 2 < Sc Sc 5 < Sc 1 < Sc 4 < Sc 0 < Sc 6	5 < Sc 3 < Sc 2 < Sc 4 < Sc 1 < Sc 2 < 0 < Sc 6	Sc 6 < Sc 5 < 1 Sc 4 < Sc 3 < Sc Sc 1 < Sc 0	Sc 6 < Sc 5 < Sc 4 < Sc 3 < Sc 2 < Sc 1 < Sc 0

Tableau II-4
Variances totales et Erel pour les 20 unités Diourbel

(P.S.U.)						135	158		163
Scénario 6	var $\bar{x}$	0.00456	0.0076	0.00480	0.000125	0.00126		0.000088	0.000243
Unités primaires	Erel (%)	8.96	41.56	39.46	9.29	21.29	21.84	4.95	14.66
Scénario 0	Erel (%)	0.00157	0.0161	0.00801	0.000240	0.00147	0.0043	0.000156	0.00090
		23.02	62.34	51.88	12.83	22.99	28.76	6.56	8.9
Scénario 1	var $\bar{x}$	0.00020	0.0159	0.00764	0.000233	0.00126	0.00407	0.000150	0.000172
	Erel (%)	8.18	61.92	49.74	12.66	21.26	28.04	6.46	3.9
Scénario 2	var $\bar{x}$	0.00079	0.0100	0.00505	0.000151	0.00090	0.00265	0.000098	0.000460
	Erel (%)	16.33	49.10	40.48	10.18	18.00	22.61	5.24	6.37
Scénario 3	var $\bar{x}$	0.00043	0.0160	0.0077	0.000234	0.00129	0.00411	0.000151	0.000293
	Erel (%)	12	61.99	49.96	12.69	21.56	28.16	6.49	5.09
Scénario 4	var $\bar{x}$	0.00080	0.001602	0.0078	0.000236	0.00135	0.00417	0.000152	0.000493
	Erel (%)	16.51	62.11	50.33	12.74	22.05	28.36	6.52	6.61
Scénario 5	var $\bar{x}$	0.00155	0.0101	0.0053	0.000154	0.00102	0.00277	0.000102	0.00086
	Erel (%)	22.9	49.39	41.38	10.29	19.15	23.11	5.33	8.73
Ordre des valeurs de var $\bar{x}$		Sc 3 < Sc 2 < Sc 6	Sc 6 < Sc 5 < Sc 0	Sc 6 < Sc 5 < 1 < Sc 0	Sc 6 < Sc 5 < 1 < Sc 0	Sc 5 < Sc 4 < Sc 0	Sc 6 < Sc 5 < 1 < Sc 0	Sc 6 < Sc 5 < 2 < Sc 1 < Sc 0	Sc 3 < Sc 2 < Sc 0 < Sc 6

Tableau II-4
Variances totales et Erel pour les 20 unités Diourbel

Unités primaires (P.S.U.)		166	178	187	188
Scénario 6	var $\bar{x}$	0.0051	0.00136	0.000576	0.00667
	E _{rel} (%)	31.96	14.03	8.26	31.57
Scénario 0	var $\bar{x}$	0.0051	0.00136	0.000576	0.00667
	E _{rel} (%)	31.96	14.03	8.26	31.57
Scénario 1	var $\bar{x}$	0.00453	0.00109	0.000111	0.00644
	E _{rel} (%)	28.04	12.54	3.63	31.02
Scénario 2	var $\bar{x}$	0.0032	0.00082	0.000296	0.00422
	E _{rel} (%)	25.33	10.87	5.92	25.17
Scénario 3	var $\bar{x}$	0.00496	0.00113	0.00019	0.00648
	E _{rel} (%)	31.35	12.80	4.72	31.17
Scénario 4	var $\bar{x}$	0.00503	0.00121	0.00032	0.00654
	E _{rel} (%)	31.55	13.22	6.13	31.56
Scénario 5	var $\bar{x}$	0.00340	0.00097	0.00055	0.00434
	E _{rel} (%)	25.83	11.85	8.1	25.48
Ordre des valeurs de var $\bar{x}$		Sc 6 < Sc 5 < Sc 4 < Sc 3 < Sc 2 < Sc 1 < Sc 0	Sc 5 < Sc 4 < Sc 3 < Sc 2 < Sc 1 < Sc 0 < Sc 6	Sc 3 < Sc 2 < Sc 5 < Sc 1 < Sc 4 < Sc 0 < Sc 6	Sc 6 < Sc 5 < Sc 4 < Sc 3 < Sc 2 < Sc 1 < Sc 0

E. Discussion

Afin de mieux discuter les résultats, le tableau II-6 indique les valeurs moyennes de la variance et de E_{rel} calculées entre les valeurs obtenues pour l'unité A, l'unité B et les vingt autres unités du département de Diourbel.

Remarques

- Les valeurs de variance et d'erreur relative pour les 20 unités Diourbel sont beaucoup plus proches de celles observées pour l'unité B que de celles de l'unité A. Cela permet de souligner la particularité de l'unité A : elle est caractérisée par une variance élevée et des valeurs de E_{rel} importantes. Par conséquent, l'unité B est plus représentative que l'unité A du département de Diourbel.
- Les résultats obtenus pour l'unité A et l'unité B vont permettre de déterminer la taille d'échantillonnage qui pourrait être appliquée au sein de ces deux P.S.U.
- Les résultats obtenus pour les 20 autres unités du département permettent de justifier l'application de la taille d'échantillonnage déterminée pour les unités A et B à toutes les autres P.S.U. du département de Diourbel.

D'un point de vue pratique (économie de temps et d'argent), pour les quatre premiers scénarios, le scénario 1 serait le meilleur : il demande d'échantillonner six parcelles et seuls deux segments par P.S.U. doivent y être délimités. En effet, un segment à délimiter par P.S.U. demande plus de travail que d'échantillonner une parcelle en plus par P.S.U. Les scénarios 2 et 3 augmentent rapidement le travail en augmentant le nombre de parcelles à échantillonner par P.S.U. : on passe de six (scénario 1) à huit (scénario 2) puis à dix (scénario 3) parcelles par P.S.U. tout en n'augmentant que très peu la précision. Le scénario 4 est moins intéressant que le scénario 1 mais permet d'échantillonner deux parcelles en moins que le scénario 2 et quatre parcelles en moins que le scénario 3. D'un point de vue précision, par contre, il permet de gagner 5 % en E_{rel} par rapport au scénario 1 et semble donc, pour l'instant, être le scénario le plus intéressant.

Deux scénarios restent encore à discuter par rapport aux scénarios 4 : les scénarios 5 et 6

- Le scénario 5 possède la valeur de variance la plus faible ; cependant, il exige d'échantillonner trois parcelles en plus par P.S.U. que le scénario 4.
- Le scénario 6 exige de délimiter quatre segments par P.S.U. mais seules quatre parcelles doivent y être échantillonnées (soient cinq parcelles en moins par P.S.U. par rapport au scénario 5). Dans ce cas, si on considère que échantillonner deux parcelles par P.S.U. demande plus de travail et de temps que de délimiter un segment par P.S.U. et que le gain en E_{rel} est le plus avantageux en fonction de ces « critères pratiques » par rapport au scénario 0 qui était appliqué lors de la campagne 1995 (Guissard 1995), le scénario 6 paraît convenir parfaitement.

Tableau récapitulatif des valeurs de variance
et de E_{rel} pour les unités A et B et les unités Diourbel

Tableau II-5

	Scénario 0 (m = 2 et n = 2)		Scénario 1 (m = 2 et n = 3)		Scénario 2 (m = 2 et n = 4)		Scénario 3 (m = 2 et n = 5)		Scénario 4 (m = 3 et n = 2)		Scénario 5 (m = 3 et n = 3)		Scénario 6 (m = 4 et n = 1)	
	(EST) Var $\bar{x}$	E_{rel} (%)	(EST) var $\bar{x}$	E_{rel} (%)	(EST) var $\bar{x}$	E_{rel} (%)	(EST) var $\bar{x}$	E_{rel} (%)	(EST) var $\bar{x}$	E_{rel} (%)	(EST) var $\bar{x}$	E_{rel} (%)	(EST) var $\bar{x}$	E_{rel} (%)
20 unités Diourbel	0,00443	22,73	0,0035	21,62	0,00411	20,91	0,00401	20,23	0,00296	18,94	0,00273	17,7	0.00309	19.78
Unité A	0,08 6	43,7	0,0182	43,2	0,0181	43	0,0179	42,9	0,0118	34,8	0,0114	24,3	0.00992	18.89
Unité B	0,0025	23,25	0,00233	22,46	0,00239	22,05	0,0022	21,8	0,00171	19,26	0,00155	18,29	0.00196	20.60
Moyenne: entre unités A et B	0,00851	29,89	0,00801	29,09	0,0082	28,65	0,00804	28,31	0,00549	24,33	0,00523	20,10	0.00500	24.09

F. Conclusion

La détermination de la taille d'échantillonnage au sein du département de Diourbei est une étape essentielle pour la continuité de cette étude lors des **campagnes** de suivi des rendements des années futures. En effet, elle permet d'étudier avec une **précision** connue la **répartition** spatiale des rendements dans la zone étudiée tout en respectant les budgets accordés par le C.E.R.A.A.S. dans des limites tout à fait acceptables. Le plan d'échantillonnage proposé semble, par ailleurs, plus adapté à l'étude de l'influence de différents facteurs (physiques, humains ou techniques culturales) sur les rendements (voir chapitre III). En effet, il diminue la **variance** interne des rendements des unités primaires d'échantillonnage. Ceci est réalisé grâce au fait qu'il augmente l'étendue de la répartition de cet échantillon au sein d'une même unité primaire.

III. Suivi des rendements de l'arachide dans le département de Diourbel

A. Objectifs

Le présent chapitre contient deux grandes parties :

1. la collecte des données de rendements
2. l'analyse de la variation des rendements dans le département de Diourbel.

La première partie a pour objectif de déterminer une méthodologie de collecte des données de rendements qui pourra être appliquée lors des campagnes agricoles futures. Cette méthodologie couvre l'identification et le marquage des zones d'échantillonnage et la description des diverses phases du travail de la collecte des données de rendements. Ce dernier point comprend les enquêtes auprès des exploitants et l'organisation de la collecte des données.

La seconde partie de ce chapitre étudie l'influence éventuelle de différents facteurs (physiques, humains et techniques culturales) sur les rendements. L'objectif principal de cette partie est de déterminer les relations éventuelles entre les rendements et leurs facteurs déterminants principaux par calcul d'une régression multiple. L'équation d'une telle régression permet d'estimer les rendements dans des zones non échantillonnées (voir plan de sondage au chapitre II) et, ainsi, de diminuer les erreurs d'interpolation dans ces zones (voir chapitre IV). Cela peut être réalisé dans le cas où la régression permet d'expliquer une part importante de la variance totale des rendements dans la zone étudiée.

B. Collecte des données de rendement

1. Mesure des rendements de l'arachide

Les rendements de l'arachide sont mesurés en poids des graines par m^2 ou par ha :

Rendement

$$\text{en poids de graines}/m^2 = \text{Nombre de graines}/m^2 \times \text{Poids d'une graine}$$

(3) (4)

$$\text{Nombre de pieds}/m^2 \times \text{Nombre de graines /pied}$$

(1) (2)

Pour estimer ces rendements, les mesures de terrain sont réalisées selon le schéma ci-dessus. Le nombre de répétitions de chaque mesure et la manière de les prélever ont été élaborés en fonction de leur applicabilité sur le terrain (le facteur déterminant étant principalement le temps nécessaire pour échantillonner toutes les parcelles). Il serait intéressant de mesurer lors de la campagne 1997 la précision de ces mesures par rapport à la réalité.

Les densités des plants d'arachide (élément (1) du schéma de l'élaboration des rendements) sont prélevées à raison de quatre par parcelle suivie. Elles se mesurent au sein de « carrés de rendement » placés aléatoirement dans la parcelle. Les carrés de rendement mesurent 2 mètres x 1 mètre ($2 m^2$). La technique de mise en place du carré doit être simple et rapide. Un

bâton peint a une extrémité est lancé dans une direction aléatoire à partir du centre de la parcelle. Si le bâton est lancé à l'extérieur de la parcelle, l'opération est répétée à partir du bord de la parcelle. Le carré est ensuite placé de telle manière que l'extrémité peinte s'y trouve au centre.

Les éléments (2) et (4) du schéma de l'élaboration des rendements de l'arachide sont déterminés en laboratoire et nécessitent également le prélèvement de plants, Vingt plants par parcelle sont prélevés à la récolte contre paiement à l'agriculteur par le C.E.R.A.A.S Le prélèvement de ces plants se fait de la même manière que pour les mesures de densité : le plant le plus proche de l'extrémité peinte du bâton est prélevé.

2. Identification (levé au G.P.S.¹⁹) et marquage des zones d'échantillonnage

Un G.P.S. portable a permis d'identifier les limites des zones d'échantillonnage sur le terrain à partir de celles définies sur les documents cartographiques utilisés pour réaliser la base de sondage (cartes topographiques et photographies aériennes : voir Guissard 1995).

Un G.P.S. permet à son utilisateur de connaître à tout moment sa position géographique en un point déterminé. Les coordonnées géographiques enregistrées au G.P.S. sont répertoriées dans un fichier importé dans le logiciel d'affichage et de gestion géographique MapInfo. Le mode d'importation de ces données et le rôle de MapInfo dans la visualisation des données G.P.S. est clairement expliqué dans le travail de Guissard (Guissard 1995). Ce logiciel donne une visualisation des points pris au G.P.S. sur la carte géoréférencée réalisée lors l'élaboration de la base de sondage.

Les limites des unités primaires et des segments sont localisées en mode continu au G.P.S. le centre de chaque parcelle est localisé.

Un G.P.S. peut être utilisé en mode continu, c'est-à-dire qu'il prendra une mesure de la position géographique de l'utilisateur tous les trente mètres approximativement. Le système G.P.S. est un système de géopositionnement utilisant un réseau de vingt quatre satellites. La détermination des coordonnées géographiques est basée sur la mesure du temps et de la réception d'un signal spécifique émis par chaque satellite. Cette mesure permet de déterminer la distance du récepteur par rapport à chaque satellite. Le G.P.S. permet de déterminer sa position géographique moyennant une exactitude qui va de 100 mètres à quelques mètres selon l'équipement utilisé et la procédure suivie²⁰. Les vingt quatre satellites se situent sur six orbites circulaires à 20200 km au-dessus de la terre. Les satellites sont espacés entre eux de telle manière qu'un minimum de cinq satellites sont à n'importe quel moment au-dessus de n'importe quel utilisateur dans le monde". Quatre satellites sont nécessaires pour connaître la position sur les axes X, Y et Z.

La précision des mesures au G.P.S. sur le terrain variait de 30 à 60 mètres. Pour augmenter la précision des mesures des coordonnées géographiques sur le terrain, dix points ont été pris au centre de chaque parcelle suivie. La moyenne des mesures en latitude et en longitude a été calculée pour chaque parcelle. Les limites des segments ont été prises en mode continu à raison de deux à trois passages pour chaque segment. Cela permet ainsi de prendre le centre de ces lignes comme limites du segment.

Les levés par G.P.S. ont permis d'identifier les limites des 39 segments des unités A et B en 6 jour. La figure III-1 montre les 39 segments qui composent les unités primaires A et B.

La méthode de marquage des segments et des parcelles adoptée est le marquage des arbres à la peinture, plus rapide et plus simple à mettre en œuvre que l'utilisation de panneaux. Les unités primaires sont délimitées par des arbres numérotés de 0 à 48, peints en bleu. Les segments et les parcelles suivies sont numérotées en blanc. Par exemple, la troisième parcelle du segment 17 est numérotée 17.3.

¹⁹ Global Positioning System

²⁰ Ressources Naturelles - Géomatique Canada : informations sur internet - levés géodésiques

²¹ U. S. Coast Guard, Marine Safety Office Milwaukee - informations sur internet

Le 14 août 1996 correspond à la date à laquelle les dernières parcelles d'arachide ont été semées dans les unités A et B. Au total, 234 parcelles ont été recensées sur ces deux unités (77 dans l'unité A et 157 dans l'unité B) avec un minimum de 0 parcelle dans le segment 11 de l'unité A et un maximum de 20 parcelles dans le segment 18 de l'unité B. La figure IIE-2 montre les 77 parcelles recensées dans l'unité A et la figure III-3 montre les 157 parcelles recensées dans l'unité B.

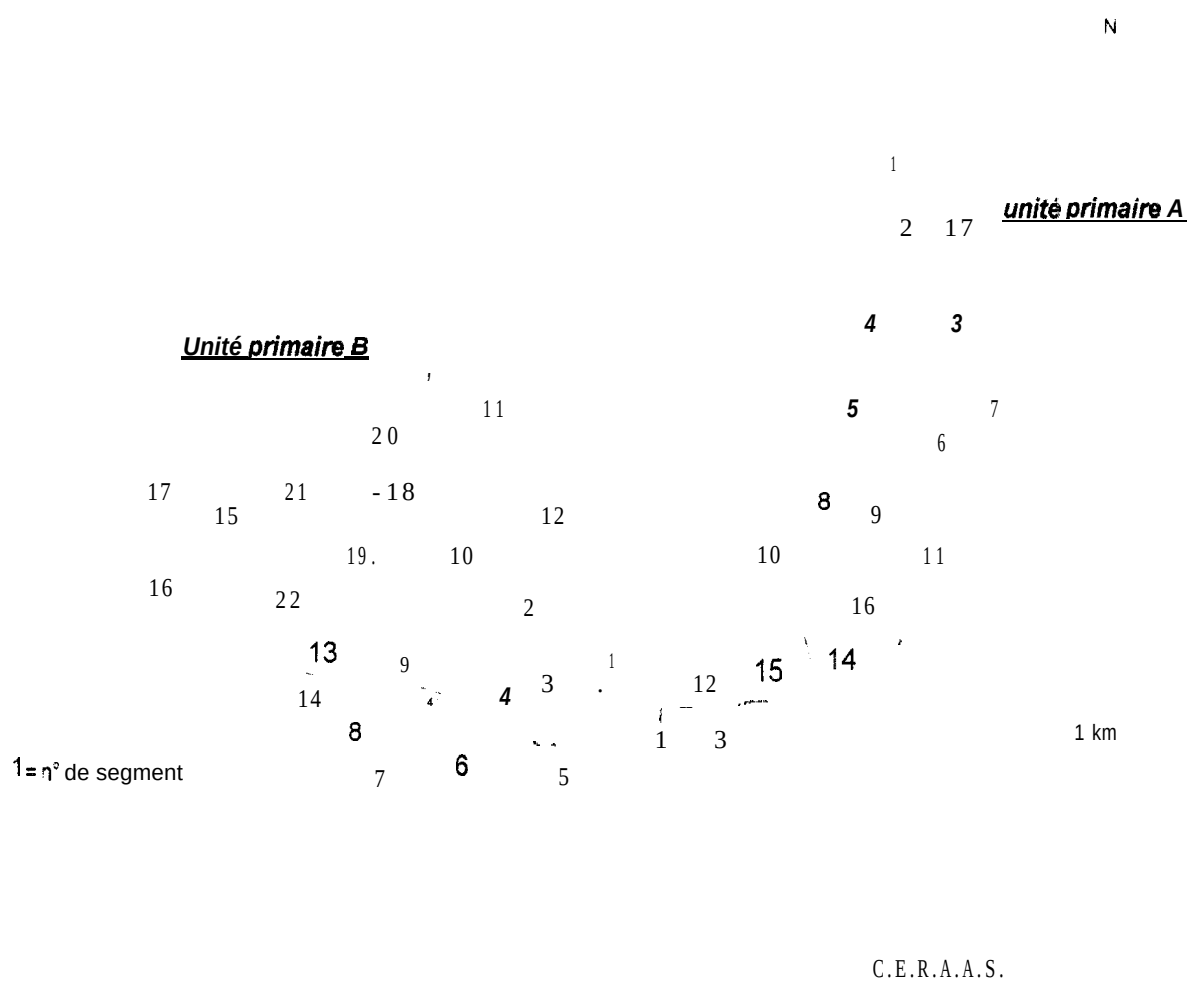


Figure III-1
Segments des unités A et B

N

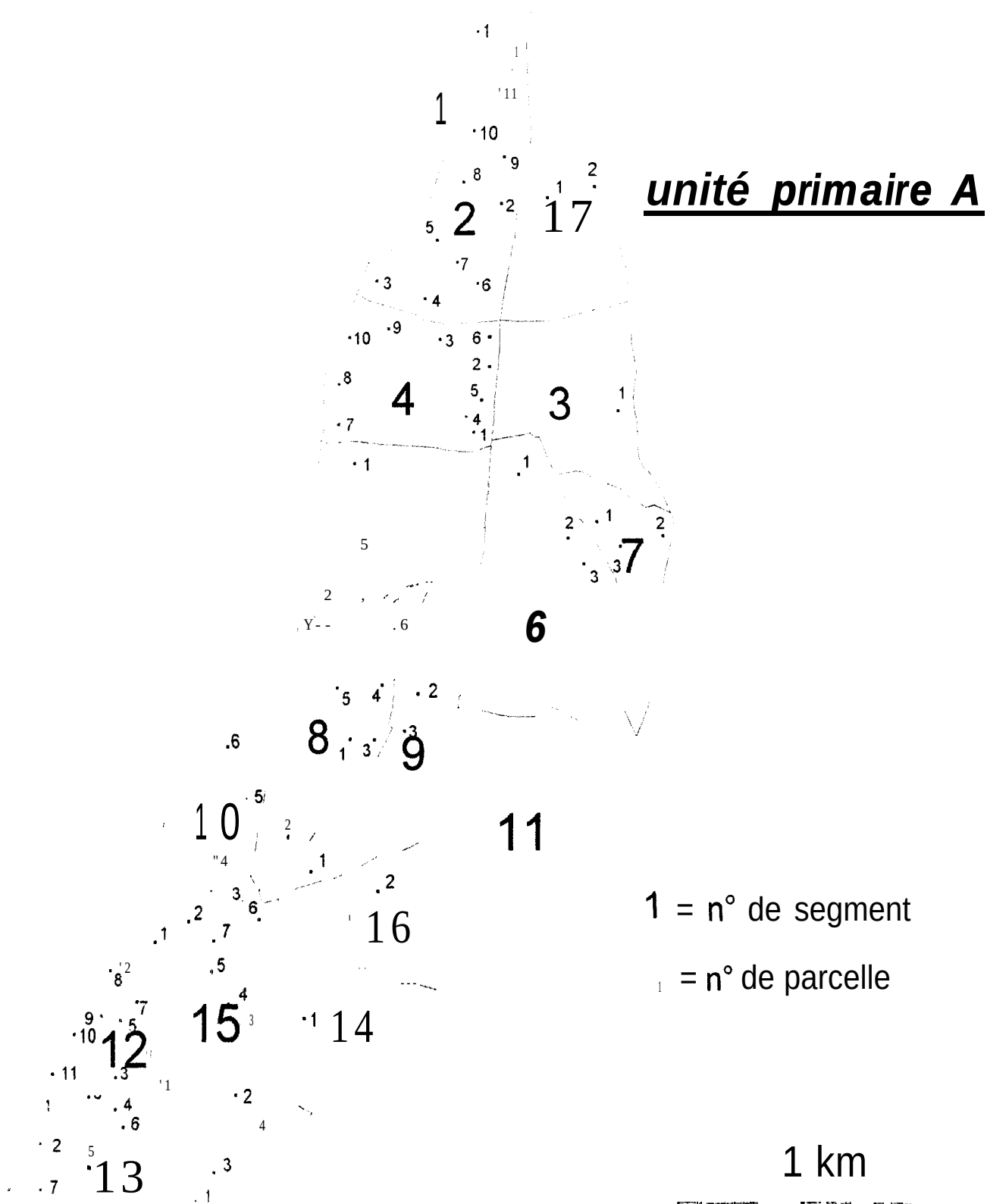


Figure III-2

Parcelles recensées dans l'unité A

Unité primaire B

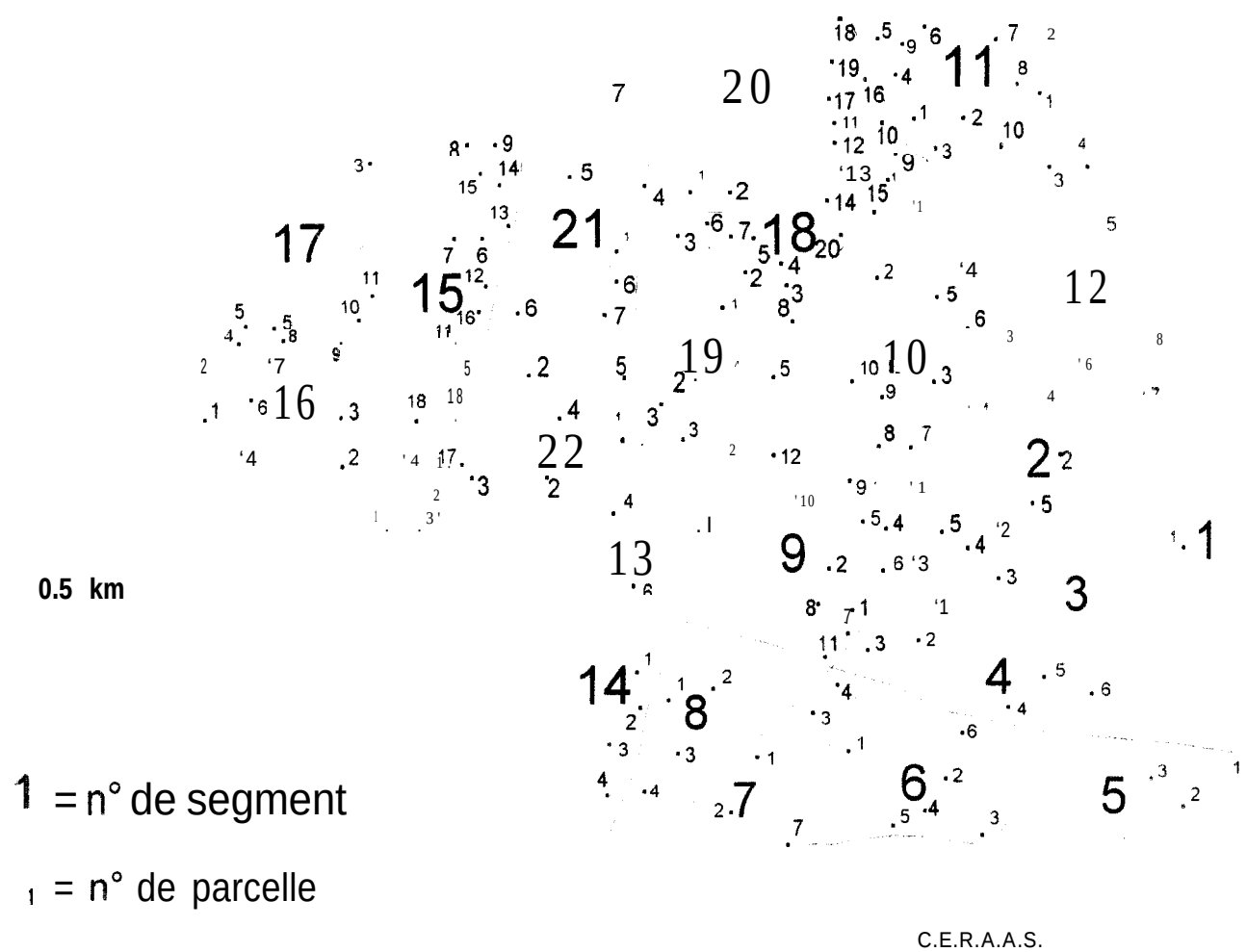


Figure III-3
 Parcelles recensées dans l'unité B

3. Enquête complémentaire auprès de l'exploitant

a) Objectif

L'établissement des questionnaires pour la collecte de renseignements sur le terrain constitue la pièce maîtresse de l'enquête. Il doit faciliter au maximum ces deux catégories de travaux : d'une part la collecte des données, d'autre part l'exploitation de celles-ci.

Les données recueillies dans les questionnaires permettent :

- d'estimer les rendements au sein des parcelles échantillonnées
- de répertorier toute une série de données qui sont indispensables pour l'analyse des rendements en fonction de différents facteurs (humains et techniques culturales).

b) Etablissement des questionnaires

Les enquêteurs sont des techniciens parlant le Français et la langue nationale, le Wolof ils travaillent depuis plusieurs années au C.E.R.A.A.S., connaissent bien le milieu agricole et la région de Diourbel.

Le M.C.D.²² a publié un guide consacré à la collecte des principales données nécessaires à la connaissance de l'organisation agricole en Afrique (M.C.D./SEDES 1981). Les fiches d'enquêtes présentées dans ce rapport sont calquées sur ces types de fiches. Une première adaptation a été effectuée par Guissard (Guissard 1995) en collaboration avec le C.S.F. Les questionnaires modifiés par rapport aux fiches d'enquêtes utilisées en 1995 sont proposés dans le présent T.F.E. pour les campagnes agricoles futures. Les modifications ont trait principalement à la formulation des questions posées à l'exploitant : des types de choix multiples sont proposés pour certains renseignements, ce qui est préférable à des questions ouvertes donnant une multitude de réponses divergentes et sans réelle utilité.

Les questionnaires comprennent les renseignements suivants :

1. un premier questionnaire: « identification de l'exploitant » (cf. fiche 1) permettant de connaître
 - la structure de la population vivant sur l'exploitation
 - le statut social de l'exploitant
 - le statut juridique de l'exploitant
 - le matériel et le cheptel de l'exploitant
 - la distance champ - habitation
2. un questionnaire « techniques culturales » (cf. fiche 2) indiquant pour chaque parcelle
 - la date de semis
 - le type de préparation du sol
 - le type de semis
 - la densité de semis
 - la variété cultivée
 - le traitement des semences
 - le précédent cultural
 - la quantité et le type de fumure répandue sur les parcelles
3. un questionnaire « mesures de densité et de rendement » (cf. fiche 3) donnent les résultats du comptage des pieds, des graines et de la pesée des récoltes.

²² Ministère de la Coopération et du Développement français

Les questionnaires sont remplis en deux **étapes**. La première étape a lieu lors du recensement des parcelles. Celui-ci a pris fin le 25 août 1996, soit 11 jours après que toutes les parcelles d'arachide aient été semées dans les unités A et B. La connaissance de la date de semis permet de déterminer la date approximative de la récolte, qui a lieu 90 jours plus tard (cycle de 90 jours pour la variété 55-437), avant laquelle aura lieu la seconde visite pour les mesures des rendements à la **récolte**.

Par **convention**, afin de rapidement retrouver les techniciens qui travaillent sur le terrain jour après jour en connaissant leur **rythme** de travail, ceux-ci opèrent segment par segment en commençant toujours par le segment le plus au **Nord** et descendent ainsi vers le Sud. Lorsqu'ils doivent revenir sur le terrain pour la seconde visite (mesures de rendement à la récolte), une fiche par segment montrant toutes les parcelles recensées sur les différents segments a été distribuée à chaque technicien. Cela permet de retrouver rapidement les parcelles et de ne pas en oublier. La **figure III-4** montre un exemple de fiche remise aux techniciens pour le segment 16 de l'unité B.

Enquêteur :

Exploitant :

• Activité secondaire

Agriculture

☐

chauffeur

☐

Elevage

☐

forgeron

☐

commerce

cl

tailleur

☐

Autre

• Main d'oeuvre

Nombre :

☐ hommes

.....

☐ femmes

.....

☐ Enfants
(< 15 ans)

.....

☐ Personnes âgées
(> 50 ans)

.....

0

<5

<10

< 15

> 15

☐
☐
☐
☐
☐

• Matériel agricole et cheptel de l'exploitant

Matériel	Semoir	Houe Sine	Houe occidentale	Charette	Souleveuse	Charrue		
Nombre								

Cheptel	Chevaux	Anes
Nombre		

Questionnaire 2 : techniques culturales

- Précédent cultural

jachère

☐

mil

☐

arachide

☐

niébé

☐

melon

☐

autre

- Date de semis : . . . /

- Type de sol

Dior

☐

Dek

☐

- Préparation du sol

Labour

☐

Scarifiage superficiel

☐

Nettoyage brûlis

☐

- Type de semis

Manuel

☐

Mécanique

☐

- Densité de semis (nombre de trous du semoir)

24

☐

24

☐

30

☐

> 30

☐

- Variété

- Origine des semences

Réserve personnelle

☐

Achetées

cl

Secco

☐

Autre

• Traitement des semences

Oui

☐

Non

☐

• Produit

Saxal

cl

Super somahi

cl

Phostoxin

☐

Spinox

☐

Fongicide

cl

Granox

☐

Spisen

☐

Autre

• Fumures

organique

Non

☐

Oui

☐

Date (année)

Type de fumure	Fumier-parc	Compost	Poudrette Parc	
Quantité (nombre de charrettes)	- - -			

minérale

Non

☐

Oui

☐

Date (année)

Type defumure			
Quantité (Kg/ha)			

Questionnaire 3 : Mesures de densité et de rendement

Enquêteur :

- Nom.. Prénom..
 - Date. /
 - Segment.....
 - N° de parcelle
 - Village le plus proche
-

Densité (nombre de pieds / 2 m ²)	
Nombre de gynophores	
Nombre de graines	
Nombre de feuilles	
Nombre de gousses	
Poids sec des feuilles	
Poids sec des graines	
Poids sec des tiges	
Poids sec des racines	
Poids sec des gousses	

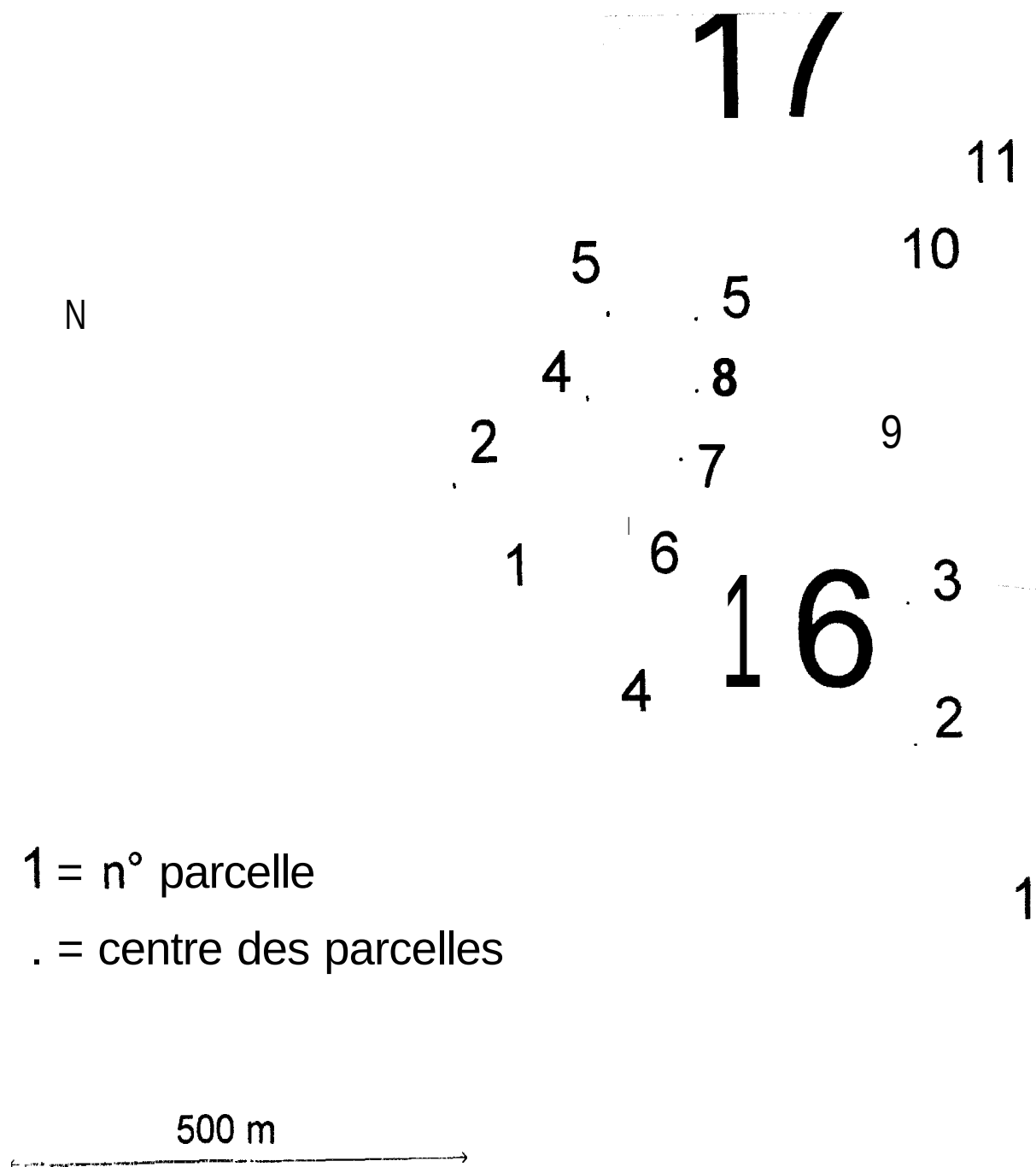


Figure III-4

Exemple de fiche remise aux techniciens
répertoriant toutes les parcelles recensées au sein d'un segment

4. Organisation de la collecte des données

a) Equipes de terrain

Un vingtaine de techniciens ont été mobilisés pour réaliser la campagne du suivi agronomique des rendements de l'arachide dans le département de Diourbel. Lors des mesures des rendements à la récolte, une première équipe (équipe I) a été chargée de suivre les parcelles situées dans tout le département ($20 \text{ P.S.U.} * 2 \text{ segments/P.S.U.} * 2 \text{ parcelles/segment} = 80$ parcelles). Une seconde équipe (équipe II) a été chargée de suivre les parcelles des unités A et B (234 parcelles). L'équipe I était composée de trois personnes et l'équipe II était composée de quatre personnes. Une voiture tout terrain avec chauffeur a été utilisée pour toute la campagne. L'équipe I partait quatre jours par quinze jours et l'équipe II partait six jours par quinze jours. Une équipe de dix personnes s'occupait des mesures de laboratoire. La saisie des données était réalisée par deux techniciens - enquêteurs qui dirigeaient les équipes I et II. Une stagiaire agronome et moi-même nous partageons entre ces différentes équipes.

b) Gestion de la base de données

(1) introduction

Deux logiciels sont utilisés pour stocker les données relatives à la campagne 1996 de suivi des rendements de l'arachide dans le département de Diourbel dans le cadre de ce T.F.E : le premier pour les données géographiques : **MapInfo**; le second pour les attributs : **Access 2**. La liaison entre ces deux bases de données est effectuée à l'aide d'un identifiant commun (voir point (3)).

(2) Les tables de la base de données

Cinq tables ont été créées pour stocker les données :

1. Caractéristiques des P.S.U. : n° de la P.S.U., latitude, longitude, superficie numérisée, nombre de segments
2. Données concernant les segments : latitude, longitude, superficie numérisée, type de sol (cf. carte pédologique : voir point III.C.2,...)
3. Données relatives à l'exploitant
4. Données relatives aux techniques culturales
5. Données relatives aux mesures de terrain et de laboratoire effectuées sur les plantes d'arachide (mesures de rendements)
6. Données pluviométriques (voir point C.2)

(3) Les identifiants

L'identifiant d'une parcelle est **défini** comme suit : il est composé de

- deux caractères alphabétiques pour la région
- deux caractères alphabétiques pour le département
- trois chiffres pour la P.S.U.
- deux chiffres pour le segment
- deux chiffres pour la parcelle

Ex. la parcelle 2 du segment 10 de la P.S.U. 68 aura comme identifiant, le code DID10681002.

Cette numérotation suit une convention standardisée, mise en oeuvre dans l'optique d'une extrapolation du suivi des rendements de l'arachide à tout le Sénégal.

(4) La saisie des données

L'utilisation de requêtes dans une base de données nécessite la présence d'aucun doublon (données citées plusieurs fois). D'autre part, les données doivent être standardisées : un élément de la base de données n'est reconnu que sous une seule forme ; ainsi, des fautes de frappe lors de l'**encodage** ne sont pas acceptables. Ainsi, l'encodage des données dans **Access 2** est facilitée par la création de formulaires de saisie. Ces formulaires évitent au maximum des erreurs d'encodage par la création de choix simples à chaque étape de la saisie. Ces choix sont définis en fonction du type de données et respectent le contexte de l'**enquête**. Ils permettent de ne pas avoir une multitude de formes de données lors de l'encodage.

C. Analyse de la variation des rendements de l'arachide dans le département de Diourbel

1. Introduction - Objectifs

Les rendements des parcelles échantillonnées au sein du département de Diourbel indiquent une certaine variation. Cette partie du mémoire tente de mettre en évidence une relation entre les rendements et différentes données. Ces données sont soit récoltées sur le terrain (telles que la pluviométrie ou la température ou la distance des parcelles au village, la date de semis, la fumure,...), ou sur cartes (« facteurs édaphiques » et densité de population). Dans un premier temps, une analyse de la variation des rendements est réalisée en fonction de chaque facteur considéré séparément. Les facteurs climatiques regroupent la pluviométrie et la température ; avec les facteurs édaphiques, ils constituent les facteurs physiques du milieu. Une autre partie de ce chapitre permettra d'étudier l'influence des facteurs humains (distance des parcelles à la ville ou au village et densité de population) sur les rendements. Un autre point de ce chapitre sera consacré à l'influence des techniques culturales sur les rendements de l'arachide dans le département de Diourbel. Dans un deuxième temps la variation des rendements sera étudiée en fonction de plusieurs facteurs considérés simultanément : calcul d'une régression multiple. La régression multiple ne reprend que les facteurs déterminants principaux des rendements. Cette partie fait l'objet du dernier point de ce chapitre.

2. Analyse des facteurs explicatifs

a) Influence des facteurs physiques du milieu sur les rendements

(1) Les facteurs édaphiques

(a) Introduction

Comme pour toutes les plantes cultivées de façon extensive, les facteurs physiques du sol interviennent dans l'adaptation de l'arachide au milieu, surtout par leur rôle dans l'alimentation hydrique et minérale, et leur effet sur la pénétration et le développement des racines ; mais contrairement à d'autres espèces, en raison du mode particulier de fructification de l'arachide, ils influent également sur la maturation, la qualité des gousses et la réalisation de la récolte (Gillier *et al* 1969). Il importe que texture et structure concourent à réaliser

1. Un bon drainage et de bonnes conditions d'aération du sol. Montenez a montré que les conditions optimales de germination de l'arachide sont réalisées lorsque le sol est maintenu à une humidité inférieure à la capacité de rétention, de telle sorte que l'air occupe 30 à 55 % de la porosité totale (Montenez 1957). D'autre part, l'aération du sol est également très importante au moment de la fructification, époque à laquelle les échanges respiratoires des gousses en formation sont très élevés (Schenk 1961).
2. Une pénétration facile des gynophores dans le sol. Des techniques culturales appropriées peuvent faciliter cette pénétration.
3. Un arrachage aisé à la récolte. Les sols très argileux et même certains sols légers sans structure, riches en sables fins, qui deviennent durs sous l'effet de la dessiccation, rendent la récolte difficile et occasionnent des pertes importantes de gousses.

La fertilité naturelle n'est pas un critère retenu pour le choix d'un sol à arachide, ce sont beaucoup plus les conditions satisfaisantes de drainage, liées à la structure et la texture du sol,

qui importent, ainsi que son comportement en condition de sécheresse. Les sols légers, sableux profonds et aérés sont appropriés pour cette culture, ce qui correspond, dans la zone intertropicale à des sols peu fertiles, très lessivés et pauvres en matière organique. L'arachide est une des quelques plantes à pouvoir être cultivée sur ces types de sols généralement vite épuisés par les cultures successives, conduisant souvent à une monoculture (Gillier *et al* 1969)

(b) *Méthode*

(i) Digitalisation de la carte morphopédologique du département de Diourbel

Une copie de la carte morphopédologique du Sénégal au 1 :500.000²³ a été acquise au département de zootechnie de Gembloux (professeur : A. Buldgen) (USAID/RSI 1984 (2)). Cette carte a permis de distinguer les principales classes morphopédologiques qui recouvrent le département de Diourbel. Elle a été digitalisée avec ARCVIEW.

(iii) Analyse de la carte morphopédologique

Six classes morphopédologiques ont été cartographiées pour le département de Diourbel

Formations sur dépôts alluviaux et colluviaux

1. **Ab3** sols hydromor- phes sur matériau très humifère
2. **Ac2** : terrasses et bourrelets alluviaux

Formations sur roches marno-calcaires

Bas plateaux - élévation inférieure à 50 m

3. **P2b** : dépressions ensablées • sols calcimorphes ou sols bruns hydromorphes, sur matériau à lits gravillonnaires

Ergs récents :

Modelé ondulé

3. **E2ax2** : dépressions • sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés mal drainés

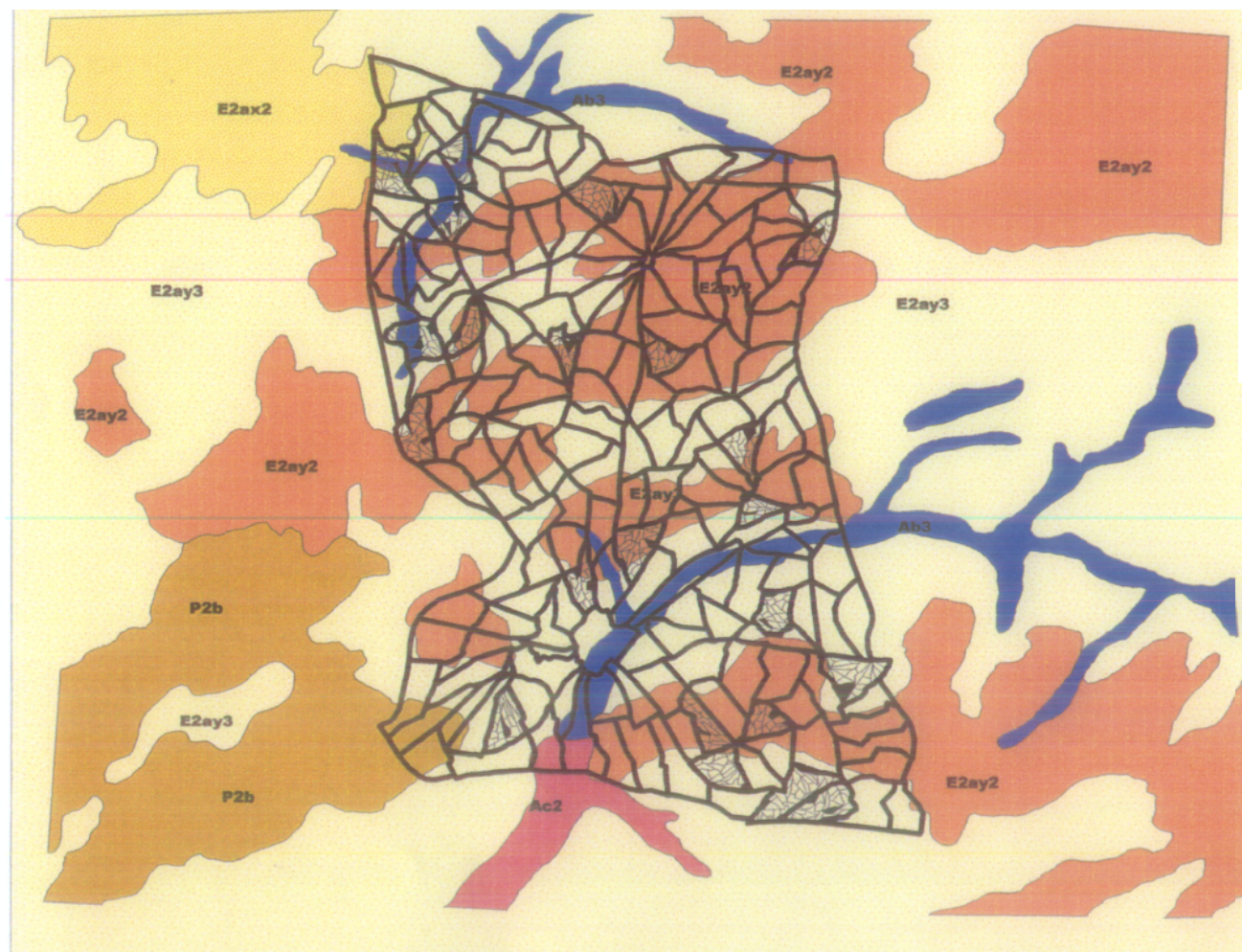
Modelé atténué

5. **E2ay2** avec alignements de mares • sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés
6. **E2ay3** : avec mares non alignées • sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés

²³ Projet USAID/RSI N°6850233.

Cartographie et télédétection des ressources naturelles pour le plan national d'aménagement du territoire

Département de Diourbel : Pedologie et Découpage administratif



LEGENDE

Classes pédologiques

- Ab3
- Ac2
- E2ax2
- E2ay2
- E2ay3
- P2b

Segments échantillonnés



10 0 10 Kilometers

Un test ANOVA a été appliqué sur 88 parcelles du département de Diourbel (vérification de différences significatives entre les différentes classes pédologiques) : les 80 parcelles échantillonnées dans les 20 unités Diourbel plus 8 parcelles tirées aléatoirement dans les unités A et B dans les quatre segments échantillonnés durant la campagne de culture 1995 (Guissard 1995). Sur les 6 classes morphopédologiques, deux ne contiennent aucune parcelle échantillonnée (**P2b** et **Ac2**). Cependant, ces deux classes ne recouvrent qu'une partie négligeable du département de Diourbel.

Une classification vernaculaire permet de classer les sols du « bassin de l'arachide » selon deux grands types. Les premiers sont les sols dior (comprennent les classes **Ea2x2**, **Ea2y2** et **Ea2y3**) et les seconds sont les sols dek (comprennent les autres classes). Cette classification plus générale correspond à celle qui est habituellement utilisée pour caractériser les sols de la région, aussi bien par les pédologues que par les agriculteurs.

On peut regrouper les caractéristiques de ces deux grands types de sols selon le tableau III-1 (Laouormadji 1994) :

SOL DIOR	SOL DEK
• Ferrugineux tropical faiblement lessivé sur sable très peu structuré • Faible tendance à la battance • Teneur en argile : 2 à 10 % • Teneur en limon : 0 à 3 % • Dominance de sable fin dans tous les horizons : 60 à 75 % • Densité apparente : 1.5 • Sable grossier : 20 à 35 % • Perméabilité DARCY : 9.8 mm/h • Infiltration MUNTZ : 20 cm/h	• Brun à hydromorphie temporaire en surface, plus argileux • Tendance à la battance • Teneur en argile : 5 à 13 % • Teneur en limon : 0.5 % • Sable fin : 65 à 75 % • Sable grossier : 20 à 25 % • Densité apparente : 1.6 • Perméabilité DARCY : 8.8 mm/h • Infiltration MUNTZ : 21 cm/h

Tableau III-1

Caractéristiques des deux grands types de sols du « bassin de l'arachide »

Les sols de type dior recouvrent la majeure partie du département de Diourbel. Ils ont une grande importance agricole. Ils fournissent la majeure partie des productions d'arachide et du mil **souna** ou petit mil dans la région du centre Sénégal. Tous les sols dior ont en commun une texture très sablonneuse qui les rend légers, meubles et perméables ; mais leur structure instable leur vaut une grande fragilité et limite étroitement leur capacité de rétention de l'eau. Un lessivage actif s'y exerce, lessivage vertical ayant pour effet la migration en profondeur des éléments ferrugineux et la superposition d'horizons très homogènes, lessivage latéral accentuant leur pauvreté en argile et entraînant l'accumulation des éléments fins vers le pied des versants et des bas-fonds (Pélissier 1966). La plus grande partie du département de Diourbel comprend en fait deux classes morphopédologiques qui correspondent aux sols dior (**E2ay2** et **E2ay3**). Ils ont une topographie assez plane avec des pentes faibles.

Les sols dek sont donc beaucoup moins répandus ; ils sont surtout présents dans les régions à topographie plus variable. Leur répartition morcelée coïncide avec les dépressions interdunaires, les cuvettes, le pied des versants, plus généralement toutes les zones déprimées vers lesquelles tend à s'orienter le drainage.

(c) *Résultats*

Le test ANOVA appliqué sur les quatre classes E2ax2, E2ay2, A2ay3 et Ab3 indique que les rendements ne sont pas significativement influencés par la classe morphopédologique (voir tableaux suivants) :

Classes pédologiques	Nombre de parcelles	Moyenne des rendements (tonnes/ha)	Variance des rendements
E2ax2	2	0,457	0,0151
E2ay2	39	0,421	0,0345
A2ay3	38	0,414	0,0307
Ab3	7	0,358	0,014

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Intergruppes	0,0276	3	0,0092	0,296	0,828	2,151
Intragruppes	2,54	82	0,031			

Le même test a été appliqué en répartissant les parcelles selon la classification vernaculaires des rendements les regroupant en type dior et dek :

Classes pédologiques	Nombre de parcelles	Moyenne des rendements (tonnes/ha)	Variance des rendements
dior	79	0,418	0,0316
dek	7	0,358	0,0141

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Intergruppes	0,0236	1	0,0236	0,777	0,381	3,95
Intragruppes	2,547	84	0,0303			

Les résultats indiquent **que** les rendements ne varient pas significativement en fonction des sols dior et dek.

(d) *Discussion*

Ces **résultats** peuvent s'expliquer par les valeurs' élevées de **variance** intragroupe observées. En effet, le faible échantillonnage appliqué sur tout le département induit une **variance** élevée à l'intérieur d'une unité primaire mais donc aussi au sein d'une classe **morphopédologique** **qui** regroupe un grand nombre de P.S.U. Les valeurs de moyennes observées entre les différentes classes semblent pourtant bien indiquer des rendements plus élevés au sein de classes morphopédologiques regroupant les sols dior mais les **variances** étant **trop élevée**, aucune conclusion ne peut être tirée dans ce cas. Le même test devrait être **réalisé** pour la saison de culture 1997 avec le nouvel échantillonnage appliqué au sein du département.

L'échelle de la carte pédologique est de **1 : 500.000'**. Cette échelle géographique est fort générale par rapport à celle du département de Diourbel. La majorité des parcelles se trouvent sur les sols dior (9/10^e du nombre des parcelles échantillonnées). L'existence de parcelles isolées sur un autre type de sol pourrait être lié à la généralisation de la carte

morphopédologique par rapport à l'échelle des observations de rendements dans le département de Diourbel. Les résultats doivent donc être pris avec précaution. Un nouveau test devrait être réalisé avec la taille d'échantillonnage qui sera appliquée lors de la campagne 1997 sur les données de rendements.

(2) Les facteurs climatiques

(a) Le régime hydrique

(i) introduction

La pluviométrie est le facteur déterminant des rendements de l'arachide (Pélessier 1966). Les aléas du régime hydrique se répercutent directement sur les rendements (Gillier *et al* 1969). En fait, les aléas du régime hydrique ne se répercutent pas de la même manière sur le développement végétatif, la floraison, la maturation et, finalement, sur les rendements, selon l'époque à laquelle ils se manifestent. De nombreuses études ont permis de connaître l'influence du régime hydrique sur les rendements aux différents stades de développement de la plante (Billaz *et al* 1961 ; Forestier 1973 ; Gaye 1979 ; Vieira Da Silva 1988 ; Annerose 1990, Marone 1994 ; Mayeux *et al* 1996 ; Orsati 1996). La sécheresse a un effet dépressif sur les rendements du même ordre de grandeur lorsqu'elle intervient entre la levée et la floraison (10^e à 30^e jour), au début de la floraison (30^e à 50^e jours), ou en fin de cycle (80 au 90^e jour), et elle est beaucoup plus grave lorsqu'elle se situe à l'époque de la forte floraison (entre 50^e et 80^e jours).

Billaz *et al* ont montré en 1961 que la sécheresse agit à la fois sur le développement et la floraison et que le rendement dépend surtout de l'interaction de ces effets. La vitesse de croissance est fortement diminuée dès l'apparition de la sécheresse. Mais lorsque celle-ci se place entre les dixième et quatre-vingtième jours, la vitesse de croissance devient supérieure à celle des plants normalement alimentés dès que les conditions normales sont rétablies. Les plantes qui ont ainsi souffert d'un régime hydrique défectueux ont alors un comportement nettement plus végétatif que les autres.

Ainsi, les sécheresses intervenant au début du cycle, période végétative et début de floraison, et surtout celle intervenant au cours de la forte floraison provoquent par la suite un déséquilibre entre croissance végétative et floraison, qui se traduit par une augmentation du rapport entre le nombre de feuilles et le nombre de fleurs formées. L'accroissement du développement végétatif qui se manifeste après une période de sécheresse mobiliserait les produits de la photosynthèse au détriment de la fructification.

(ii) Méthode

(a) Mise en place des pluviomètres

L'étude de la repartition de la pluviométrie au sein des unités A et B nous renseigne sur une éventuelle relation significative entre les rendements d'arachide et la pluviosité à l'échelle étudiée

Des pluviomètres avaient été commandés par le C.E.R.A.A.S. pour le début de la saison des pluies mais ils n'ont jamais été livrés. Une solution de dépannage a été adoptée pour construire des pluviomètres avec les « moyens du bord ». Vingt pluviomètres ont été conçus et placés au sein des deux unités A et B.

Le matériel nécessaire est le suivant :

- récipients en plastique dont l'extrémité supérieure présente une section à l'air libre correspondant à la surface de captation de l'eau de pluie
- verre à pied gradué jusqu'à 500 ml
- ruban adhésif

La figure Ill-6 montre les 20 pluviomètres disposés au sein des unités A et B.

Un technicien a été chargé de passer deux fois par semaine durant la saison des pluies pour récolter les mesures pluviométriques.

Chaque pluviomètre est disposé à même le sol. L'extrémité supérieure du récipient doit dépasser du sol d'au moins 15 cm, ceci afin d'éviter que l'eau de ruissellement ne pénètre à l'intérieur du pluviomètre. Les pluviomètres sont enterrés pour qu'ils ne se renversent pas. Ils doivent être situés le plus loin possible de tout obstacle et leur surface de captation doit être rigoureusement horizontale. Les pluviomètres ont été placés sur une termitière : aucune végétation ne pousse à cet endroit et elles présentent déjà en général une surface plus ou moins horizontale, légèrement surélevées habituellement.

Les pluviomètres sont toujours placés à proximité d'une habitation. Une personne est alors chargée contre rémunération par le C.E.R.A.A.S. de placer, après chaque pluie, un bout de scotch sur le récipient, dont l'extrémité supérieure coïncide exactement avec le niveau de l'eau. Ensuite, le récipient est vidé et redressé à son emplacement. Si plusieurs pluies ont eu lieu le même jour, un morceau de papier adhésif correspondra à chaque pluie. Le technicien-enquêteur est averti et le récipient est vidé après chacune d'elles. De plus, la personne chargée de disposer les rubans adhésifs à chaque pluie est également chargée de veiller au bon entretien des pluviomètres : enlever tout objet pouvant y être tombé, vérifier si aucun trou ne s'y est formé, ... d'empêcher les enfants ou animaux de le détruire. A chaque passage, le technicien est chargé de réexpliquer à la personne qui s'occupe de l'entretien et du marquage des pluies sur les pluviomètres le mode de manipulation.

Le récipient est alors rempli jusqu'au niveau de l'extrémité supérieure du papier adhésif et, ensuite, le contenu est transvasé dans le verre à pied. Le niveau dans le verre à pied nous permet de calculer la hauteur de la dernière pluie en divisant le volume contenu dans le verre à pied par la section du récipient.

(b) Fiches d'enquête

Le technicien-enquêteur mesure le diamètre du récipient et indique la forme de celui-ci. Deux types de formes de récipient ont été utilisées : récipients de section carrée ou ronde.

A chaque visite, il remplit les fiches d'enquête (cf. fiche 4) qu'il nous rend à la fin de chaque semaine, et en fait une copie qu'il garde.

Disposition des pluviomètres sur les unités A et B

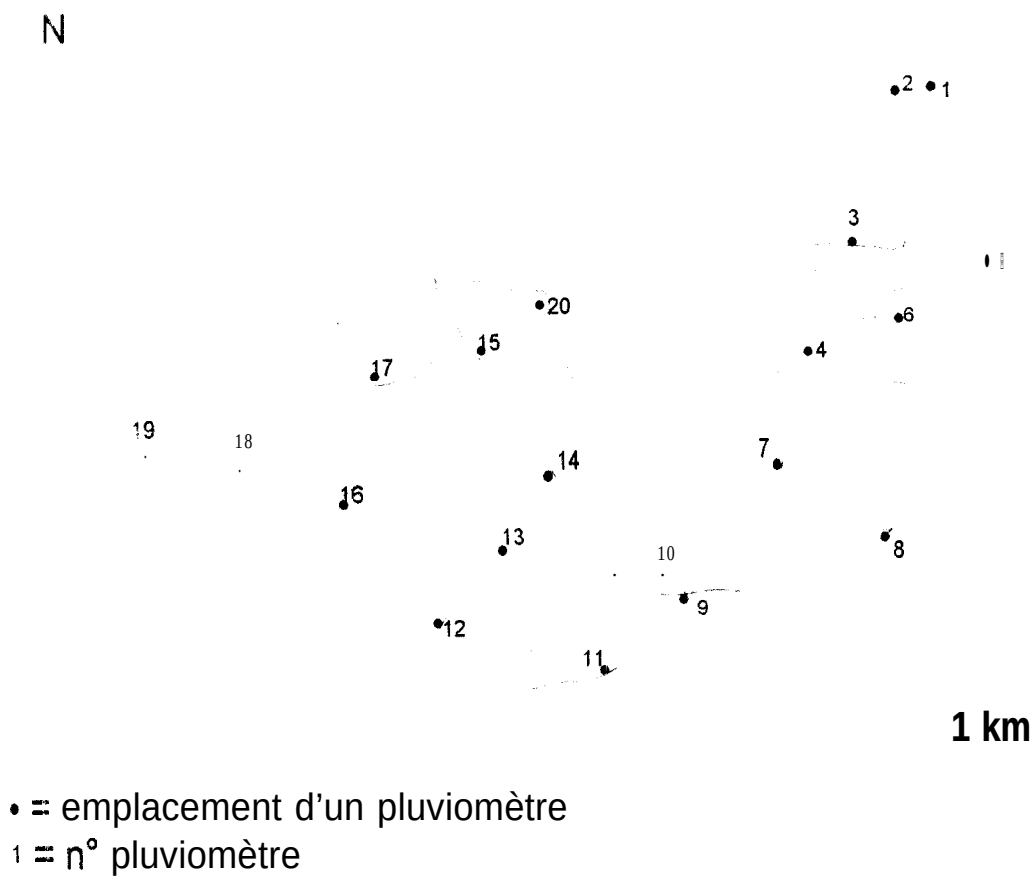


Figure III-6

Disposition des pluviomètres sur les unités A et B

(iii) Résultats

(a) Introduction

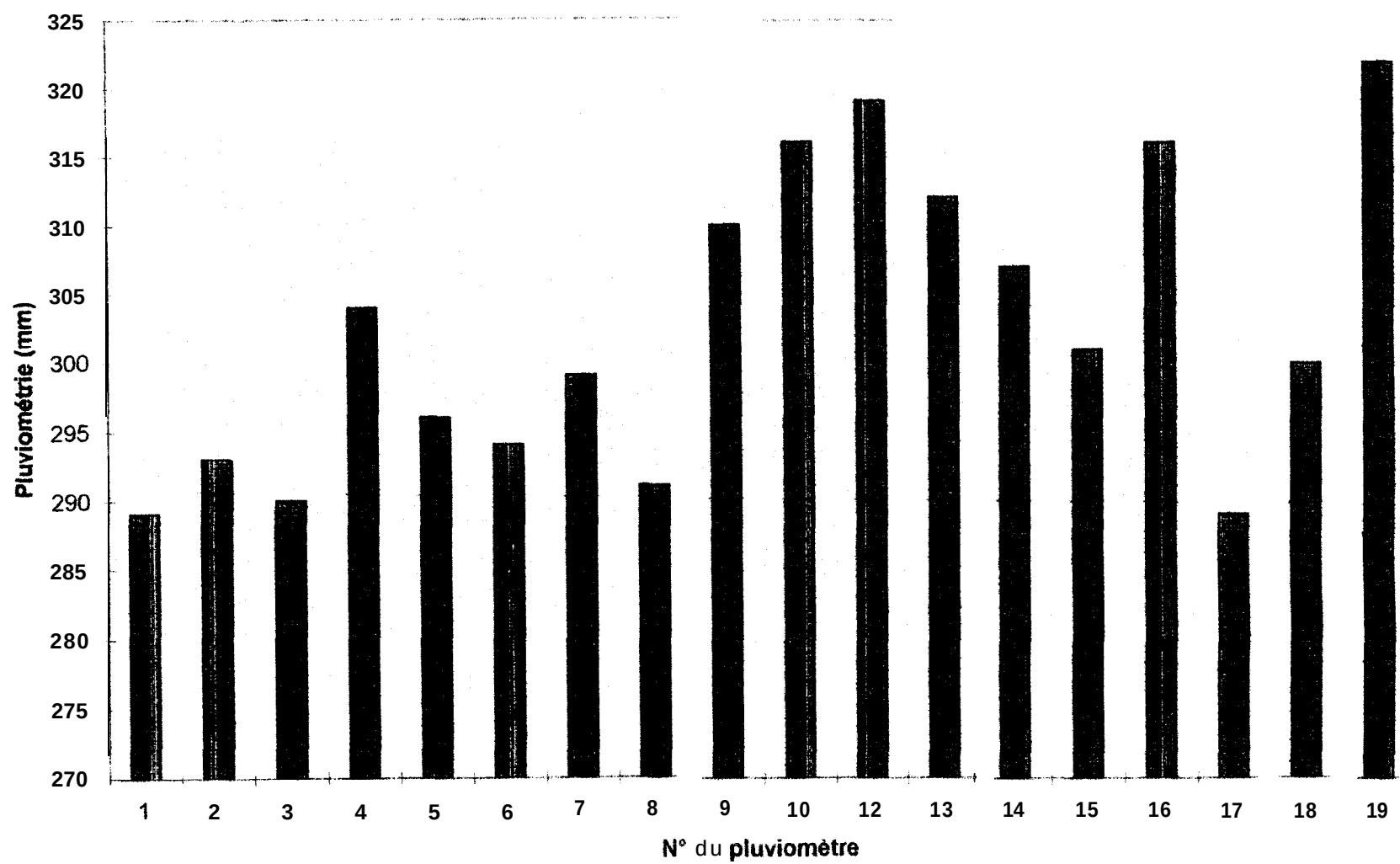
Du début de la campagne de mesure de la pluviométrie sur les unités A et B (11 août) à la fin de la saison des pluies (17 octobre), la pluviosité totale enregistrée dans les 19 pluviomètres des unités A et B s'étendent de 289 à 316 mm avec une moyenne de 303 mm. Le pluviomètre 11, n'ayant pas enregistré une partie de la pluviométrie, n'a pas été pris en compte dans l'interpolation des données au niveau des unités A et B.

Le total pluviométrique moyen à Diourbel calculé sur 10 années entre 1974 et 1983 est de 446 mm avec 285 mm relevés l'année la plus sèche (1983) et 651 mm l'année la plus pluvieuse (1978) (USAID/RSI, 1984 (1)). Ainsi, la pluviométrie relevée durant la campagne 1986 au sein des unités A et B porte en moyenne sur 70 % du total pluviométrique de la saison humide.

Le graphique III-1 montre la répartition de la pluviométrie totale sur les unités A et B, par pluviomètre. La pluviométrie s'étend de 287 mm sur le pluviomètre n° 17 à 321 mm sur le pluviomètre 19. La pluviométrie moyenne sur les 19 pluviomètres des unités A et B est comparée aux données moyennes mensuelles obtenues à Diourbel entre 1978 et 1983 voir graphique III-2. La pluviométrie n'a été enregistrée qu'à partir du 11 août. Les valeurs de pluviométrie pour les mois de juin et juillet ne sont donc pas connues ni pour le début du mois d'août. Le mois de septembre est plus sec que la pluviométrie moyenne observée entre 1974 et 1983, cependant il y a eu un peu plus de précipitations en octobre. Les deux premières pluies d'août n'ont pas été enregistrées.

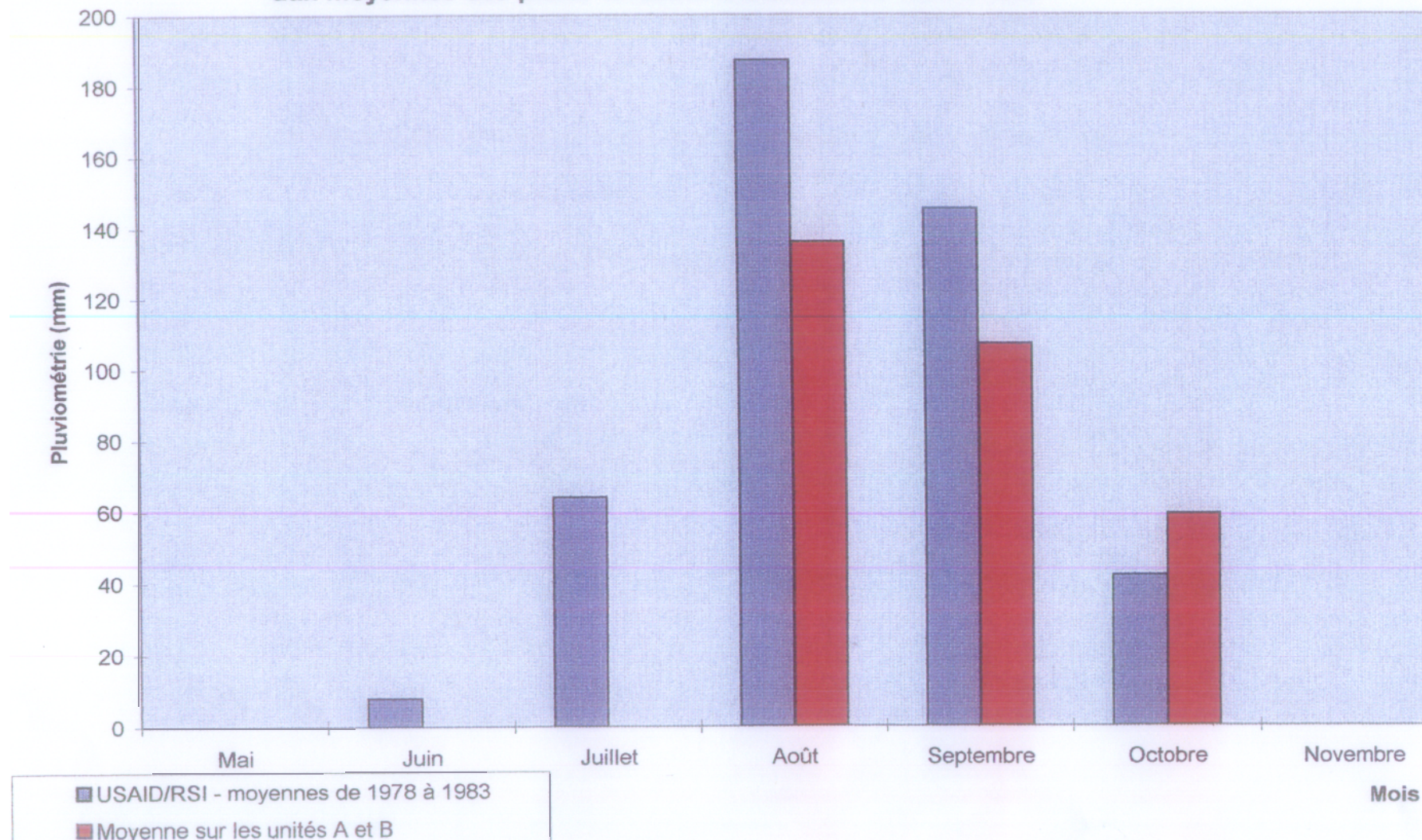
Graphique 3

Pluviométrie - les unités A et B



Graphique III-1

Comparaison des données pluviométriques mesurées sur les unités A et B durant l'hivernage 1996
aux moyennes des pluies tombées à Diourbel de 1974 à 1983



(b) Relation **rendements - pluviométrie**

Différents tests sont appliqués ci-dessous pour tenter de mettre en évidence une relation **éventuelle** entre la pluviométrie et les rendements. Les parcelles ayant été prises en compte sont toutes les parcelles des unités A et B les plus proches de chaque pluviomètre. Ainsi, à chacun des 18 pluviomètres restants (les **pluviomètres** 6 et 20 ne donnant pas des valeurs fiables), correspond un site. C'est-à-dire que la valeur de pluviométrie attribuée à une parcelle correspond à la quantité de pluie effectivement enregistrée sur le site pluviométrique (= pluviomètre) le plus proche. Pour réaliser ces tests, différentes variables vont être tirées de la pluviométrie enregistrée dans les 18 pluviomètres. Une étude effectuée à Bambey a permis d'estimer précisément les besoins en eau de l'arachide (Billaz 1969). En fournissant à tout instant une alimentation optimum pour que l'eau ne soit pas un facteur limitant de la production, il fallait compter une consommation de la plante de 370 à 570 mm par cycle **végétatif**. Compte tenu des pertes par évaporation, les besoins totaux se situent entre 400 et 700 mm,

(i) Relation **rendements - pluviosité totale**

Le graphique III-3 indique les rendements en fonction de la pluviosité totale (du 11 août au 17 octobre 1996). Aucune relation évidente ne semble pouvoir être tirée d'un tel graphique,

Pour tester la signification de la relation entre les rendements et la pluviosité totale, un test de corrélation est appliqué à ces données. L'hypothèse testée est la suivante :

- Il existe une relation significative entre la pluviosité totale et les rendements.

La valeur obtenue pour r (= coefficient de corrélation) figure dans le tableau suivant

r	0,0350
Observations	189
seuil de signification à 0.95	0.1946

Le coefficient de corrélation n'est pas significatif, ce qui indique que la pluviométrie totale n'influence pas significativement les rendements.

(ii) Relation rendements - maximum de pluviosité

Le test suivant va tenter de mettre en évidence une corrélation éventuelle entre les rendements et la pluviométrie correspondante à la plus haute valeur de pluviosité (c'est à dire au maximum de la saison des pluies). L'hypothèse de ce test est que la pluie la plus importante au cours de l'hivernage serait celle qui a apporté assez d'eau pour avoir l'impact le plus **significatif** sur les rendements. Cette valeur correspond aux pluies qui sont tombées sur les unités A et B entre le 21 et le 24 août. Même si les premières pluies n'ont pas pu être enregistrées, le maximum de la pluviosité de la saison humide a le plus de probabilité d'avoir lieu fin août, début septembre ; particulièrement cette année où le début de l'hivernage n'a débuté que très tard. Ainsi, le graphique III-4 montre les rendements observés dans les parcelles les plus proches des pluviomètres pris en compte en fonction de la pluviométrie enregistrée entre le 21 et le 24 août. On peut observer une assez bonne corrélation entre la pluviométrie maximale et les rendements.

Testons cette corrélation à l'aide du test de la régression linéaire :

r	0,306
Observations	189
Seuil de signification à 0.99	0.2540

Le coefficient de corrélation est significatif. Sa valeur élevée incite à calculer l'équation de la droite de régression et la valeur du coefficient de détermination associées à ce test, afin d'estimer la part de la **variance** de l'échantillon (rendements) pouvant être expliquée par la **corrélation** rendements - pluviosité maximale. En effet, la valeur du coefficient de détermination, soit r^2 , multiplié par 100 permet de connaître la part de la **variance** totale de l'échantillon pouvant être expliquée par cette corrélation.

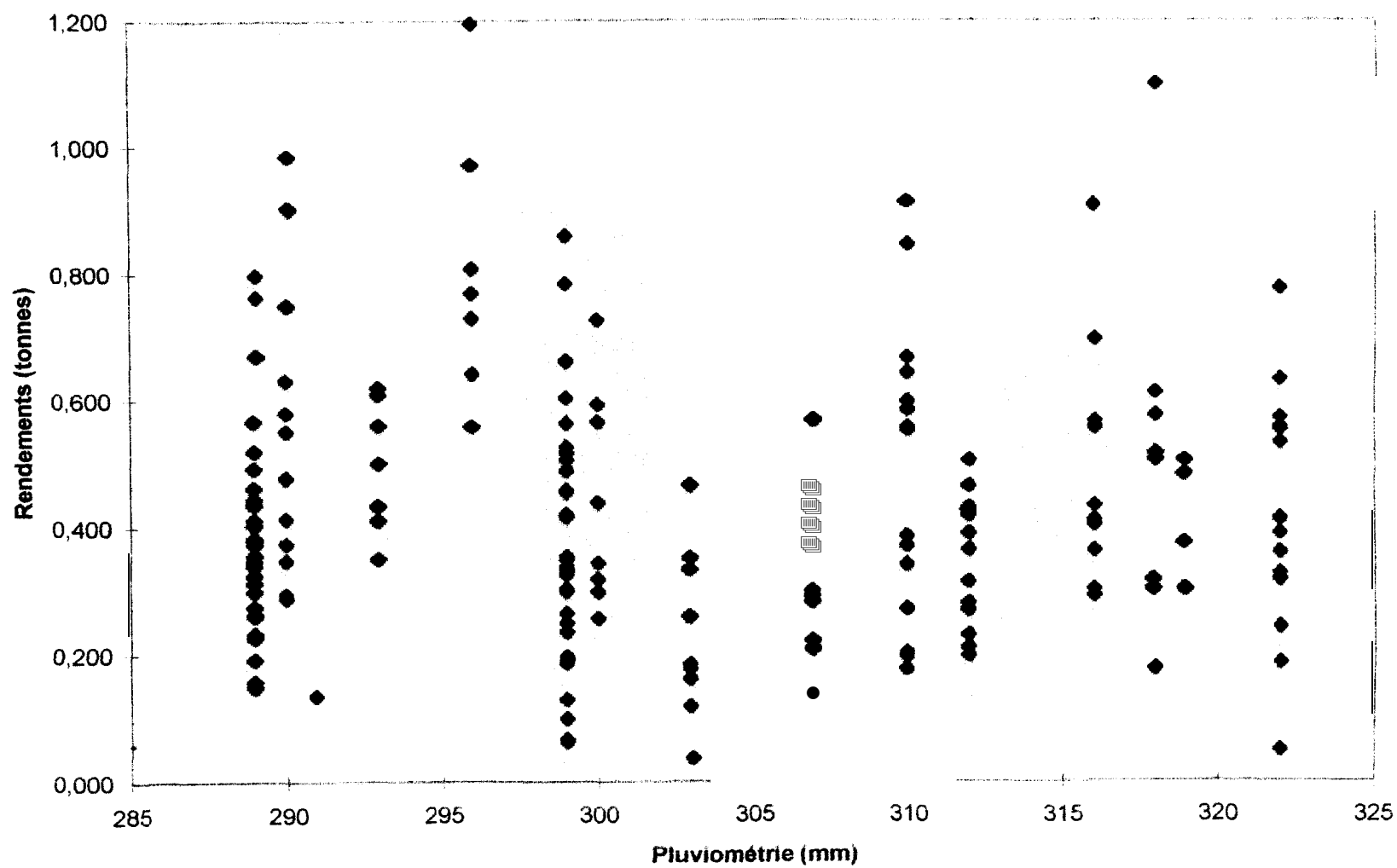
Le graphique III-4 montre la relation entre les rendements et le maximum de pluviosité, L'équation de la droite de régression est la suivante :

$$y = 0,005 * x + 0.059$$

$r^2 = (0.306)^2 = 0.094$. La régression explique donc 9.4 % de la **variance** totale.

Graphique 4

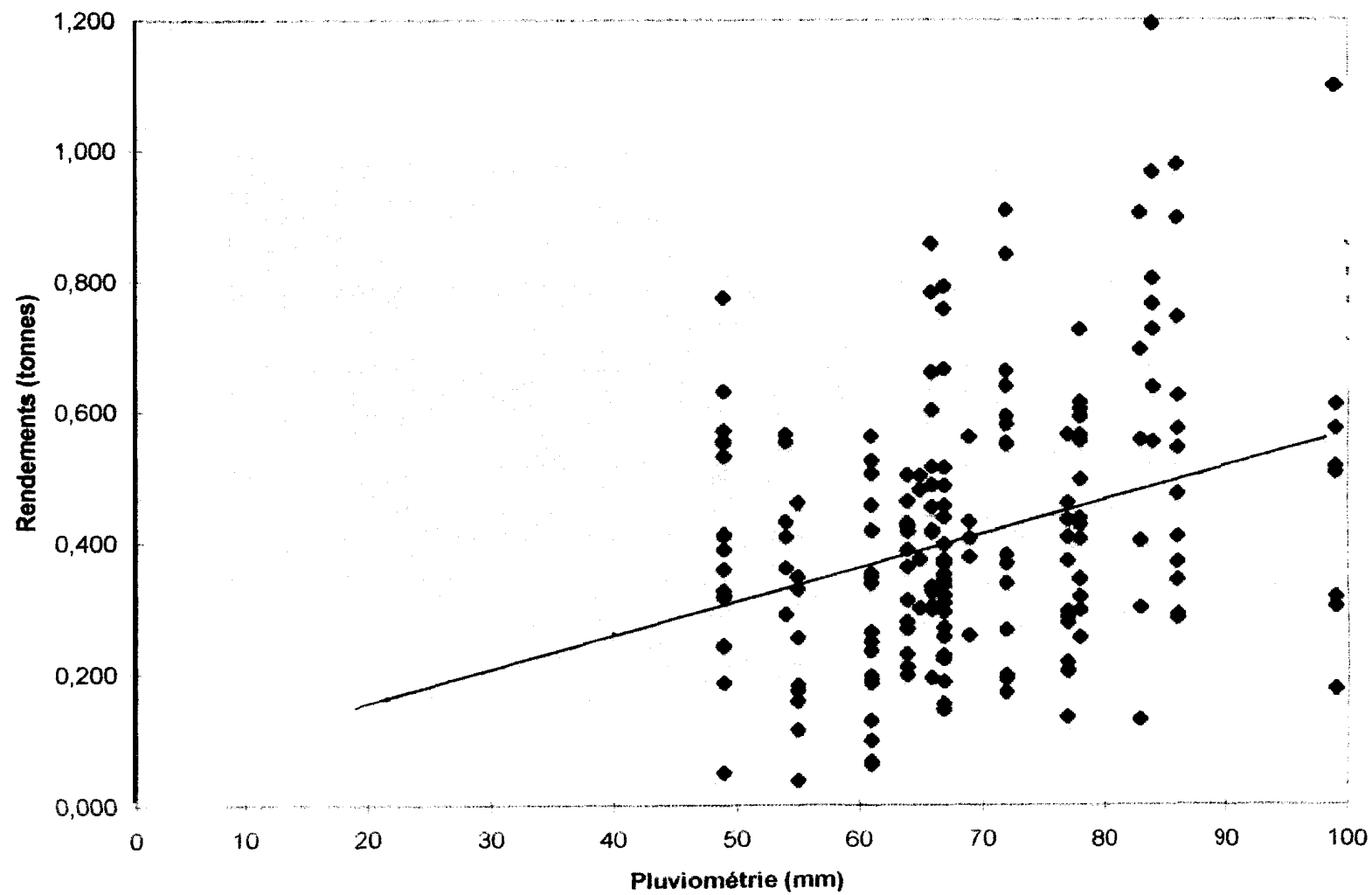
rendements - pluviométrie totale



Graphique III-3

Graphique 5

rendements - pluviométrie du 21 au 24 août



(iii) **Relation rendements - nombre de jours de sécheresse**

Le nombre de «jours de sécheresse » (= nombre de jours sans pluie durant la saison humide) peut être un facteur permettant d'expliquer une partie de la **variance** observée dans la **répartition** des rendements dans les unités A et B. On peut distinguer trois groupes de parcelles ayant subi des jours de sécheresse entre le 11 août et le 17 octobre : celles qui ont subi 42 jours de sécheresse entre le 11 août et le 17 octobre, celles qui ont subi 43 jours de sécheresse et celles qui ont subi 44 jours de sécheresse. Un test ANOVA appliqué à ces données n'indique pas de différence significative entre les différents groupes de parcelles :

Nombre de jours de sécheresse	Nombre de parcelles	Moyenne des rendements (tonnes/ha)	Variance des rendements
42	39	0,401	0,031
43	71	0,446	0,053
44	79	0,413	0,040

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Intergruppes	0,065	2	0,032	0,75	0,474	3,04
Intragruppes	8,048	186	0,043			

De plus, les moyennes de rendement obtenues pour les trois groupes ne diminuent pas en fonction du nombre de jours de sécheresse.

(iv) **Discussion**

Le test permettant de mettre le mieux en évidence la variation des rendements en fonction de la pluviométrie est le test (ii). Il teste la relation entre les rendements et le maximum de pluviosité. La régression **linéaire** calculée peut expliquer 9.4 % de la **variance** totale des rendements dans les unités A et B. Ce niveau de corrélation semble faible pour le facteur déterminant principal des rendements de l'arachide. Cependant, le moment auquel interviennent les sécheresses dans le développement de la plante et la durée de ces sécheresses, ainsi que leur intensité, peuvent expliquer une partie de la **variance** des rendements (Gillier *et al* 1969). Cette hypothèse sera testée plus loin dans le chapitre relation rendements - date de semis.

(b) **La température**

Les températures ont un effet très important sur la vitesse des processus physiologiques, et en conséquent sur la durée des différentes phases de développement. D'une manière générale, de basses températures, inférieures à 5° Celsius empêchent la germination et détruisent les plantes d'arachide et des températures moyennes inférieures à 18 - 20° C pendant des périodes prolongées au cours de la vie de la plante inhibent ou ralentissent considérablement son développement (Gillier *et al* 1969). Cependant, de telles températures ne sont jamais atteintes au Sénégal durant la saison des pluies. L'arachide est adaptée à des températures à peu près constantes ; les températures optimales se situent entre 25 et 35° C. Dans la région de Diourbel, les températures sont plus ou moins homogènes durant la saison des pluies et sont bien adaptées à la culture de l'arachide. Calculées sur une moyenne des 20 dernières années, les températures mensuelles sont comprises entre 21 et 38° C durant l'hivernage (mi-

juin à mi-septembre) (Annerose 1990). Ainsi, les températures de Diourbel semblent peu contraignantes par rapport à la culture de l'arachide.

b) Influence des facteurs humains sur les rendements

(1) Introduction

La base de données réalisée lors de la campagne 1996 (voir point III.B) permet de tester les relations entre les rendements et d'autres variables au niveau des parcelles des unités A et B

(2) La densité de population

La population sénégalaise est caractérisée par la présence d'une vingtaine d'ethnies inégalement répartie sur le territoire. Les Wolofs, représentant environ 40 % de la population totale, sont largement majoritaires dans les provinces historiques du Walos (extrême Nord-Ouest du pays), du Cayor (situé juste au Sud du Walos jusque Dakar), dans la moitié Est du bassin de l'arachide et dans les grandes villes. Les Lébois, très proches des Wolofs, se concentrent dans la presqu'île du Cap Vert (comprend Dakar) et sur la Petite Côte (côte au Sud de Dakar) où ils sont essentiellement pêcheurs. Les Sérers, 18 % de la population totale, se répartissent en plusieurs groupes dans la partie Ouest du bassin de l'arachide et les îles de la cote. Les Maures, en minorité, anciennement établis dans le Walo, doivent à leurs activités commerciales d'être citadins. Enfin, les autres ethnies se répartissent sur le reste du territoire avec environ 15 % de Peuls, 10 % de Toucouleurs, 7 % de Diolas,...

Cette répartition des ethnies divise le bassin de l'arachide en deux, imposant une distinction ethnique fondamentale la moitié Ouest est principalement occupée par des Sérers et la partie Est par des Wolofs (Pélissier 1980). Il n'existe pas de limite bien nette entre les deux « régions ethniques » qui divisent le bassin de l'arachide. Le domaine des Wolofs couvre tout le Nord du pays jusqu'au contact immédiat de la zone Sérère, c'est-à-dire une ligne Ouest-Est joignant approximativement Thiès-Bambey-Diourbel correspondant plus ou moins à la voie ferrée joignant ces trois villes.

Comme cela a été mentionné ci-dessus, les deux « régions ethniques » Wolof - Sérère ne sont pas nettement séparées, elles entrent en contact le long d'une frange de peuplement mixte, située au Nord du chemin de fer mais dont le dessin n'a rien de linéaire (voir figure III-7 : le partage ethnique du « bassin de l'arachide »). Une carte des densités de population offre des limites plus nettes permettant d'être cartographiées. Cependant, les cartes de densité de population éditées du Sénégal ayant été trouvées n'offrent malheureusement pas une précision suffisante pour être utilisées à l'échelle du département Diourbel dans le cadre de cette étude. Deux cartes ont pu être acquises : la première provient de l'ouvrage de Pélissier (Pélissier et al 1980, voir figure III-8) et la seconde, plus récente, est fondée sur le recensement général de la population de 1988 (W.F.P.²⁴ 1996, voir figure III-Y). Les résultats de ce recensement indiquent que la population totale du Sénégal dépasse les huit millions d'habitants et que la densité moyenne de la population est de 44.1 habitants/km². La carte de Pélissier et cette dernière ne sont pas assez précises pour étudier l'influence de la densité de population sur les rendements de l'arachide dans le département de Diourbel mais elles peuvent permettre de mieux comprendre la structure de la population au sein du bassin de l'arachide. On peut tout de même s'interroger sur quelques pistes pouvant expliquer l'éventuelle influence de la densité de population sur les rendements de l'arachide. La discussion qui suit n'a donc pas la prétention d'expliquer la relation éventuelle qui pourrait exister entre ces deux variables au sein du département de Diourbel mais tente de cerner les

²⁴ World Food Program

éléments qui ont pu conduire à une distinction ethnique si nette dans le bassin de l'arachide et quelles peuvent en être les conséquences sur l'agriculture pratiquée par ces deux peuples, induisant une éventuelle relation de cause à effet directe ou indirecte sur les rendements, La première étape est de s'interroger sur la répartition des densités de population au sein du bassin de l'arachide Il est donc grossièrement coupe en deux domaines : le domaine couvert principalement par le peuplement Wolof et celui couvert par les Sérers. A la vue des cartes des ethnies et de densité de population (figures III-7 et III-8), il paraît donc que les différences de densités de population coïncident dans l'ensemble avec le partage du bassin de l'arachide entre ces deux domaines ethniques. Les Wolofs occupent les zones les moins fortement peuplées ; les Sérers forment un bloc plus replié sur lui-même et plus dense. La question principale qui nous intéresse dans le contexte de cette étude est de connaître le comportement de ces deux populations face à des conditions de vie apparemment fort différentes, et de tenter de comprendre quels pourraient en être les conséquences sur les rendements de l'arachide (Pélissier 1969).

Le pays Wolof est caractérisé par des densités de population faibles. En effet, ils sont caractérisés par une organisation communautaire particulière. Ils forment des villages groupant un nombre d'habitants peu élevé allant de 50 à 150 personnes, alors qu'en moyenne sur le territoire national, on recense environ 210 habitants par agglomération. Ils ont adopté pour conduite l'expansion géographique et la conquête de l'espace, les amenant ainsi à former des villages comprenant peu de personnes, ce qui peut expliquer les densités de population faibles dans cette région ethnique. A l'opposé, les Sérers forment une population profondément sédentaire où les densités de population augmentent très vite au plus on se rapproche de Bambey, situé à l'Est de Diourbel. Le pays Sérér offre les densités de population les plus élevées du Sénégal (pouvant aller jusqu'à 150 habitants/km²). La croissance des effectifs a exigé la mobilisation totale de l'espace utilisable par les techniques en usage et provoqué le défrichement des dernières forêts (Pélissier 1980).

De manière générale, plus la densité de population augmente, plus l'intensification de l'agriculture a lieu (Wolff 1996). Les Sérers sont installés dans la partie Ouest du bassin de l'arachide jusqu'à la petite côte depuis près d'un millénaire (Pélissier 1980). L'attachement à leurs terroirs les a conduits à mettre au point une agriculture intensive leur permettant de répondre aux besoins alimentaires importants qu'exige leur structure de population Les Wolof, au contraire, ont privilégié une agriculture extensive.

Un premier bilan peut être estimé ici quant à l'influence éventuelle de cette dichotomie caractéristique du bassin de l'arachide sur la répartition des rendements. Les Sérers sont caractérisés par des densités de population élevées et une agriculture intensive. Ils cultiveront donc de manière intensive et provoquent à terme un épuisement de la fertilité naturelle des sols, entraînant une baisse des rendements. Les Wolof, par contre, sont caractérisés par des densités de population plus faibles et une agriculture extensive. Ils travailleront donc moins la terre comparativement aux Sérers et cultivent moins de parcelles. Donc, d'un côté, ils permettent, par des jachères, à ce que la fertilité naturelle du sol se reconstitue mais pratiquent en outre une agriculture extensive ; leurs rendements ne devraient par conséquent pas être plus élevés que ceux des Sérers.

Les contrastes dans la répartition de la population sénégalaise sont largement l'héritage de l'histoire Mais, à cette particularité s'ajoute un phénomène nouveau dans l'histoire de la population sénégalaise : l'exode rural (voir figure III-10). Cette migration va principalement vers les villes, ce qui explique l'explosion urbaine par exemple de la densité de population du Cap Vert qui dépasse les 1800 habitants/km². Dakar et les grandes capitales régionales comme Saint-Louis, Thiès, Kaolack ou Ziguinchor ont une croissance démographique qui doit principalement à l'exode rural (Dubresson et al 1994). Le point qui nous intéresse

principalement dans cette discussion est que cette migration intéresse surtout les hommes qui émigrent quelques années et gardent toujours des liens étroits avec leurs familles : c'est une émigration essentiellement temporaire. Mais celle-ci laisse des familles qui sont alors principalement composées de femmes, d'hommes âgés et d'enfants. Il a en effet été remarqué lors des enquêtes de terrain que les hommes qui travaillaient dans les champs correspondent le plus souvent à cette frange de la population. Ce phénomène aura une conséquence directe sur le temps de travail qui pourra être consacré à la culture de l'arachide. Ce phénomène d'ailleurs généralisé à l'Afrique de l'Ouest (Wolff 1996) aura comme conséquence directe une diminution de la main d'œuvre et donc du temps de travail attribuable à la culture de l'arachide. Mais un tel phénomène pourra avoir des conséquences totalement différentes sur le comportement agricole de la population. Dans une région où la densité de population est plutôt faible, qui correspond au « pays wolof », où une agriculture extensive a lieu, une diminution de la main d'œuvre poussera les exploitants à augmenter le nombre de parcelles cultivées, particulièrement dans le cas où l'espace n'est pas un facteur limitant. Ce phénomène sera d'autant plus présent dans une région telle que le bassin de l'arachide qui est soumise à des conditions climatiques très sévères (voir carte des isohyètes du Sénégal dans le chapitre I). Avec une saison végétative atteignant parfois à peine une centaine de jours et une pluviométrie moyenne de l'ordre de 450 millimètres, chaque campagne agricole représente une manière de pari, où chaque récolte est un défi au caractère hautement aléatoire du climat. De nombreux exploitants n'hésitent pas à cultiver de l'arachide tout en sachant que ses rendements peuvent s'étaler de quelques 150 à 800 kg/ha. Derrière la faiblesse de la pluviométrie moyenne, il faut mettre l'accent sur l'irrégularité dramatique des pluies d'une année à l'autre et la redoutable incertitude de leur répartition (voir chapitre I • Le climat). Ainsi, les exploitants préfèrent semer des parcelles au risque d'atteindre des rendements très bas mais, ainsi, en s'assurant d'obtenir une production suffisante pour nourrir toute sa famille. La figure III-11 représente un terroir wolof caractéristique. Les villageois se partagent un espace comportant de vastes réserves de brousse et de jachères. Les traces du parcellaire sont symboliques car ils peuvent changer chaque année.

Dans une région où l'espace est un facteur limitant, dû à des densités de populations élevées et où une agriculture intensive est pratiquée, telle que dans le pays Sérér, il n'est pas possible d'augmenter considérablement le nombre de parcelles cultivées. La figure III-12 représente un terroir Sérér caractéristique. La pression sur la terre due à une densité de population élevée se caractérise de deux manières : la mise en culture de la quasi totalité du terroir villageois, les périmètres abandonnés à la brousse couvrant des sols incultivables. Alors qu'il y a une génération, le tiers des champs était en jachère et servait de pâture saisonnière au bétail, il n'y a plus de place pour celui-ci.

Ainsi, on est en présence de deux situations qui peuvent différencier fortement mais dont les conséquences sur les rendements peuvent ne pas être si différentes. En effet, dans le premier cas, le travail pour les cultures passé sur chaque parcelle diminue puisque le nombre de parcelles à cultiver augmente. Dans le deuxième cas, on rogne sur les jachères (quasi inexistantes) qui se raccourcissent. La reconstitution de la fertilité naturelle des sols diminue et donc les rendements diminuent également. La seule solution est d'intensifier le travail des cultures, ce qui n'est pas possible, faute de main-d'œuvre ; ce qui entraîne une diminution des rendements. Dans un cas comme dans l'autre, les rendements devraient diminuer ; cependant, il conviendrait d'estimer l'éventuel effet d'une diminution de travail sur les cultures ou d'une diminution de jachères sur les rendements.

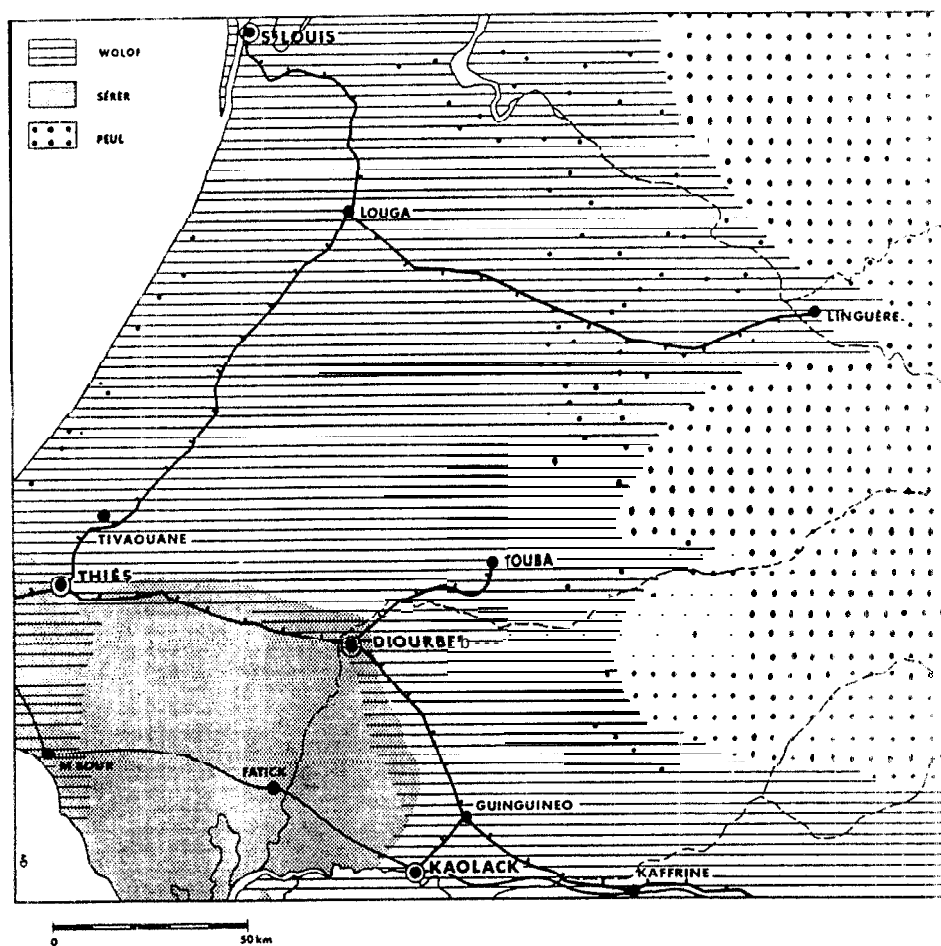


Figure III-7

Le partage ethnique du « bassin de l'arachide » (Pélissier 1969)

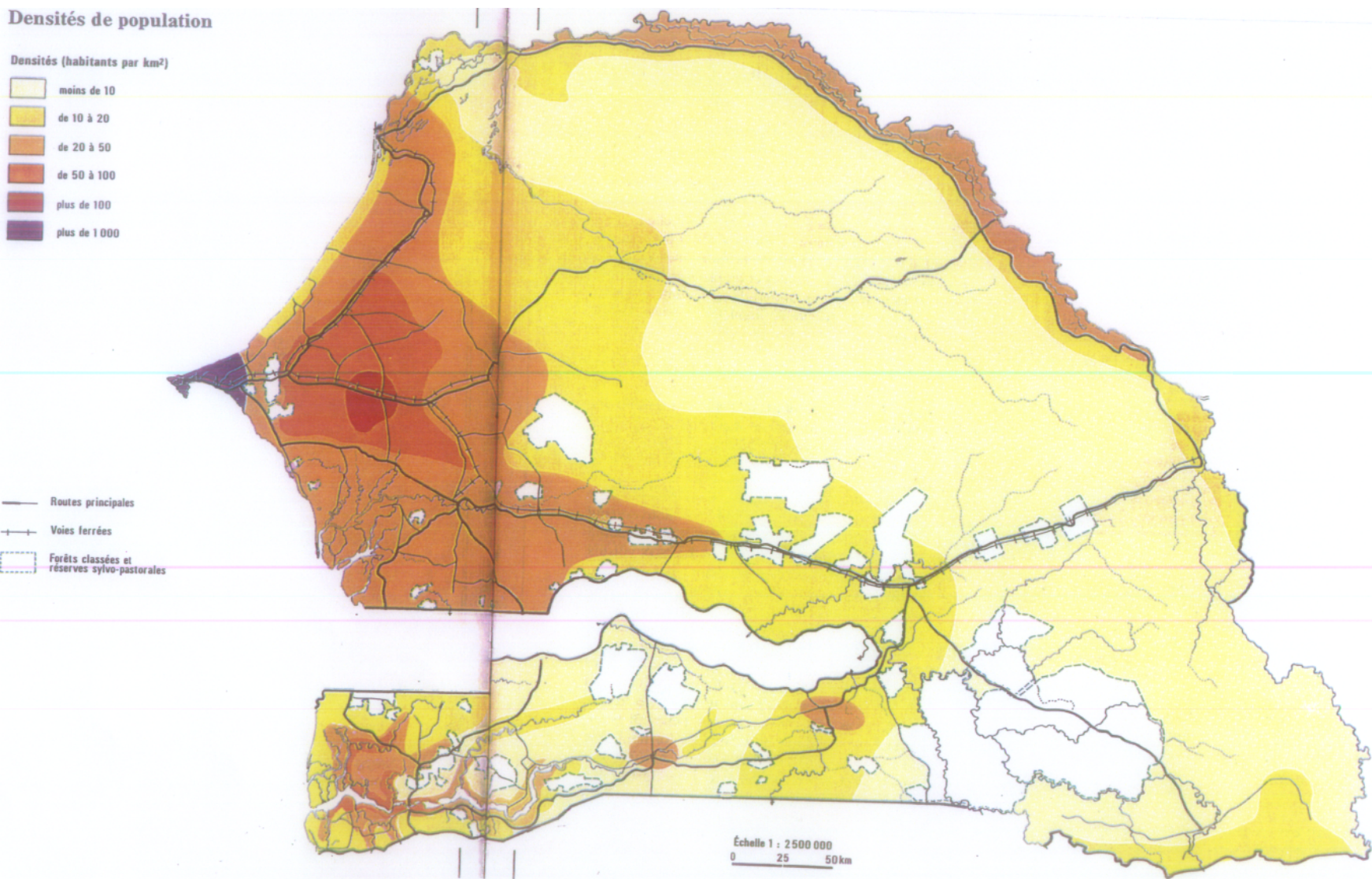


Figure III-8

Carte des densités de population du Sénégal (Pélissier 1980)

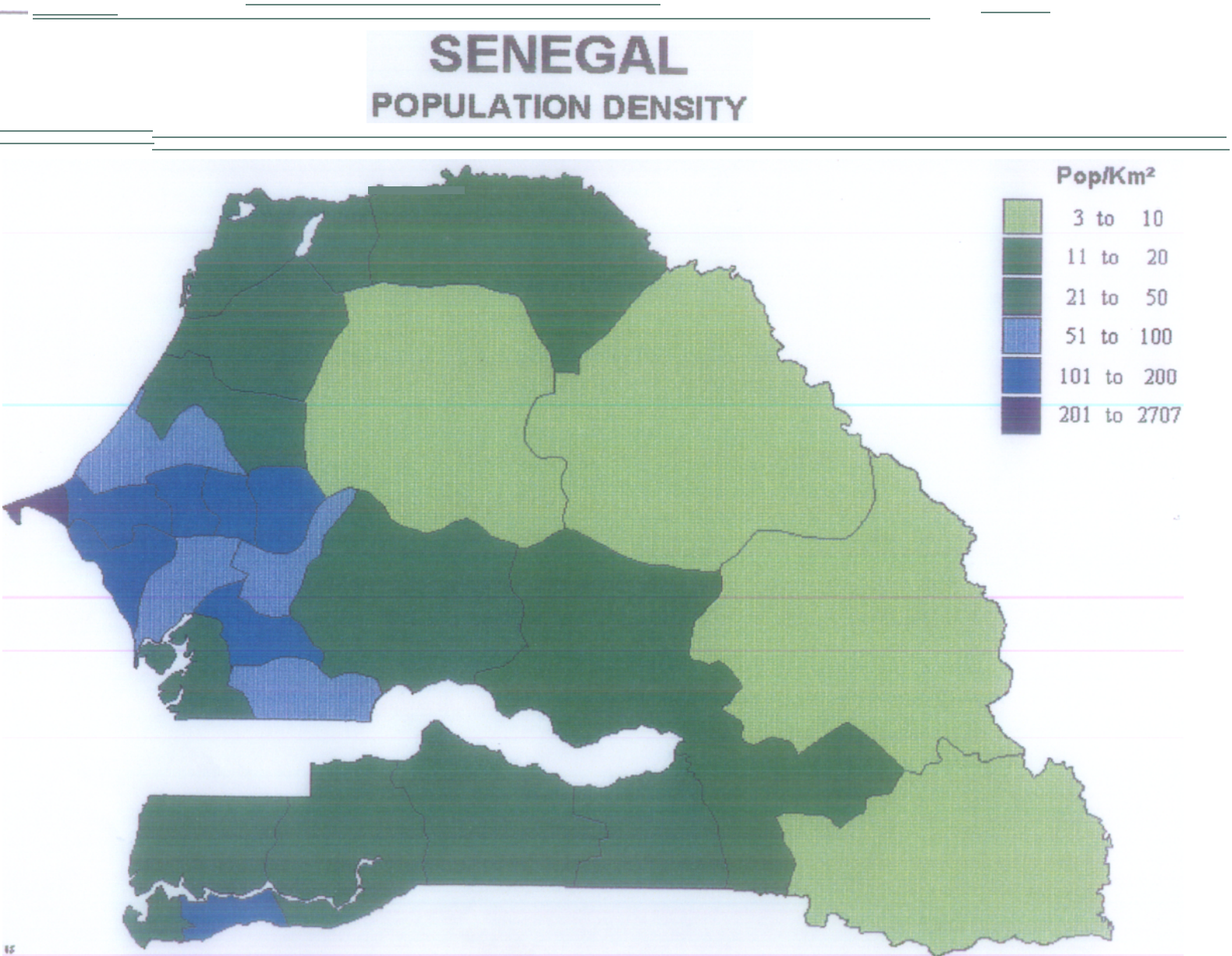


Figure III-9

Carte des densités de population (W.F.P.²⁵ 1996)

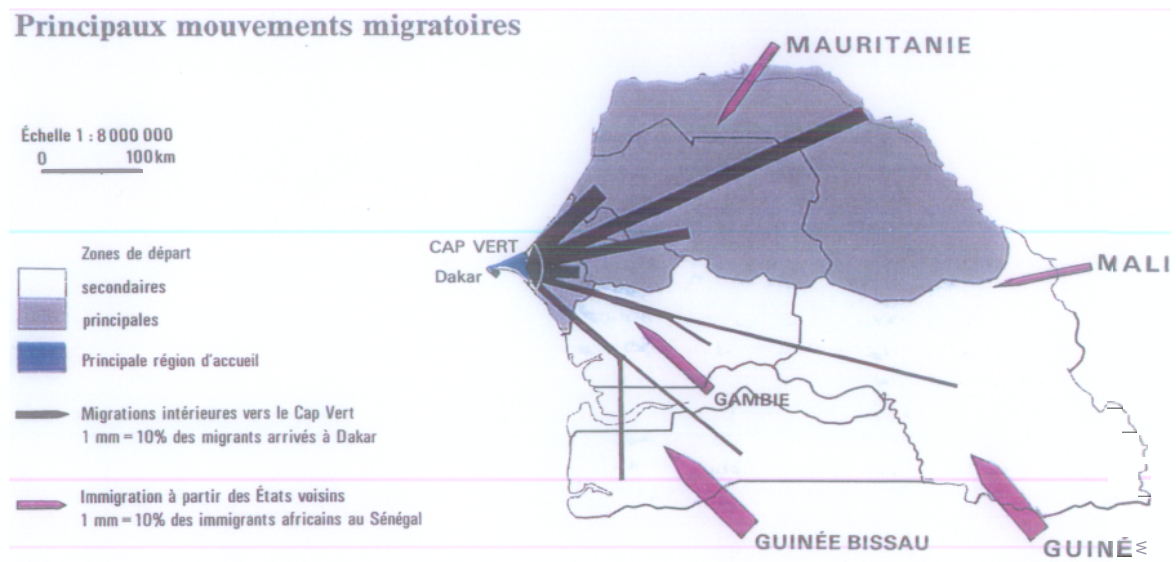
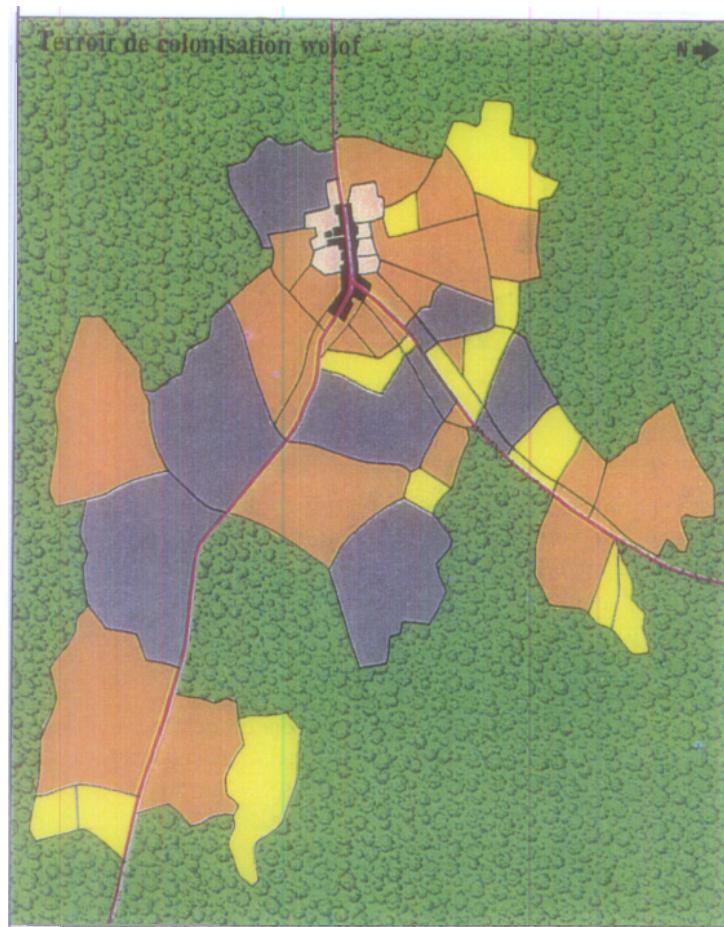


Figure III-10

Les principaux mouvements migratoires (Pélissier 1980)



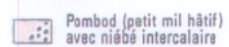
Terroirs



Terroir toucouleur



Terroir sérère



Terroir wolof



Terroir diola



Figure III-11

Terroir wolof caractéristique (Pélissier 1980)



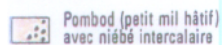
Terroirs



Terroir toucouleur



Terroir sérér



Terroir wolof



Terroir diola



Figure III-12

Terroir sérér caractéristique (Pélissier 1980)

(3) La distance **parcelle/ville** ou village

(a) *Introduction*

La distance parcelle • ville ou village influence directement le temps que passera le paysan sur %a parcelle et donc le temps qu'il pourra consacrer au travail du sol et à l'entretien de ses cultures. On peut **estimer** en moyenne le nombre d'heures de travail que requiert un hectare d'arachide avec les techniques culturales utilisées dans le centre Sénégal ; voir tableau III-3 (Gillier *et al* 1969).

Techniques culturales	Nb de travaux pour la culture de l'arachide en heures/ha
Préparation du terrain	30
Décorticage semence	70
Semis	95
Epannage d'engrais organique	70
Premier binage	50
Second binage	35
Arrachage	60
Mise en meule	20
Battage	50
Total	480

Tableau III-2

Nombre d'heures de travail correspondantes à
chaque étape de la culture de l'arachide dans le centre Sénégal

Toutes les parcelles échantillonnées dans le département de Diourbel sont encore **cultivées** selon des procédés traditionnels. On peut estimer d'ailleurs que septante cinq pour cent des cinq cents **mille** hectares d'arachide cultivés dans le monde sont également **cultivés** selon des procédés traditionnels. De telles pratiques culturelles demandent beaucoup de main d'œuvre ; une culture mécanique aux U.S.A. ne demande que 110 heures de travail par hectare environ, diminuant ainsi le temps de travail par un facteur égal à 4,4. Or, il est clair qu'un travail du sol et un entretien des cultures réguliers apportent une amélioration nette des **rendements** (Gillier 1959)

L'hypothèse suivante va être testée :

- **Plus** la distance parcelle-village est courte, plus l'intensité des pratiques culturelles est élevée et plus les rendements sont élevés.

(i) Méthode

Les parcelles sont recensées par données G.P.S. (voir partie A de ce chapitre) . les coordonnées géographiques du centre de chaque parcelle et des villages sont enregistrées dans Map Info. Les questionnaires réalisés dans la partie A de ce chapitre nous renseignent sur le nom du village de l'**exploitant** ; ainsi,, la distance entre la parcelle et le village peut être connue sur Map Info puisque tout y est géoréférencé. Un test de corrélation est alors appliqué aux données de rendements des unités A et B.

(ii) Résultats

La valeur obtenue pour r figure dans le tableau suivant :

r	0,048
Observations	156
Seuil de signification à 0.95	0.1946

Le **coefficient** de corrélation **n'est** pas significatif, ce qui indique que la distance parcelle au village n'influence pas significativement les rendements.

(iii) Discussion

A l'échelle étudiée pour les unités A et B, il est possible que la distance parcelle-village n'influence pas **significativement** les rendements dans le sens où toutes les parcelles sont assez proches du village de leurs exploitants : distance moyenne parcelle-village = 1,05 km. La position autour des parcelles autour d'un village pourrait cependant expliquer une diminution des rendements plus on s'éloigne de ce dernier. En effet, on peut s'attendre à ce que plus les parcelles sont proches, au plus celles-ci bénéficieront d'amendements organiques ou, au contraire, plus les parcelles sont éloignées, moins les paysans passeront du temps pour le **travail** des cultures. La conséquence directe devrait être une diminution des rendements au fur et à mesure que l'on s'éloigne des villages. Cependant, les unités A et B se situent à l'Ouest de Diourbel, dans la frange de territoire où il y a une transition progressive du « pays **wolofs** » vers le « pays Sérér » (voir point précédent : relation rendements-densité de population). Les **unités** A et B se situent même dans la région plutôt peuplée par des Sérér, où les densités de population sont élevées. On recense en effet 15 villages sur les deux seules unités A et B, c'est-à-dire sur une distance maximale de moins de 10 km de l'extrême N-E à l'extrême S-O de ces deux unités. L'hypothèse de départ devrait sans doute avoir plus de

signification si elle était testée en **région** essentiellement peuplée par des Wolof ou les densités de population seront plus faibles et les villages plus espacés.

(b) *Dans le département de Diourbel*

(i) Introduction

La ville de Diourbel est le centre administratif du département. Cette ville est reliée aux grandes villes avoisinantes par route et une ligne de chemins de fer la relie à Dakar vers l'Ouest, à Mbacké vers le Nord et à Kaolack vers le Sud. Son importance grandissante au sein du département peut influencer fortement le comportement agricole des exploitants. Dans cette partie du chapitre, cette influence sera discutée. L'hypothèse principale qui sera testée est la suivante

- la distance parcelle - ville influence significativement la répartition des rendements dans le département de Diourbel.

(ii) Méthode

Les parcelles ont été classées en fonction de la distance qui les sépare du centre de la ville de Diourbel

(iii) Résultats

Le graphique III-4 montre la relation entre les rendements et la distance des parcelles à la ville de Diourbel. Le tableau suivant indique les résultats du test de corrélation appliqué aux données de rendements et de distance à la ville de Diourbel :

Coefficient de corrélation = r	0,401
Coefficient de détermination = r^2	0,161
Observations	87
Seuil de signification à 0.99	0.3568

Le coefficient de corrélation est significatif. La régression explique 16.1 % de la variance totale. L'équation de la droite de régression est la suivante :

$$y = 0.0078 * x + 0.274$$

Le coefficient angulaire de la droite de régression indique que les rendements de l'arachide augmentent au plus on s'éloigne de la ville de Diourbel.

(iv) Discussion

Les résultats obtenus dans ce point du chapitre sont très importants. En effet, la régression calculée entre les rendements et la distance des parcelles à la ville de Diourbel explique 16.1% de la variance totale des rendements au sein du département. On observe bien sur le graphique III-S que les rendements augmentent au plus les parcelles sont éloignées de la ville de Diourbel. Deux facteurs semblent importants dans la discussion de ces résultats. Le premier correspond au mode d'intensification de l'agriculture dans le département de Diourbel. Il serait logique dans l'explication des résultats obtenus de supposer alors que l'agriculture serait d'autant plus intensive au plus on s'éloigne de la ville. Mais cette hypothèse semble peu probable. Premièrement, elle ne correspond pas à la distribution des densités de population décrite dans le point précédent (relation rendements-densité de population) ou le bassin de l'arachide est approximativement divisé en deux. D'autre part, il

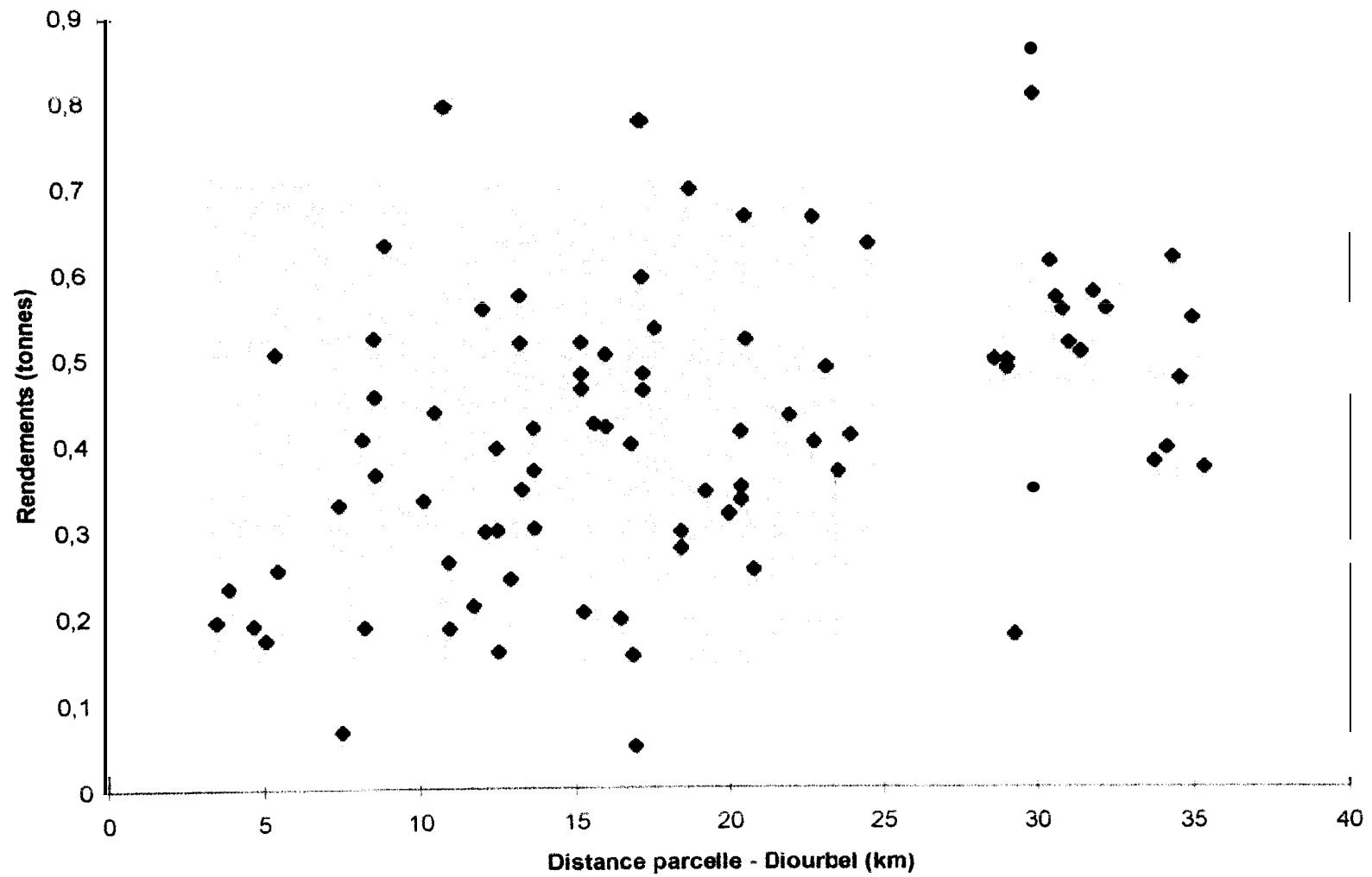
semblerait **plus** logique que ce soit la situation inverse qui devrait avoir lieu. En effet, de manière générale, il serait plus logique de postuler qu'une agriculture intensive ait lieu à proximité de la ville et une agriculture plutôt extensive au plus on s'éloigne de la ville. Ceci pourrait s'expliquer par une meilleure circulation de l'information dans une ville, **poussant** les agriculteurs à suivre de **façon** plus poussée les avancements des techniques **culturelles**, les amenant à intensifier leurs cultures.

Un second facteur semble être plus justifié. Il peut être lié à l'histoire de la colonisation des terres dans le bassin de l'arachide. L'extension de la **culture** de l'arachide **depuis** son introduction dans le Sénégal à la fin du siècle dernier (voir Chapitre I : L'arachide - **histoire**) exigeait la mise en place d'un réseau de transport pour acheminer la production **jusqu'aux** ports d'exploitation. En 1885, le chemin de fer de Dakar-St-Louis est inauguré ; les gares deviennent les principaux points de groupage et de traite du Cayor. Ensuite, l'**arachide** progresse avec la construction de la ligne de chemin de fer Dakar-Niger, qui **atteint** Diourbel en 1908, Gossas et Guinée en 1910, **Kaffrine** et Kaolack en 1911, Kounghoul en 1913 (voir figure III-13 Extension du chemin de Fer dans le bassin de l'arachide). La culture marchande, qui ne couvrait que de petites zones à portée des points de traite situés sur la côte et les estuaires, peut s'étendre alors sur des régions entières à l'intérieur. Un nouveau bond est permis par la construction des lignes Louga-Linguère et Diourbel-Touba **achevées** en 1931 (Pélissier 1980).

Le chemin de fer est donc bien à l'origine de l'extension rapide des superficies cultivées dans le centre-Ouest du Sénégal, puis progressivement vers l'intérieur. Cette extension rapide a été poussée par la colonisation à son début, puis a été dynamisée par l'impulsion de la confrérie **Mouride**²⁶, lancée à l'assaut du front pionnier des terres neuves dans les années 1930 (Dubresson et al 1994). Cette extension a eu des conséquences importantes sur l'environnement et dans l'histoire de la population sénégalaise. La culture de l'**arachide** a étendu et unifié l'espace régional. Elle a fait reculer les jachères et les friches sur les terroirs et les friches sur les terroirs anciens, jusqu'à y créer des tensions foncières et provoquer l'**épuisement** des terres. On peut voir sur la figure III-14 l'extension du bassin de l'arachide depuis le début du siècle. C'est donc bien à partir de l'extension du réseau ferroviaire que le bassin de l'arachide s'est étendu vers le Nord(vers Touba), vers le Sud (vers **Kaolack**) puis vers l'Est. Ainsi, dans le département deux tendances bien nettes se dessinent à partir de : Diourbel : une expansion de la population vers le **Nord** et vers le Sud depuis le début du siècle. L'hypothèse principale dans cette discussion est que cette expansion du bassin de l'**arachide** a été réalisée assez lentement depuis le **début** du siècle pour que s'installe progressivement **une différence** significative de la répartition spatiale de l'épuisement des terres à l'échelle du département. À proximité de Diourbel, les terres devaient être cultivées depuis plus longtemps que celles qui sont de plus en plus éloignées de cette ville. Cette hypothèse reste probable lorsqu'on observe la situation actuelle dans la région appelée « les Terres Neuves » situées à l'Est de Diourbel (voir **figure** 111-13). La terre n'y manque pas, ce qui laisse la possibilité aux exploitations familiales de s'installer sur des terres encore peu **épuisées** du point de vue de leur fertilité naturelle. Ainsi, la conséquence directe serait une diminution de la fertilité naturelle des terres au plus on se rapproche de Diourbel en venant du Nord, du Sud et de l'Est, avec une diminution des rendements dans le même sens qui en découlerait.

²⁶ **Mourides** (en arabe : « aspirants » ou « novices »), principalement des **Wolof**, sont les disciples du marabout Amadou Bamba, à la fois saint homme, apôtre et militant **politique**. Cette confrérie dynamique, apparue au XIXe siècle, joue un **rôle** vital dans l'économie et la politique du pays

Rendements d'arachide dans le département en fonction de la distance à la ville de Diourbel



Le Bassin de l'Arachide

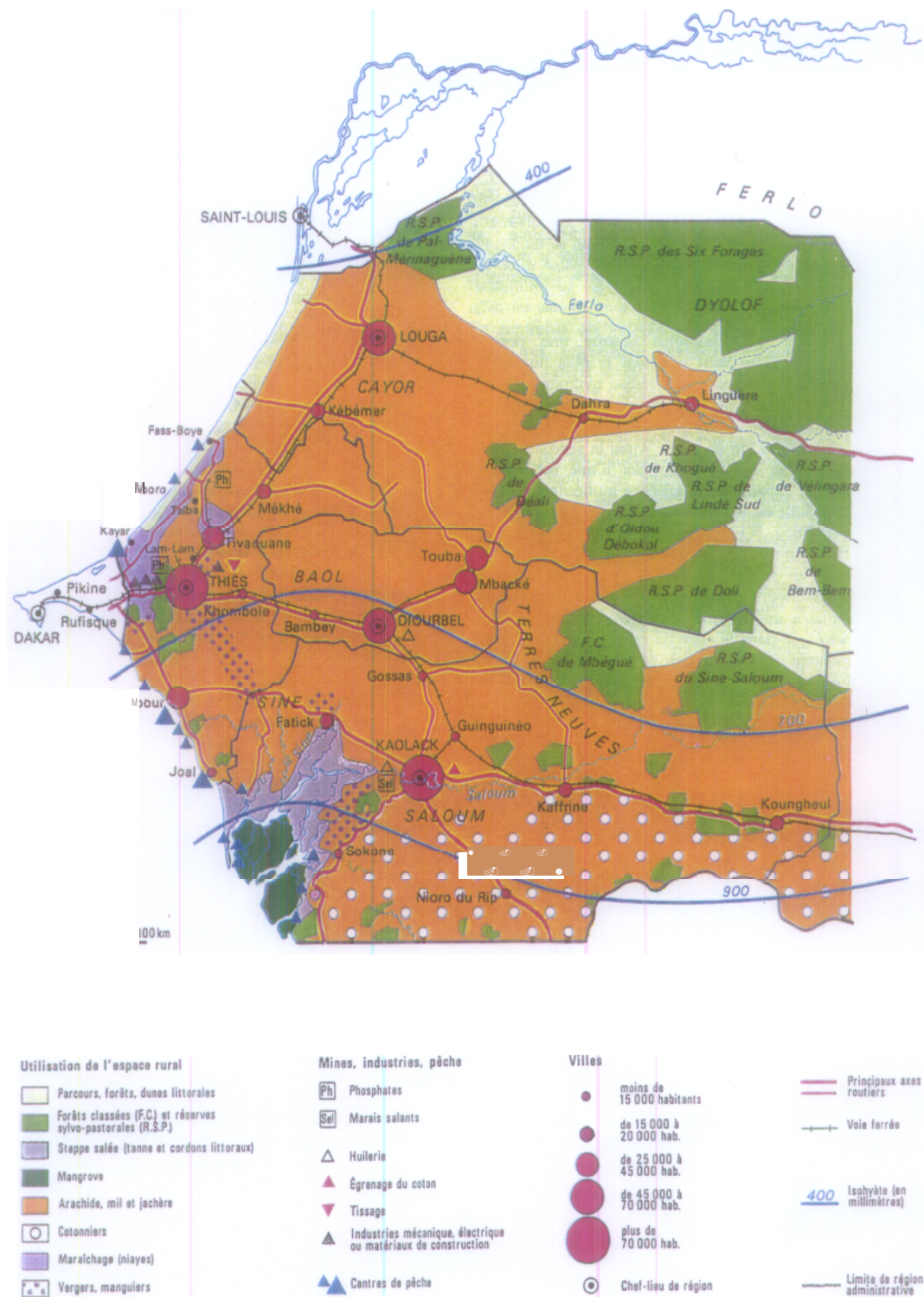


Figure III-13

Extension du chemin de fer dans le bassin de l'arachide (Pélissier 1980)

L'expansion du Bassin de l'Arachide depuis le début du siècle

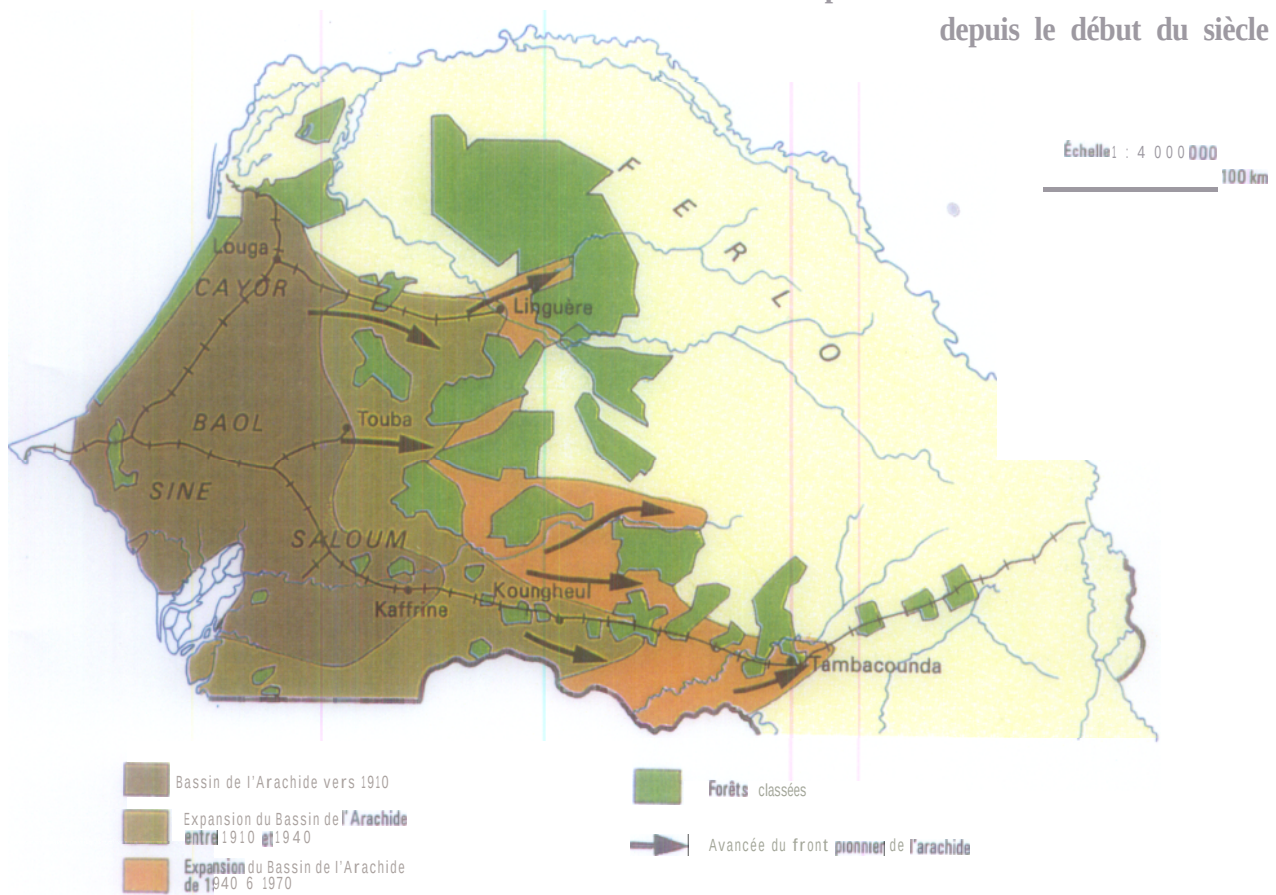


Figure III-14

L'expansion du bassin de l'arachide depuis le début du siècle (Pélissier 1980)

c) Influence des techniques culturales sur les rendements

(1) Le semis

(a) La densité de semis

La quantité de graines à employer à l'hectare est fonction de la variété et de la densité de semis. La variété 55-437 est utilisée à l'unanimité dans les unités A et B et dans toutes les parcelles échantillonnées du département de Diourbel ; elle a fait l'objet de nombreuses études (Forestier J. 1973, Vieira Da Silva 1988, Beyaloum 1994, Bockelee-Morvana 1983, ..). Il s'agit d'une variété hâtive et doit être semée à des densités élevées de 140.000 à 180.000 graines à l'hectare pour tenir compte d'un cycle court et de son faible développement foliaire. A travers les différentes enquêtes menées auprès des agriculteurs, il a été constaté qu'il est difficile de connaître avec précision la densité de semis appliquée sur une parcelle. Les semoirs généralement utilisés sont des semoirs monorangs à traction animale (âne, cheval, ..). Le semoir dépose les graines une à une à la profondeur désirée dans un sillon préalablement ouvert par un soc semeur. Le système de prélèvement des graines dans la trémie est un système à alvéole. Les semoirs standards ne satisfont que très rarement les agriculteurs qui adaptent le matériel à leurs besoins en ajoutant des trous au disque, ce qui augmente la densité de semis.

(b) La profondeur de semis

La profondeur de semis ne doit pas dépasser 5 cm ; au-delà, la graine épuise ses réserves à pousser les cotylédons à la surface du sol sans avantage pour l'implantation de la plante. La profondeur optimum est de 3 cm, à condition que le sol soit suffisamment humide.

(c) La date de semis

(i) Introduction

La date du semis de l'arachide est déterminée par le cycle végétatif de la plante qui doit se situer au moment le plus favorable en fonction des facteurs climatiques (température et pluviométrie principalement : voir point III.C.2). Dans les conditions naturelles qui prévalent dans le « bassin de l'arachide », on a intérêt à semer l'arachide le plus tôt possible au début de la saison des pluies. Cependant, certaines pluies précoces et isolées dans le temps peuvent induire l'exploitant à semer trop tôt. Les semis précoces sont nécessaires pour l'arachide même si elle doit subir des à-coups de sécheresse en début de végétation, les semis tardifs entraînant des pertes importantes par rapport à la date optimum. Les semis précoces sont également moins parasités que les semis tardifs (Gillier 1969). En zone Soudano-sahélienne, les semis se font aux premières pluies, lorsque le sol est mouillé sur environ 30 cm. Ceci correspond à une précipitation d'environ 25 mm ou à deux précipitations rapprochées totalisant environ 30 mm lorsque les pluies sont bien établies ; en cas contraire, une pluie de 50 mm est indispensable (M.C.D.²⁷ 1993).

Les données de rendement ont été classées par rapport aux dates de semis par classes de 1 semaine : du 15/05/96 au 30/08/96. Cinq dates de semis rassemblent l'entièreté des données. La majeure partie des paysans ont semé leurs parcelles les semaines du 30 juillet et du 07 août. Ces dates sont assez tardives ; mais cela est dû au retard qu'a pris la saison des pluies en

²⁷ Ministère de la Coopération et du Développement français

1996. Certains paysans ont osé de semer aux premières pluies de juin et de début juillet. Les derniers ont semé après les pluies du 15 août.

(ii) Résultats

(a) relation rendements - date de semis

Un test ANOVA a été réalisé afin de tester si la date de semis influence significativement les valeurs de rendement.

H_0 = égalité des moyennes

Dates de semis	Nombre de parcelles	Moyenne des rendements (tonnes/ha)	Variance des rendements
15-juin	5	0,765	0,162
7-juil	4	0,424	0,0255
30-juil	58	0,467	0,0402
7-août	90	0,407	0,0309
15-août	24	0,271	0,0248

Tableau de l'ANOVA

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Intergroupes	1,428	4	0,204	5,52	9,0004E-06	2.06
Intragroupes	6,687	176	0,0370			
Total	8,115	180				

Le test ANOVA indique que les rendements varient significativement en fonction des dates de semis.

(b) relation date de semis - croissance des plantes d'arachide

La date de semis influence les rendements du fait qu'elle détermine directement les dates auxquelles la plante sera exposée aux pluies ou aux sécheresses au cours de son développement. Le tableau III-3 montre à quel point les dates de semis peuvent varier ; en gras est indiqué le nombre de jours de croissance des plantes aux différentes pluies qui ont eu lieu entre le 11/08 et le 17/10/96.

Tableau III-3

	Pluies observés dans les unités A et B	11 au 16/08	19/08	21 au 24/08	05 au 07/09	10/09	16 au 17/09	20/09	23 au 24/09	27/09	01 au 03/10	10/10	17/10
Dates de semis	Nombre de parcelles	Nombre de jours de croissance											
15/06	5	57	60	66	81	85	91						
07/07	4	35	38	44	59	63	69	73	76	80	84	91	
30/07	58	12	16	22	37	41	47	51	54	68	72	79	86
07/08	90	5	8	14	29	33	39	43	46	50	54	61	68
15/08	24	1	4	7	22	26	32	36	39	43	46	54	61

(i) *relation rendements • pluviosité totale effectivement tombée durant la croissance des plantes d'arachide*

La quantité de pluie qu'une plante reçoit au cours de son développement dépend de sa date de semis et de la position géographique de la parcelle. On peut dès lors tester le coefficient de corrélation entre les rendements et la quantité de pluie totale qu'ont reçu les plantes au cours de leur développement. Le test ci-dessous (ainsi que les trois tests du point (b) qui surventj est réalisé de la même manière que dans le point « influence des facteurs climatiques : régime hydrique » : toutes les parcelles des unités A et B sont prises en compte, on attribue à une parcelle la valeur de pluviométrie du site pluviométrique le plus proche. Le tableau suivant indique les résultats obtenus :

Coefficient de corrélation	0,0901
Observations	181
Seuil de signification à 0.95	0.1946

Le coefficient de corrélation n'est pas significatif, ce qui indique que la corrélation rendements-pluviométrie totale n'est pas significative.

Les données pluviométriques utilisées dans le test ci-dessous sont issues de deux sources. En effet.. les données pluviométriques n'ayant pu débuter que le 11 août 1996, ces données ne sont pas connues pour les parcelles ayant été semées avant cette date. Ainsi, les données pluviométriques inconnues ont été complétées à l'aide des données moyennes mensuelles obtenues à Diourbel entre 1978 et 1983 (données : voir paragraphe « résultats » du point « Le régime hydrique » : voir III.B.2) de la manière suivante (USAID/RSI, 1984 (1)) :

- **15/06/96** : le 11/08/96, date de début de la campagne de mesure de la pluviométrie sur les unités A et B, les plantes d'arachide ont crû pendant 57 jours, durant lesquels la pluviométrie est inconnue pour la saison de culture 96. Les données USAID/RSI indiquent que la pluviométrie moyenne pour les mois de juin, juillet et août égalent respectivement 8, 64 et 187 mm. La pluviométrie moyenne sur les 18 pluviomètres pour le mois d'août est égale à 137 mm. On a rajouté aux données de pluviométrie pour les parcelles semées le 15/06/96 : 8 mm (= pluviométrie estimée pour le mois de juin) + 64 mm (= pluviométrie estimée pour le mois de juillet) + 50 mm (= $187 - 137$ = pluviométrie estimée pour les 11 premiers jours du mois d'août) = 122 mm.
- **07/07/96** : le 11/08/96, les plantes d'arachide ont crû pendant 35 jours. On a rajouté 50 mm ($= \frac{21 \text{ jours}}{31 \text{ jours}} * 64 \text{ mm} =$ pluviométrie estimée pour le mois de juillet) + 50 mm (= pluviométrie estimée pour les 11 premiers jours du mois d'août =) = 100 mm pour les parcelles semées le 07/07/96.
- **30/07/96** : le 11/08/96, les plantes d'arachide ont crû pendant 12 jours. On a rajouté 50 (= $187 - 137$) mm pour les parcelles semées le 30/07/96.
- **07/08/96** : le 11/08/96, les plantes d'arachide ont crû pendant 6 jours. On a rajouté 25 ($= \frac{187 - 137}{2}$) mm pour les parcelles semées le 07/08/96.
- **15/08/96** : les données n'ont pas dû être complétées car le cycle de la plante recouvre entièrement la période durant laquelle la pluviométrie a été enregistrée.

(ii) **relation rendements - pluviosité effectivement tombée durant les différentes phases de croissance des plantes d'arachide**

- Période du **50^e** au **80^e** jour de croissance des plantes :

Comme cela a déjà été dit dans le point III.C.2, la période la plus critique du point de vue de la résistance de la plante face à la sécheresse au cours de son développement correspond au stade entre le 50^e et le 80^e jour, soit à l'époque de la forte floraison. Le test suivant va permettre d'étudier l'influence de la pluviométrie lors de cette période critique sur les rendements en fonction de la date de semis pour les différentes parcelles étudiées.

La valeur de coefficient de corrélation « r » obtenue figure dans le tableau suivant

r	0,221
Observations	181
Seuil de signification à 0.95	0.1946

Le coefficient de corrélation est significatif. Le graphique III-5 montre la relation entre les rendements et la pluviométrie tombée entre les 50^e et 80^e jours de croissance des plantes. L'équation de la droite de régression est la suivante :

$$y = 0.0019 * x + 0.265$$

Il y a donc une corrélation significative entre les rendements et la pluviométrie tombée entre le 50^e et le 80^e jour de croissance des plantes (pour $\alpha \approx 0.05$). Il est également possible de connaître quel pourcentage de la variance totale de l'échantillon explique la régression $r^2 * 100$ $r^2 \approx 0.049$. Ainsi, la régression explique 4.9 % de la variance totale des rendements dans les unités A et B.

Le même test est ensuite appliqué aux trois autres périodes critiques : 10^e au 30^e jours de croissance, 30^e au 50^e jours de croissance et 80^e au 90^e jours de croissance (voir point III C 2 facteurs climatiques - régime hydrique). Les données ont été corrigées de la même manière que pour le test précédent. Les résultats figurent dans les tableaux ci-dessous :

- Période du **10^e** au **30^e** jours de croissance des plantes :

r	0,148
Observations	181
Seuil de signification à 0.95	0.1946

Le coefficient de corrélation n'est pas significatif, ce qui indique qu'il n'y a pas de relation significative entre les rendements et la pluviométrie tombée entre les 10^e et 30^e jours de croissance des plantes.

- Période du **30^e** au **50^e** jours de croissance des plantes :

r	0,133
Observations	181
Seuil de signification à 0.95	0.1946

Le coefficient de corrélation n'est pas significatif, ce qui indique qu'il n'y a pas de relation significative entre les rendements et la pluviométrie tombée entre les 30^e et 50^e jours de croissance des plantes.

- Période du 80^e au 90^e jours de croissance des plantes :

r	0.283
Observations	181
Seuil de signification à 0.99	0.2540

Le coefficient de corrélation est significatif, ce qui indique qu'il y a bien une relation significative entre les rendements et la pluviométrie tombée entre les 80^e et 90^e jours de croissance des plantes (pour $\alpha = 0.01$). La valeur du coefficient de détermination (r^2) indique que la régression explique 8 % de la variance totale des rendements dans les unités A et B.

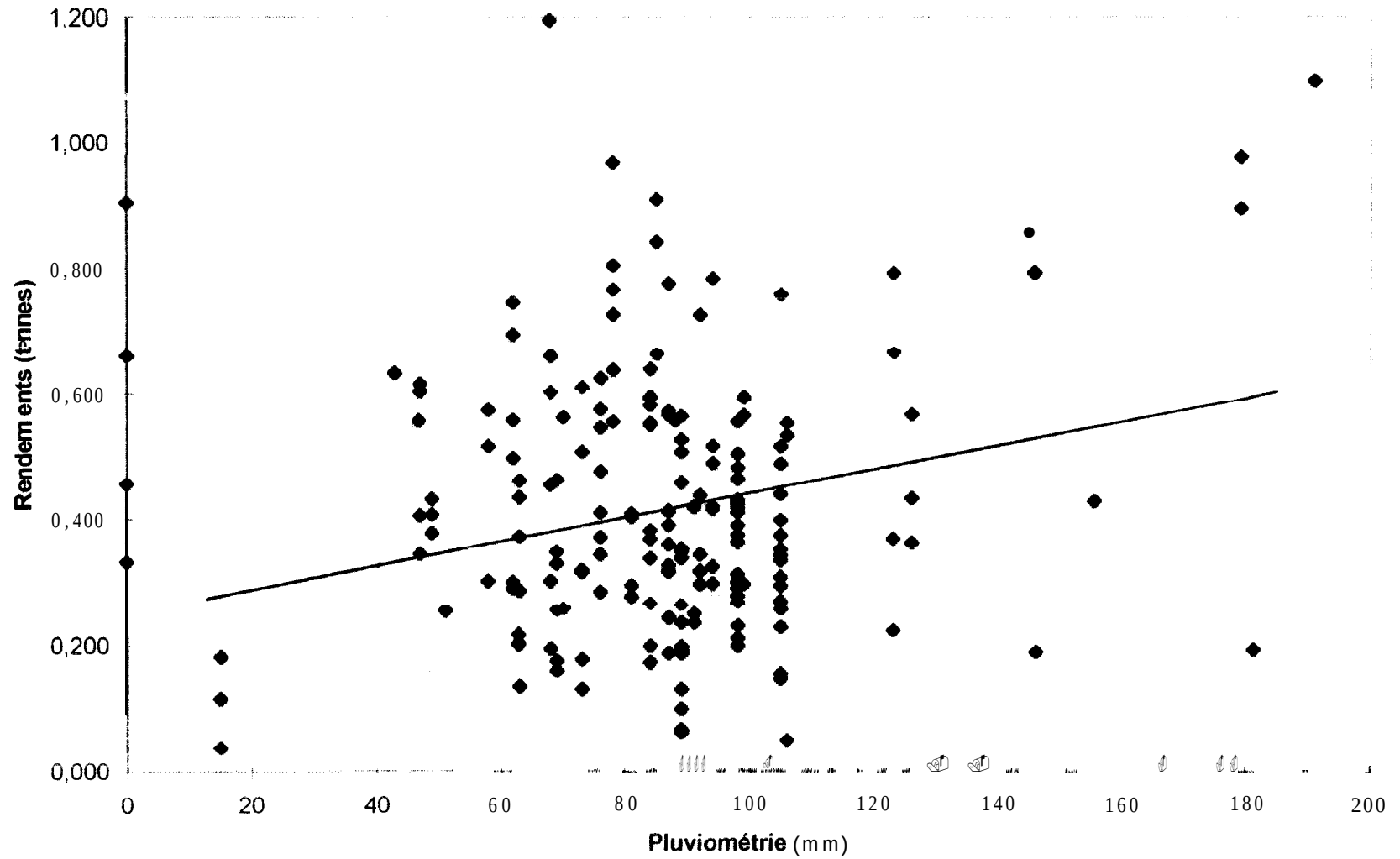
Le graphique III-7 montre la relation entre les rendements et la pluviométrie tombée entre le 80^e et le 90^e jours de croissance des plantes. L'équation de la droite de régression est la suivante :

$$y = 0.0039 * x + 0.388$$

(iii) Discussion

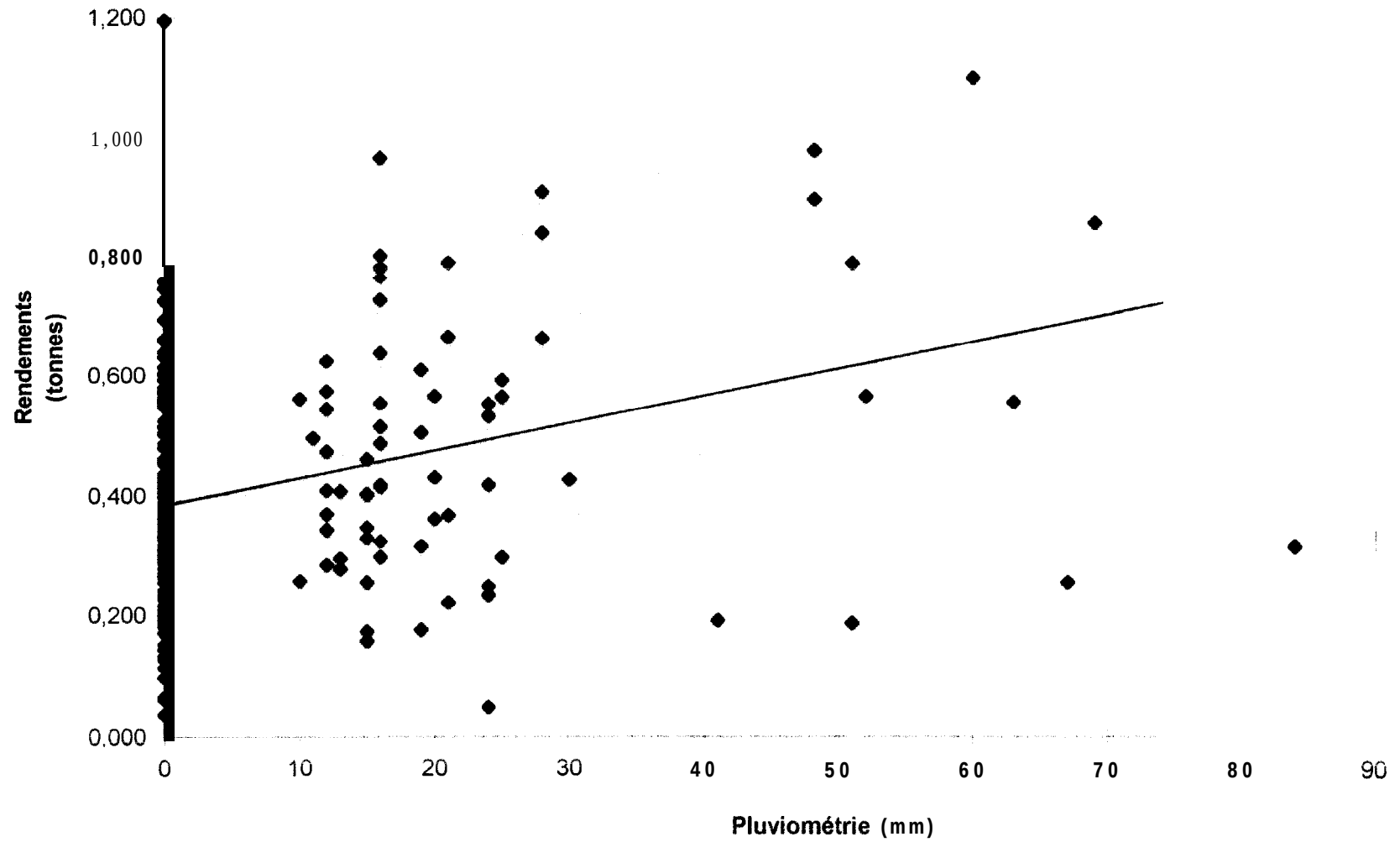
Deux tests indiquent une relation significative entre les rendements et la pluviométrie effectivement tombée durant la croissance des plantes d'arachide. Ils correspondent aux tests effectués pour les périodes du 50^e au 80^e jours de croissance et du 80^e au 90^e jours de croissance. Les valeurs du coefficient de corrélation sont assez proches dans les deux cas mais c'est la pluviosité tombée entre les 80^e et 90 jours qui correspond au facteur le plus significatif des deux. Gillier *et al* soulignent en effet qu'il est possible que la pluviométrie tombée en fin du cycle végétatif des plantes d'arachide influence significativement les rendements (Gillier *et al* 1969).

Rendements - pluviométrie tombée entre les 50e et 80 jours de croissance des plantes d'arachide



Graphique 6

Rendements en fonction de la pluviométrie tombée entre les 80e et 90e jours de croissance des plantes d'arachide



(2) Les rotations

Lors des enquêtes réalisées dans le département de Diourbel, il a été remarqué que certains agriculteurs pratiquent dans certains cas la culture de l'arachide en association avec une autre plante le niébé. En effet, dans ce cas, le cultivateur veut prendre une assurance contre les calamités agricoles et applique ce type de culture selon une technique particulière en lignes alternées. Cependant, ce cas semble être assez rare et aucune parcelle échantillonnée ne présente une telle technique culturale. La technique la plus utilisée reste la rotation. Il a été prouvé que l'alternance des cultures est favorable au maintien des rendements de l'arachide, la nature du précédent cultural influençant significativement les rendements de l'arachide (Gillier et al 1969). La rotation arachide - graminée - arachide suivie d'une jachère de durée variable est recommandée. Deux graminées alimentaires sont cultivées dans le département de Diourbel : le mil et le sorgho. Cependant, le mil reste la principale graminée cultivée dans le département de Diourbel, plus apprécié que le sorgho pour l'alimentation humaine. Toutes les parcelles échantillonnées ont subi une rotation.

(a) Dans les unités A et B

Un test ANOVA appliqué aux données de rendements des unités A et B en fonction des précédents culturaux ; les précédents culturaux étant le mil, la jachère et le niébé.

Précédent cultural	Nombre de parcelles	Moyenne des rendements (tonnes/ha)	Variance des rendements
Mil	140	0,428	0,0509
Niébé	7	0,352	0,00274
Jachère	35	0,426	0,0249

Tableau de l'ANOVA :

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Intergroupes	0,038	2	0,019	0.434	0,648	2.33
Intragroupes	7,934	179	0,044			

Ce tableau indique qu'il n'y a pas de relation significative entre les rendements et le précédent cultural. Le même test effectué avec deux groupes : mil et niébé ou mil et jachère ou niébé et jachère n'indique pas d'influence significative du précédent cultural sur les rendements.

(b) *Dans le département de Diourbel*

Un test ANOVA est appliqué aux données de rendement dans le département de Diourbel en fonction de deux précédents culturaux : mil et jachère (seuil de signification = 0,1).

Les deux tableaux suivants indiquent les résultats obtenus :

Prcédent cultural	Nombre de parcelles	Moyenne des rendements (tonnes/ha)	Variance des rendements
Mil	39	0,411	0,0291
Jachère	7	0,549	0,0266

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Intergruppes	0,113	1	0,113	3,930	0,0537	2,823
Intragruppes	1,264	440,0287				

Le test indique qu'il existe une influence significative du précédent cultural sur les rendements.

(c) *Discussion*

Les rotations peuvent avoir un effet positif sur les rendements ; cependant, ce sont souvent plus des raisons économiques qu'agronomiques qui font choisir telle ou telle rotation. Les données du département de Diourbel permettent de souligner l'effet positif de la jachère sur les rendements.

(3) *La préparation du sol*

Une bonne préparation du sol est nécessaire pour retarder le développement des adventices, surtout lorsque le **précédent** cultural est une plante salissante (dans le cas de jachère ou plante non sarclée), pour **ameublir** le sol et faciliter la pénétration de l'eau et des racines. Elle constitue un des facteurs essentiels du profil cultural (Gillier et *al* 1969). La technique la **plus** utilisée à **Diourbel**, mais aussi pour la préparation traditionnelle du sol en Afrique en général, se limite à brûler le couvert végétal et à pratiquer une façon superficielle avec un instrument léger (iler, daba). Toutes les parcelles échantillonnées ont subi ce type de traitement et l'étude de son influence sur les rendements par rapport à d'autres techniques de préparation du sol ne peut **être réalisée** dans le présent travail.

(4) La fumure

(a) introduction

L'arachide ne répond aux engrais que s'il y a une déficience minérale bien marquée. Elle a une faculté très développée d'utilisation d'éléments minéraux disponibles, ce qui lui permet de pousser dans des conditions considérées comme très difficiles (où d'autres plantes ne peuvent se développer). Il y a un risque important d'épuisement des sols dans le bassin de l'arachide dû à une application de fumure quasi inexistante (voir point relation rendements-distance à la ville de Diourbel). Seulement 20 % des cultures d'arachide dans le monde reçoivent une fumure minérale directe. La fumure minérale n'a pas été pratiquée dans les unités A et B et elle ne l'est que très rarement dans le département de Diourbel.

(b) Dans les unités A et B

La fumure par épandage de matière organique n'est pas non plus généralisée : on a épandu de la fumure organique sur 22 parcelles seulement dans les unités A et B. Un test ANOVA a été appliqué sur les données des unités A et B :

Fumure	Nombre de parcelles	Moyenne des rendements (tonnes/ha)	Variance des rendements
Fumure organique	22	0,422	0,0503
Pas de fumure	168	0,422	0,0423

Tableau de l'ANOVA 4 :

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique
Intergroupes	5,11E-07	1	5,10E-07	1,18E-05	0,997	3,89
Intragroupes	8,13	188	0,0432			

Le test ANOVA indique qu'il n'y a pas d'influence significative de l'application de matière organique sur les rendements. On observe, en effet, les mêmes moyennes entre les parcelles; sur lesquelles de la fumure organique a été épandue et celles sur lesquelles où rien n'a été appliqué.

(c) Dans le département de Diourbel

Seules 5 parcelles sur 46 ont reçu de la fumure organique. Un test ANOVA a été appliqué aux données de rendement du département de Diourbel :

Fumure	Nombre de parcelles	Moyenne des rendements (tonnes/ha)	Variance des rendements
Fumure organique	5	0,437	0,0109
Pas de fumure	41	0,429	0,0326

Tableau de l'ANOVA :

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Intergroupes	0,000271	1	0,000270	0,00883	0,926	4,06
Intragroupes	1,349	44	0,0307			

Le test ANOVA indique qu'il n'y a pas d'influence significative de l'application de fumure organique sur les rendements.

(5) La variété

La classification de l'arachide basé sur le système de ramification remonte en 1951 par Gregory (Gregory *et al* 1951). De nombreuses études ont lieu dans le département de Diourbel pour l'amélioration et l'adaptation de l'arachide aux conditions Sahéliennes (Bockelee-Morvana 1983, Vieira Da Silva 1988, Annerose 1990, Beyaloum 1994, Marone 1994,...). De nombreuses variétés sont à l'étude et sont commercialisables à Bambey (comme la fleur 11 par exemple,...). Cependant, leur prix est souvent inabordable pour les agriculteurs. La variété 55-437 est la variété la plus répandue dans le département de Diourbel et est la seule utilisée dans les unités échantillonnées de l'ensemble du département. La caractéristique principale de la 55-437 est sa grande résistance à la sécheresse. C'est une variété hâtive de type Spanish : son cycle de 90 jours est donc bien adapté à la durée de la saison humide au Sénégal.

d) Conclusion

L'analyse des facteurs explicatifs de la variation des rendements de l'arachide dans le département de Diourbel permet de mieux comprendre la situation de la culture de cette légumineuse dans la zone étudiée. Ce chapitre a permis de mieux cerner les facteurs physiques, humains et les techniques culturelles qui caractérisent le milieu de la zone étudiée.

1. les facteurs édaphiques : les sols dior représentent la majeure partie des classes pédologiques dans le département de Diourbel en terme de recouvrement en superficie. 11 recouvrent en effet plus de 85 % de la surface du département. Ces sols ferrugineux tropicaux ont en commun une texture sablonneuse ; ils sont meubles et perméables, ont une faible rétention de l'eau, un lessivage vertical important des éléments en fuit vers les horizons profonds et une rapide minéralisation de la matière organique les caractérise. Ils sont caractéristiques des sols de culture de l'arachide.

Un autre type de sols a été recensé. Ce sont des sols du type dek. Ces sols recouvrent moins de 15 % du département en superficie et sont moins adaptés à la culture de l'arachide.

2. parmi les facteurs climatiques, l'influence de la température et de la pluviométrie sur les rendements a été étudiée. Les températures moyennes dans le département de Diourbel varient de 21 à 38 °C et ne constituent pas un facteur limitant pour les rendements de l'arachide, culture pour laquelle les températures optimales varient de 25 à 35 °C.

La répartition dans le temps de la pluviométrie lors de la campagne agricole 1996 témoigne de l'irrégularité des pluies dans le département de Diourbel. Les pluies n'ont commencé que très tardivement (fin juillet) après de faibles pluies précoces et isolées en juin et début juillet. Cependant, la pluviométrie totale tombée durant tout l'hivernage correspond aux normes saisonnières. La pluviométrie moyenne faible et son irrégularité

d'une année à l'autre ou au sein de la même saison constituent le facteur **limitant principal** des rendements de l'arachide dans le bassin de l'arachide.

3. Deux facteurs humains principaux ont été analysés : la densité de population et la **distance** parcelle-ville ou **village**. Les cartes de densité de population dans le département de Diourbel à disposition ne sont pas assez précises pour être **cartographiées** à l'échelle de la **zone** étudiée. Cependant, il est **établi** qu'à l'échelle du bassin de l'arachide, il est grossièrement **divisé** en deux grandes « régions ethniques » ; division à laquelle correspond une répartition **caractéristique** des densités de population. Cette **séparation** ethnique fondamentale entre Sérér et Wolof prend naissance dans l'espace au niveau du département de Diourbel, La partie Ouest du bassin de l'arachide est principalement peuplée de Sérér dont les densités de population atteignent les niveaux les plus élevés du **Sénégal**. Ils sont également caractérisés par une **agriculture** intensive typique **devant répondre** aux besoins alimentaires d'une telle structure de la population, La partie Est du bassin de l'arachide est caractérisée par la présence d'une population essentiellement composée de Wolof qui pratiquent **préférentiellement** une agriculture extensive liée à leur tendance à occuper des espaces plus vastes et sont caractérisés par des densités de population peu élevées. L'opposition entre ces deux domaines (Wolof et Sérér) du point de vue de leurs comportements sociaux et de leurs techniques culturelles sont l'héritage **d'une** situation historique ayant placé Wolof et Sérér dans des conditions politiques fort différentes.

Les conséquences sur les rendements d'une agriculture intensive ou extensive, de techniques culturelles adaptées aux besoins des **deux** peuples peuvent être non négligeables. Il faut cependant rester prudent du point de vue de l'échelle géographique à laquelle le problème est étudié. Ces facteurs, **corrélés** à la densité de population, doivent sans doute avoir **un** effet plus important au niveau du bassin de l'arachide considéré dans son ensemble. En effet, les limites entre les deux domaines ne sont pas nettes mais une frange mixte de population assez large les sépare au niveau du département de Diourbel, ce qui est un facteur supplémentaire qui atténuera les conséquences directes **ou** indirectes sur les rendements à cette échelle.

La distance de la parcelle au village ou à la ville sont deux facteurs dont l'influence éventuelle sur les rendements agit à deux échelles **différentes**. Le premier agit à l'échelle locale (unités A et B) et le second au niveau du département. La distance de la parcelle à la **ville** est le facteur le plus important du point de vue de l'influence sur les rendements de l'arachide (le facteur distance parcelle-village n'est pas significatif). Il semble en effet expliquer une part importante de la **variance** totale des rendements (16,1 %) les rendements diminuent au plus on s'éloigne de la ville de Diourbel. Plusieurs facteurs ont été discutés mais il semblerait que cela serait lié à l'histoire de la colonisation des terres dans le bassin de l'arachide.

4. Les techniques culturelles : cinq facteurs distincts ont été étudiés. Ce sont le semis, les rotations, la préparation du sol, la **fumure** et la variété cultivée.

La principale **variété** cultivée dans le département de Diourbel est la **variété 55-437**. Elle a un cycle végétatif de 90 jours, bien adapté à la saison d'hivernage. C'est la seule **variété** cultivée sur les parcelles échantillonnées. Les densités de semis sont élevées pour tenir compte de son **cycle** court et de son faible développement foliaire. Les semoirs utilisés sont des semoirs monorangs à traction animale. Les dates de semis sont directement influencées par l'époque des **premières** grosses pluies. Les premières pluies précoces et isolées ont poussé quelques agriculteurs à semer en juin - début juillet. Mais, la **majorité** des exploitants ont attendu fin juillet et début août pour semer.

La technique culturale la plus utilisée à Diourbel pour la préparation du sol mais aussi en Afrique en général se limite à brûler le couvert végétal et à pratiquer une façon superficielle avec un instrument léger (iler, daba).

Enfin, aucune des parcelles échantillonnées n'a reçu de fumure minérale et la fumure organique n'a été appliquée que sur un faible nombre de parcelles (10 % environ).

Le tableau III-4 reprend les résultats des tests statistiques qui ont été appliqués dans ce chapitre :

		Tests :	ANOVA		CORRELATION	
Zone étudiée	Facteurs	Non significatif	Significatif Valeur de F'	Non significatif	Significatif Valeur de r, équation de la droite de régression	
PLUVIOSITÉ	Unités A et B	Distance parcelle - village			X	
	Unités A et B	Pluviosité totale			X	
		Maximum de pluviosité				$r = 0.306$ ($\alpha = 0.01$) $y = 0,005 * x + 0,059$
		Nombre de jours de sécheresse	X			
	Unités A et B	Date de semis		F = 5.52 (F _{critique} = 2.06)		
		Pluviosité totale (en fonction du cycle des plantes)			X	
		Pluviosité du 50 ^e au 80 ^e jours (en fonction du cycle des plantes)				$r = 0.221$ ($\alpha = 0.5$) $y = 0.0019 * x - 0.265$
		Pluviosité du 10 ^e au 30 ^e jours (en fonction du cycle des plantes)			X	
		Pluviosité du 30 ^e au 50 ^e jours (en fonction du cycle des plantes)			X	
		Pluviosité				$r = 0.283$

	du 80° au 90° jours (en fonction du cycle des plantes)				$(\alpha = 0.01)$ $y = 0.0039 * x$ $t=0.388$
Unités A et B	Précédent cultural	X			
Unités A et B	Fumure Organique	X			
Diourbel	Pédologie	X			
Diourbel	Distance parcelle - ville				$r = 0.306$ $(\alpha = 0.01)$ $y = 0.0078 * x + 0.274$
Diourbel	Précédent cultural		$F = 3.93$ $(F_{critique} = 2.823)$		
Diourbel	Fumure Organique	X			

Tableau III-4

Résultats des tests statistiques appliqués aux données de rendements (unités A et B + unités Diourbel) en fonction de différents paramètres considérés individuellement dans le chapitre III

Parmi les dix-sept facteurs présents dans ce tableau, seuls sept facteurs influencent significativement les rendements. Parmi ces sept facteurs, quatre facteurs ont été tirés des données pluviométriques (et constituent donc un seul facteur : facteur « pluviométrie »), ce qui réduit le nombre de ces facteurs à quatre. Pour ces quatre facteurs, les valeurs de r^2 restent toujours faibles. Seule la distance parcelle-ville explique 16.1 % de la variance totale des rendements dans le département ; les autres valeurs de r sont inférieures à 10 %. La pluviométrie n'explique en effet que 9.4 % par le test de la relation entre les rendements et le maximum de pluviosité qui correspond à la valeur de r la plus élevée pour ce facteur. Pourtant, la pluviométrie est le facteur déterminant principal des rendements ; les résultats obtenus dans les unités A et B ne correspondent donc pas à ceux obtenus dans la littérature. Ceci peut sans doute s'expliquer par l'échelle géographique à laquelle l'étude a été menée. En effet, à l'échelle du pays, un gradient N-S est observé (voir introduction - le climat). Les aléas climatiques à l'échelle locale (unités A et B) semblent avoir effacé ce gradient. La conséquence directe est une corrélation faible entre les rendements et la quantité de pluie tombée qui varie énormément à l'échelle locale au sein d'une même saison d'hivernage. D'autre part, le nombre important de facteurs non significatifs peut s'expliquer d'un côté par l'homogénéité des pratiques culturales au niveau de la zone étudiée. En effet, on a appliqué de la fumure organique sur 10 % seulement en moyenne du total des parcelles échantillonnées. En outre, près de 80 % des parcelles ont le mil comme précédent cultural sur les unités A et B et près de 85 % dans le département de Diourbel. De plus, le nombre important de facteurs non significatifs peut s'expliquer par une variance intrasegments élevée (voir chapitre II).

Enfin, la pédologie n'influence pas significativement les rendements dans le département de Diourbel. Cependant, la majeure partie des sols présents dans le département (plus de 85 %) sont du type dior, ayant un grand nombre de caractéristiques identiques sur le plan agronomique. De plus, une grande variance interne dû à l'échantillonnage effectué dans le département pour la campagne agricole: 1996 peut expliquer la relation non significative entre les rendements et les classes pédologiques étudiées. Le même test devrait être effectué lors de la prochaine campagne agricole avec la taille d'échantillon déterminée dans le chapitre II

3. régression multiple

a) Introduction

Le but de la régression multiple est d'estimer la ou les valeurs d'une variable dépendante en fonction de **plusieurs** variables **appelées** « indépendantes », bien que celles-ci peuvent être étroitement liées entre elles. On appelle aussi ces variables des « variables explicatives ». On utilise une équation de régression multiple, en général linéaire, représentative d'un hyperplan de régression (plus de deux variables « indépendantes ») (Dagnelie 1986 (1)). La variable dépendante qui **nous** intéresse est le rendement des plantes d'arachide dans le département de Diourbel et les variables explicatives sont celles qui figurent dans le tableau III-5.

Les tests qui ont été réalisés dans ce chapitre ont été appliqués à deux types de données les données de rendement des parcelles des unités A et B d'une part, celles des parcelles des 20 autres P.S.U. du **département** de Diourbel d'autre part. Une équation de **régression** sera **étudiée** pour chaque cas.

Le calcul d'une régression multiple permet d'établir une équation à partir de laquelle une valeur de rendement peut être estimée **à** partir des valeurs connues des variables explicatives. Si l'équation de la régression multiple permet d'expliquer une grande partie de la variation totale des rendements, elle peut être intéressante dans des zones du département où aucun échantillonnage n'est réalisé. En effet, dans ces zones, l'erreur de l'interpolation des données (voir chapitre IV) peut être importante. On peut diminuer cette erreur en y attribuant des valeurs de rendements estimées par l'équation d'une régression calculée entre les rendements et ses variables **explicatives** associées.

Cette **méthode** devient intéressante à partir du moment où :

- la détermination des variables indépendantes est plus rapide et plus simple que la **mesure** effective des rendements
- la régression calculée explique une part importante de la variation totale des rendements.

Ainsi, dans un premier temps, il convient de déterminer quels facteurs peuvent être considérés comme **variables** explicatives des rendements de l'arachide parmi ceux présents dans le tableau III-4. Dans un second temps, on calculera la régression et la part de la **variance** totale des rendements que celle-ci peut expliquer.

b) Méthode

(1) Introduction

Les variables explicatives au niveau du département de Diourbel sont : la **pédologie**, la distance parcelle - ville, le précédent cultural et la **fumure** organique.

Les variables explicatives au niveau des unités A et B sont : la pluviométrie, la distance parcelle - village, le précédent cultural et la fumure organique. Pour la pluviométrie, sept tests ont été appliqués. Les trois premiers ont été appliqués sur les données pluviométriques qui correspondent à celles enregistrées du 11 août au 17 octobre 1996 (voir point III.C.2) : pluviosité totale, maximum de pluviosité, nombre de jours de sécheresse. Les quatre suivants ont été appliqués par rapport aux différents stades de croissance des plantes en fonction de la pluviométrie (les époques de ces stades de croissance étant déterminées par les dates de semis des plantes) : pluviosité totale, pluviosité du 10^e au 30^e jour de croissance, pluviosité du 30^e au 50^e jour, pluviosité du 50^e au 80^e jour, pluviosité du 80^e au 90^e jour). Ces données ont **du** être complétées car les premières pluies de la saison d'hivernage n'ont pas été **enregistrées** (voir point III.C.4). Pour ne considérer qu'une seule variable explicative **représentant** la pluviométrie, seul le test le plus significatif seulement va être considéré pour le calcul de

l'équation de régression au **niveau** des unités A et B : il s'agit du second test (**maximum** de pluviosité). En effet, il est possible que ce test soit le plus significatif du fait que les **données** qui ont servi à comparer les rendements à la pluviométrie en fonction des **différents** stades **végétatifs** ont **dû** être complétées et donc que leur influence n'a pu être mise en évidence de manière suffisamment significative.

(2) Dans les unités A et B

Parmi les quatre facteurs considérés dans le tableau **III-4**, trois facteurs n'influencent pas significativement les rendements **dans** les unités A et B. Cependant, dans les analyses ANOVA qui ont été réalisées dans le chapitre III, on considère les facteurs individuellement pour les comparer aux rendements. Dans une telle analyse, les rendements peuvent sembler **ne** pas varier **significativement** en fonction d'un facteur. Cependant, les résultats d'un tel test, **peuvent** être fortement influencés si **un** second facteur influence de manière importante les rendements, empêchant de mettre en évidence une influence quelconque du premier facteur. Ceci peut en effet avoir lieu dans le cas où il existe un facteur principal déterminant de la variable étudiée. Cette situation se **présente** le cadre de cette étude : la **pluviométrie** est le facteur déterminant des rendements (voir point III.C.2) et le test de corrélation effectué dans le chapitre III indique en effet que le **coefficient r** est le plus élevé pour la relation rendements-maximum de pluviosité par rapport aux autres facteurs envisagés dans les unités A et B. Afin d'éliminer l'effet de la pluviosité sur les rendements, un nouveau test est réalisé. Les valeurs de rendements sont dans **un** premier temps estimées ($= y_{est}$) à partir de l'équation de la droite de régression obtenue pour le test de régression linéaire appliqué à la relation rendements-maximum de pluviosité (voir point III.C.2). Ensuite, la différence entre les valeurs réelles observées ($= y_{obs}$) et la valeur estimée ($= y_{est}$) donne les valeurs des rendements résiduels ($= y_{res}$). Ces valeurs correspondent aux valeurs de rendements non influencées par le facteur « maximum de pluviosité ». Les valeurs y_{res} sont alors reclassées dans un premier test en fonction des distances parcelle-village. Un test ANOVA est ensuite appliqué à ces **données**. Ce test permet de savoir si les résidus de la relation rendements-maximum de pluviosité sont significativement influencés par la distance de la parcelle au village. Dans le cas positif, le facteur distance au village sera pris en compte pour le calcul de l'équation de la **régression** multiple au niveau des **unités** A et B. Dans le cas négatif, ce facteur ne peut être considéré comme variable explicative,

La même démarche **est** appliquée aux **facteurs** « précédent **cultural** » et « **fumure** organique ».

(3) Dans le département de Diourloel

Parmi les quatre facteurs considérés dans le tableau **III-4**, deux facteurs n'influencent pas significativement les rendements dans le département de Diourbel. Parmi les deux facteurs **qui** influencent significativement les rendements, c'est le facteur « distance parcelle-ville de Diourbel » qui est le facteur déterminant principal. Ainsi, les mêmes tests que pour les unités, A et B vont être appliqués dans ce cas en enlevant l'influence du facteur distance **parcelle-ville** sur les rendements et en reclassant les y_{res} en fonction des classes de Pédologie et de la présence ou non de **fumure** organique sur les parcelles.

c) Résultats

(1) Dans les unités A et B

(a) *Détermination des variables explicatives des rendements*

(i) y , en fonction de la distance au village

Résultats du test de corrélation entre les valeurs de y_{res} en fonction de la distance au village :

r	0,0698
Observations	181
Seuil de signification à 0.95	0.1946

Le coefficient de corrélation n'est pas significatif, ce qui indique que la corrélation y_{res} . . distance parcelle au village n'est pas significative.

(ii) y , en fonction du précédent **cultural**

Résultats de l'ANOVA y_{res} en fonction des différents précédents culturels « jachère, mil et niébé » pour les unités A et B :

Précédent cultural	Nombre de parcelles	Moyenne des rendements (tonnes/ha)	Variance des rendements
Jachère	37	0,128	0,0393
Mil	139	0,0679	0,0260
Niébé	8	0.104	0.0157

'Tableau de l'ANOVA :

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur Critique pour F
Intergruppes	0,110	2	0,0550	1,950	0,145	3,046
Intragruppes	5,10	181	0,0282			

Le test ANOVA indique qu'il n'y a pas d'influence significative du précédent **cultural** sur les y_{res} .

(iii) y_{res} en fonction de l'application de fumure organique

Résultats de l'ANOVA de y_{res} en fonction de l'application de fumure organique sur les parcelles :

Fumure	Nombre de parcelles	Moyenne des rendements (tonnes/ha)	Variance des rendements
Fumure Organique	166	0,159	0,0136
Pas de F. O.	20	0,144	0,00834

Tableau de l'ANOVA :

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Intergroupes	0,00448	1	0,00448	0,343	0,559	3,89
Intragroupes	2,402	184	0,0131			

Le test ANOVA indique que les y_{res} ne sont pas significativement influencés par l'application de fumure organique.

(b) *discussion*

Les trois tests ci-dessus permettent de conclure que parmi les quatre facteurs pris en compte dans ce point du chapitre (distance parcelle-village ; pluviométrie ; précédent **cultural** et fumure organique), seule la pluviométrie peut permettre de calculer la régression avec les rendements. Il ne s'agit donc que d'une régression linéaire. L'équation de la droite de cette régression correspond à celle déterminée dans le point III.C.2 et est définie par la relation suivante

$$y = 0,005 * x + 0.059$$

(2) Dans le département de Diourbel

(a) Détermination du nombre de variables explicatives des rendements

(i) y , en fonction de la pédologie

Résultats de l'ANOVA :

Classes pédologiques	Nombre de parcelles	Moyenne des rendements (tonnes/ha)	Variance des rendements
E2ay2	33	0,123	0,011
Ea2y3	48	0,110	0,00808
Ab3	4	0,175	0,0116
Ea2x2	2	0,0908	0,0157

Tableau de l'ANOVA :

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
intergroupes	0,0182	3	0,00606	0,630	0,598	2,71
intragroupes	0,798	83	0,00961			

Le test ANOVA indique qu'il n'y a pas de relation significative entre y_{res} et la pédologie.

(ii) y , en fonction de la fumure organique

Résultats de l'ANOVA :

Fumure	Nombre de parcelles	Moyenne des rendements (tonnes/ha)	Variance des rendements
F.O.	4	0,11026471	0,00954725
pas de F.O.	43	0,11814637	0,01127916

Tableau de l'ANOVA :

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Intergroupes	0,000227	1	0,000227	0,0204	0,887	4,06
Intragroupes	0,502	45	0,0112			

Le test ANOVA indique que les y_{res} ne sont pas significativement influencés par l'application de fumure organique.

(b) *Calcul de l'équation de régression multiple*

Il a été déterminé **ci-dessus** qu'aucune relation significative ne peut être mise en évidence entre les y , et la **pédologie** ou l'application de fumure organique sur les parcelles. Deux facteurs restent **significativement** déterminants des rendements de l'arachide dans le département de Diourbel parmi les quatre facteurs présents dans le tableau 11. Une régression multiple avec deux variables explicatives (distance parcelle-ville et précédent **cultural**) est calculée ci-dessous.

Le calcul d'une **équation** de régression nécessite des données quantitatives. Cependant, la variable « précédent cultural » n'est qu'une variable linéaire : il y a présence de tel ou tel précédent cultural. Ainsi, pour le calcul de l'équation, les rendements sont étudiés en fonction d'une valeur nulle dans le cas de la présence de mil comme précédent cultural et d'une valeur égale à l'unité dans le cas où le précédent cultural est une **jachère**.

Résultats du test de corrélation :

r	0,436
Observations	47
Seuil de signification à 0.99	0.3721

Le coefficient de corrélation est significatif. La valeur de r^2 indique que la **régression** multiple explique 19 % de la **variance** totale des rendements dans les unités Diourbel. L'**équation** de la régression multiple est la suivante :

$$Y = 0.00788 * X1 + 0.0746 * X2 + 0.241$$

d) Discussion

Les deux régressions calculées d'une part pour les unités A et B et d'autre part pour les unités Diourbel ne permettent d'expliquer qu'une faible part de la **variance** totale des rendements,. En effet, dans le premier cas, la régression permet d'en expliquer 9 % seulement et dans le second cas 16 %. Différents facteurs pourraient expliquer une telle situation Ceux-ci vont être discutés l'un après l'autre ci-dessous :

1. Existe-t-il d'autres variables **explicatives** ?

- **L'éclaircissement** : il agit essentiellement sur le développement en augmentant l'assimilation de la plante (Gillier 1969). Cependant, à l'échelle étudiée, ce facteur ne semble pas pouvoir être déterminant sur la variation des rendements de l'arachide.
- **L'entretien mécanique** et manuel des cultures : l'utilisation de houes munies de lames diverses travaillant les interlignes, les binages (un premier binage tardif compromet irrémédiablement les rendements de l'arachide), l'entretien de la culture en **billon** (consiste à entamer le billon de part et d'autre pour enterrer l'herbe et à le **rechausser** par la suite en pratiquant un buttage) sont autant de techniques culturales qui peuvent avoir une influence importante sur les rendements. Cependant, ces données n'ont pas été systématiquement collectées auprès des exploitants et donc n'ont pas pu être prises en compte.
- la main d'œuvre : la composition de la main-d'œuvre n'est pas une donnée qui a pu être étudiée lors de cette campagne. Les questionnaires proposés dans le point B de ce chapitre tentent de répondre à cette exigence pour les campagnes futures.

2. Fiabilité des **données** : les **enquêtes** auprès des exploitants sont réalisées par des techniciens agronomes de haut niveau. J'ai pu participer à une grande partie des enquêtes de terrain et la fiabilité des données n'est pas à remettre en cause sur ce plan.

3. La **variance** est-elle trop importante ?

• A l'échelle du département

Ce point peut être une des raisons principales pouvant expliquer les faibles valeurs de r^2 . En effet, les **variances** internes de chaque unité primaire d'échantillonnage sont très élevées (voir chapitre II'). Cela peut être dû au plan de sondage qui ne paraît pas adapté à une telle étude à l'échelle du département de Diourbel.

• A l'échelle des unités A et B

La principale cause pouvant expliquer les faibles valeurs de r^2 est d'une part l'homogénéité des pratiques culturales des exploitants, ne permettant pas d'estimer avec précision l'**influence** de ces facteurs sur les rendements et d'autre part, pour la pluviométrie, les aléas climatiques à cette échelle ne permettent pas de relier cette variable explicative aux rendements avec une valeur de r^2 élevée.

e) Conclusion

En tant que telles, les régressions calculées au sein des unités A et B et du département de Diourbel ne peuvent servir à estimer les rendements ; ceci est dû aux valeurs du **coefficient** de détermination ($= r^2$) faibles, permettant d'expliquer une part trop faible de la variation des rendements. La présente étude tente de palier à cette situation par les points suivants

- en élargissant le plan de sondage qui a été appliqué au département de Diourbel lors de la campagne agricole 1996, ce qui aura comme conséquence de diminuer les **variances** internes des unités primaires d'échantillonnage
- en proposant des questionnaires **d'enquête** plus adaptés à l'étude (en proposant des variables **explicatives** supplémentaires)

D'autre part, le calcul d'une régression multiple pourra **être** amélioré par l'application de la télédétection au suivi des rendements de l'arachide dans le département de Diourbel. En effet, l'intégration de **données** de la **télédétection** peut être **réalisée** pour l'estimation des rendements agricoles (Bartholomé 1986).

IV. Analyse spatiale des rendements et de la pluviométrie

A. Introduction

1. L'approche géostatistique

Dans le point III, on a déterminé qu'il existe une relation significative entre la pluviométrie et les rendements au sein des unités A et B. En effet, dans le point III.C.2, on souligne qu'il est établi que la pluviométrie est le facteur déterminant principal des rendements de l'arachide. Les conclusions du chapitre III découlent d'une analyse purement statistique des rendements où l'on considère une distribution totalement aléatoire de l'échantillon. L'approche géostatistique permet de réaliser une étude de l'analyse spatiale des rendements et de la pluviométrie. En effet, elle suggère une relation étroite entre un paramètre, la distance, et la variable étudiée, en l'occurrence les rendements de l'arachide ou la pluviométrie (Isaaks *et al* 1989). En d'autres termes, en moyenne, au plus deux points sont proches l'un de l'autre dans l'espace, plus ils auront des valeurs plus similaires (Burrough 1986). La géostatistique va permettre de répondre aux deux ensembles de questions :

1. A l'échelle locale (au niveau des unités A et B), existe-t-il une relation entre la distance et les rendements ? Si oui, cette relation va-t-elle dans le même sens que la relation distance - pluviométrie (si celle-ci existe au niveau des unités A et B) ?
2. A l'échelle du département, existe-t-il une relation entre la distance et les rendements ?

A l'issue de ces deux questions, il conviendra de déterminer s'il existe une relation spatiale entre les rendements et la pluviométrie du point de vue spatial. Dans le cas négatif! on tentera d'en déterminer les raisons.

Enfin, l'interpolation des données de rendement au niveau du département, permet de connaître la répartition spatiale de ces rendements et d'en établir une carte. Les besoins d'une information fiable dans des délais courts pour la récolte de statistiques agricoles au Sénégal sont soulignés par Guissard (Guissard 1995). C'est à cela que peut servir une telle carte. L'actualisation de celle-ci et son amélioration par l'application du taux d'échantillonnage déterminé dans le chapitre II aux campagnes futures de suivi des rendements dans le département de Diourbel permettront de connaître l'état des cultures année après année.

2. Les hypothèses de la géostatistique

a) Pour les unités A et B

L'hypothèse principale de l'utilisation de la géostatistique pour des données telles que les rendements et la pluviométrie est la stationnarité. Elle suppose que les rendements ou la pluviométrie varie de manière continue dans toutes les directions de l'espace. Un premier test a été appliqué à ces données afin de vérifier s'il n'existe pas une relation entre la distance et les rendements ou la pluviométrie dans les directions E-O et N-S.

Les graphiques IV-1, IV-2, IV-3, IV-3 montrent respectivement la répartition des rendements sur les unités A et B dans les directions E-O et N-S. Aucune tendance ne peut être soulignée pour aucun de ces graphiques si ce n'est pour le graphique IV-3 pour lequel une légère tendance peut être décelée. Cependant, on considère que cette tendance est négligeable. Les rendements semblent en effet se distribuer totalement aléatoirement en fonction des directions étudiées. Les graphiques IV-5 et IV-6 montrent la répartition de la pluviométrie sur les unités A et B dans les directions E-O et N-S. La même conclusion peut être tirée pour la pluviométrie que pour les rendements. En effet, la pluviométrie ne montre aucune tendance de distribution dans les directions E-O ou N-S.

Ainsi, l'hypothèse de stationnarité des rendements et de la pluviométrie semble être une bonne approximation. La géostatistique peut donc bien être appliquée à ces données.

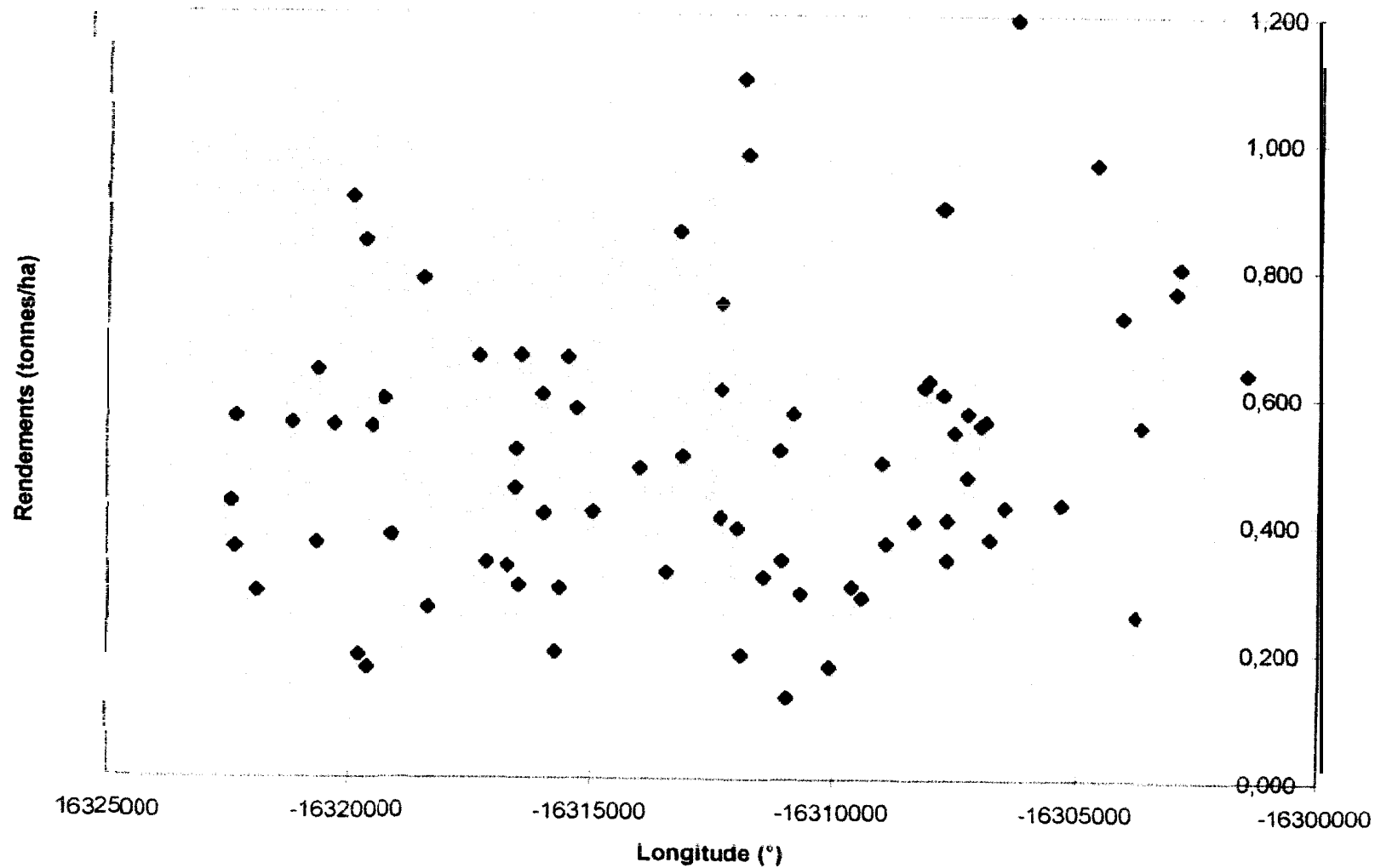
b) Pour les unités du département de Diourbel

Les graphiques IV-7 et IV-8 montrent la répartition des données de rendement en fonction de la longitude et de la latitude pour les unités du département de Diourbel. Il ne semble pas y avoir une tendance en fonction des directions étudiées.

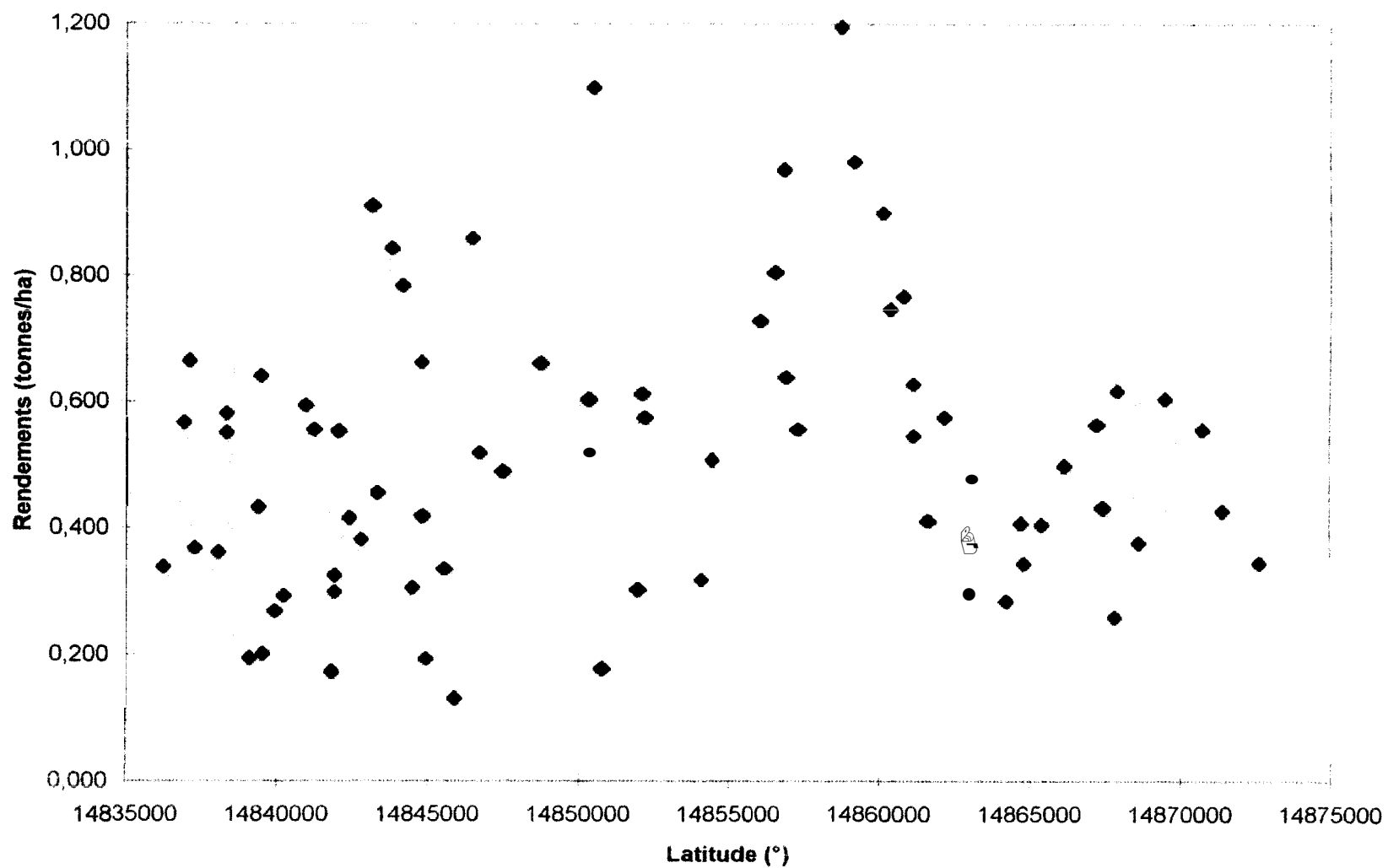
L'hypothèse de stationnarité des rendements au niveau des unités Diourbel semble donc également être une approximation acceptable.

Deux méthodes d'analyse des données de rendements et de pluviométrie vont permettre d'étudier la variation spatiale : le **variogramme** et le krigeage. Le variogramme permet d'étudier une variable $z(x)$ à différents intervalles en calculant la dissimilarité entre les paires de valeurs z_1 et z_2 localisés aux points x_1 et x_2 . Le krigeage permet d'estimer les valeurs de la variable étudiée aux endroits non échantillonnés à partir de valeurs connues en d'autres endroits. Le krigeage ne sera appliqué aux données de rendements ou de pluviométrie que si le variogramme donne des valeurs caractéristiques indiquant une corrélation satisfaisante (voir point B).

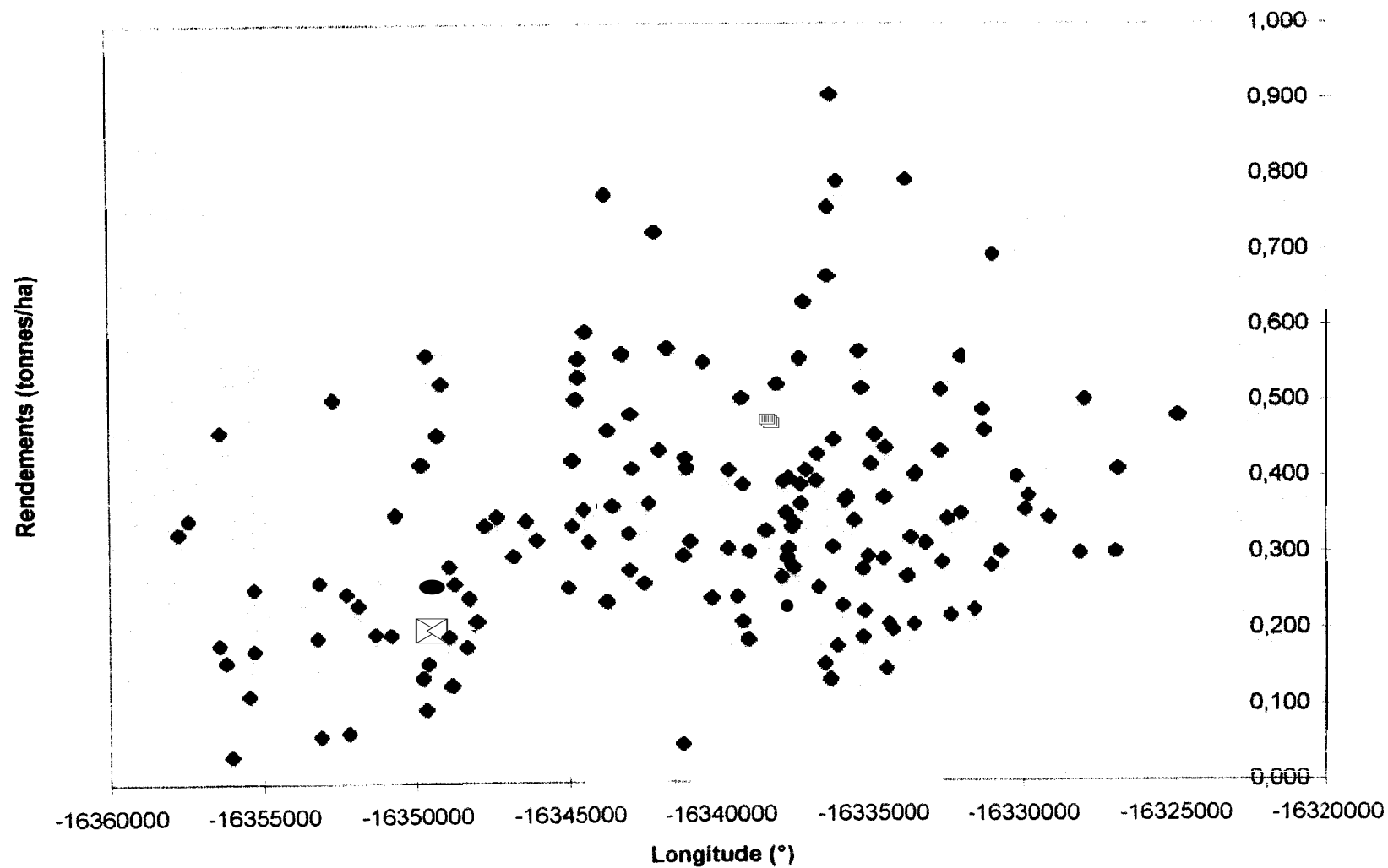
Rendements en fonction de la direction X - unité A



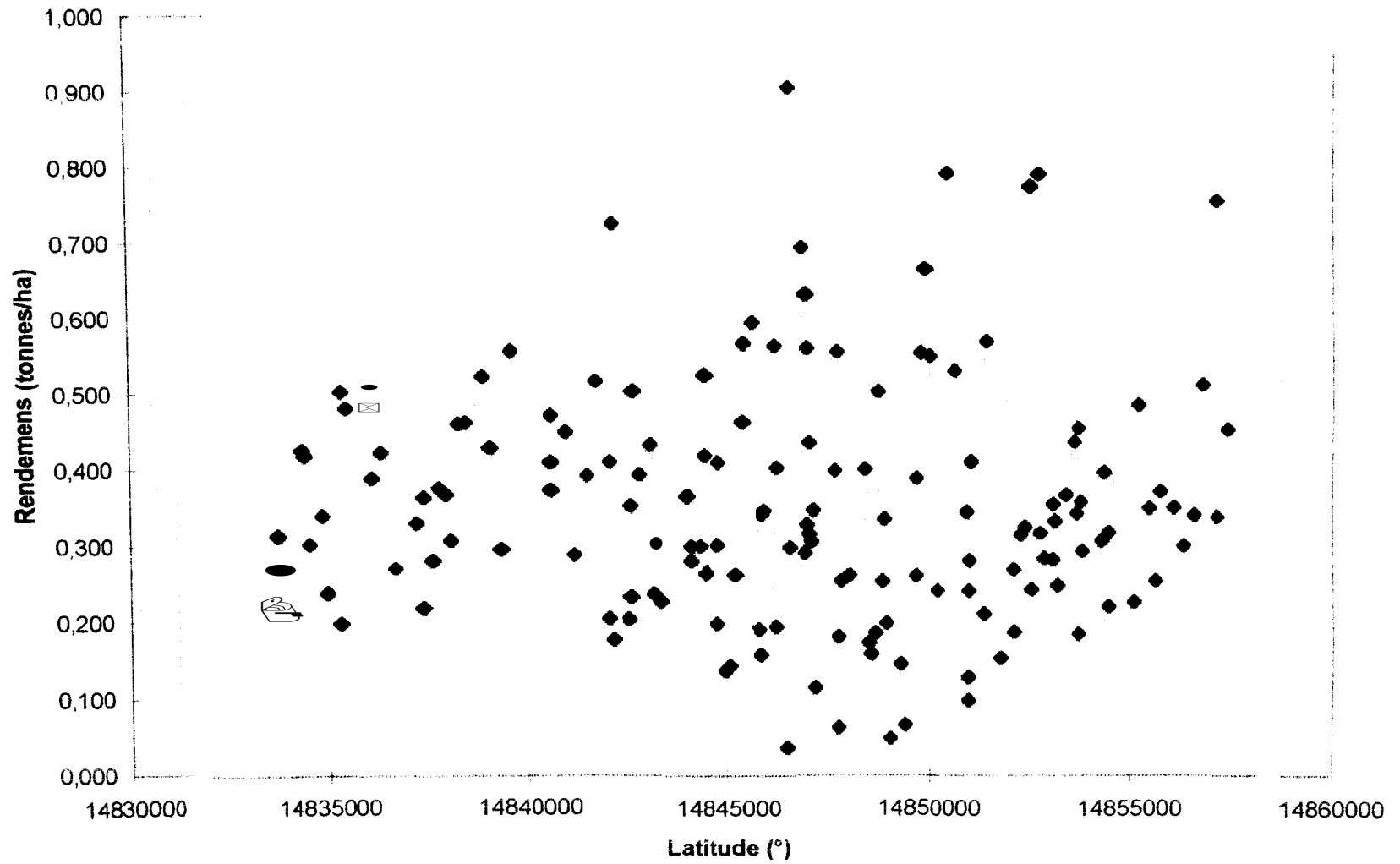
Rendements en fonction de la direction Y - unité A



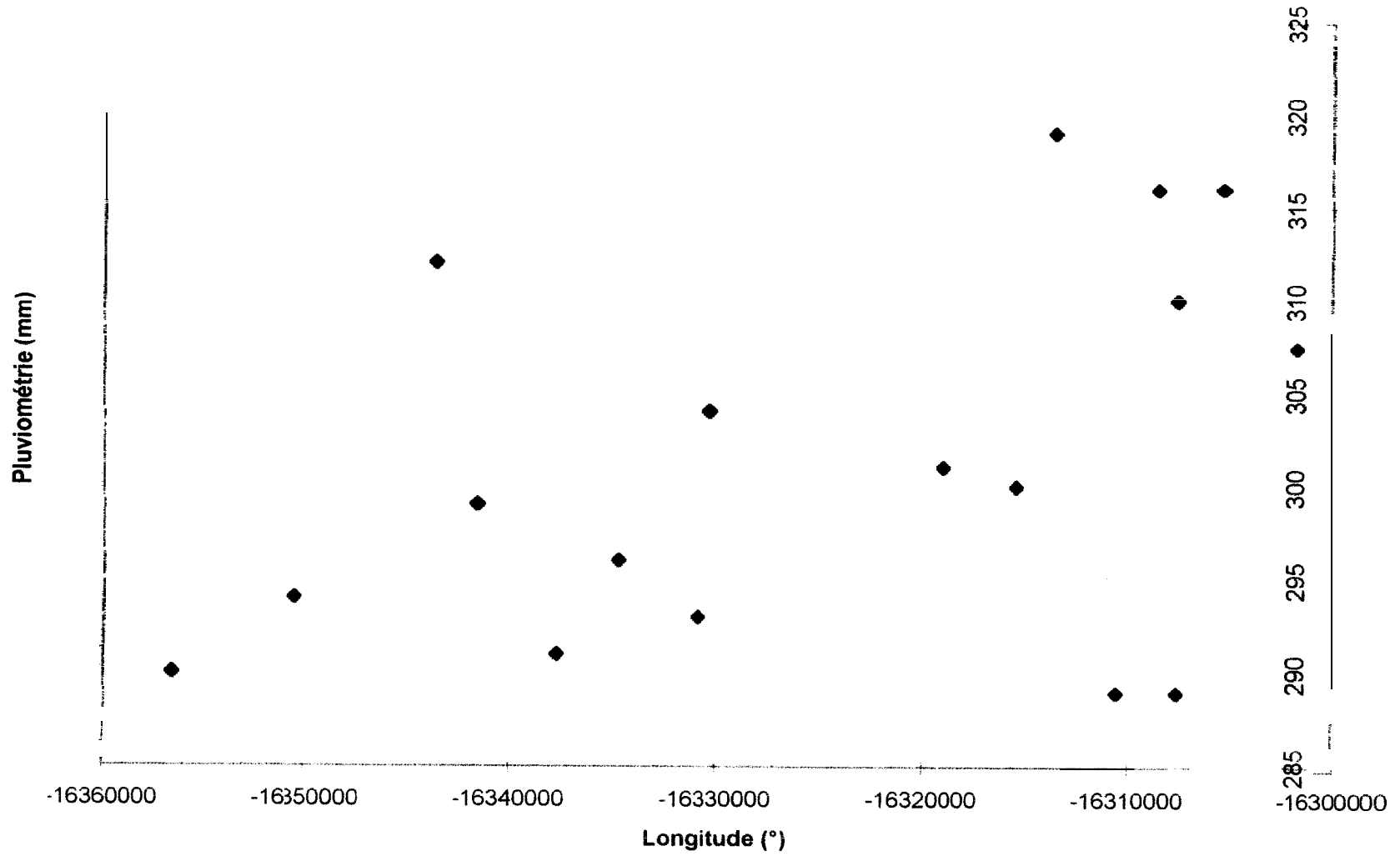
Rendements unité B en fonction de la direction X



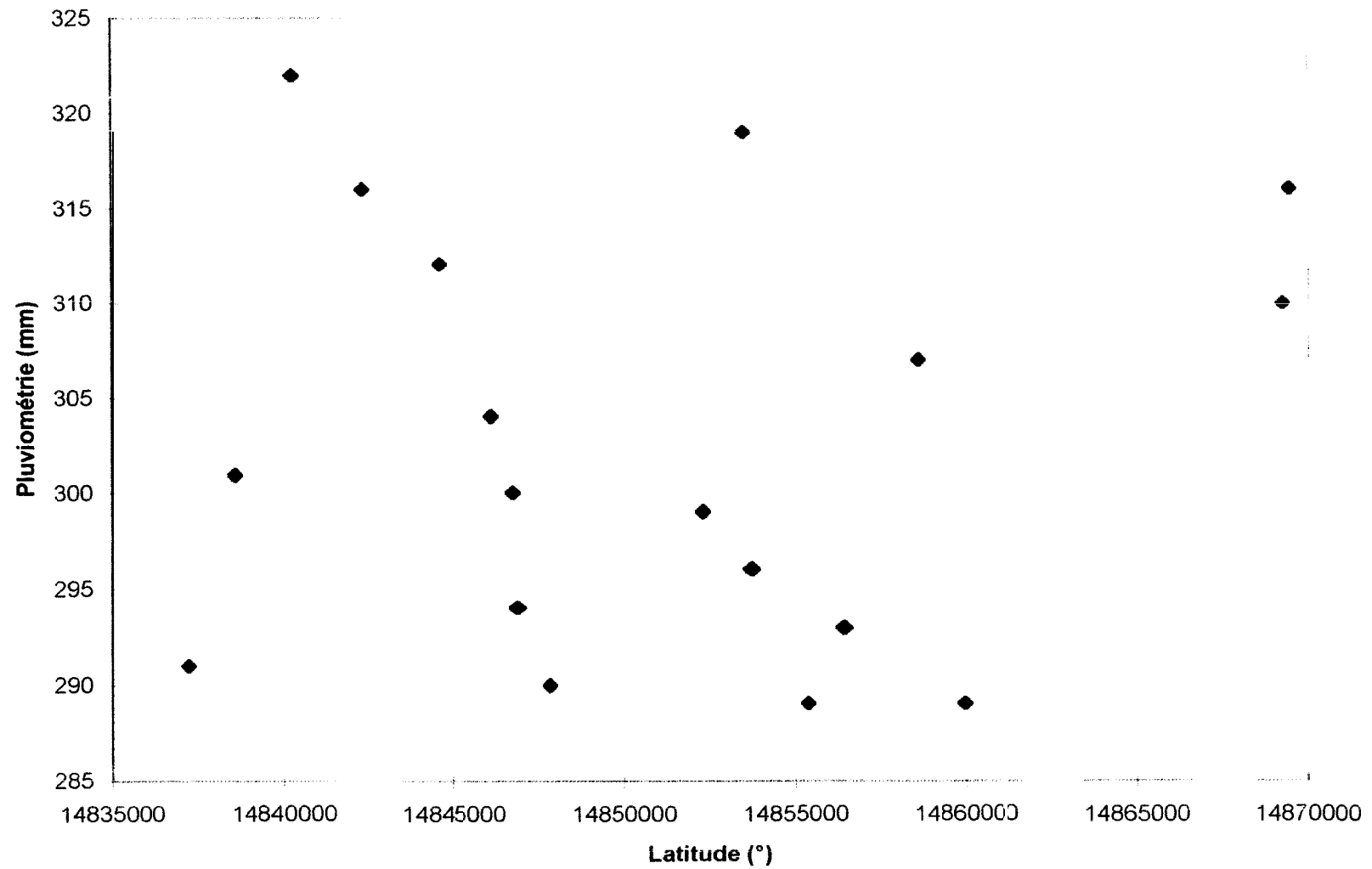
Rendements unité B en fonction de la direction Y



Pluviométrie selon la direction X

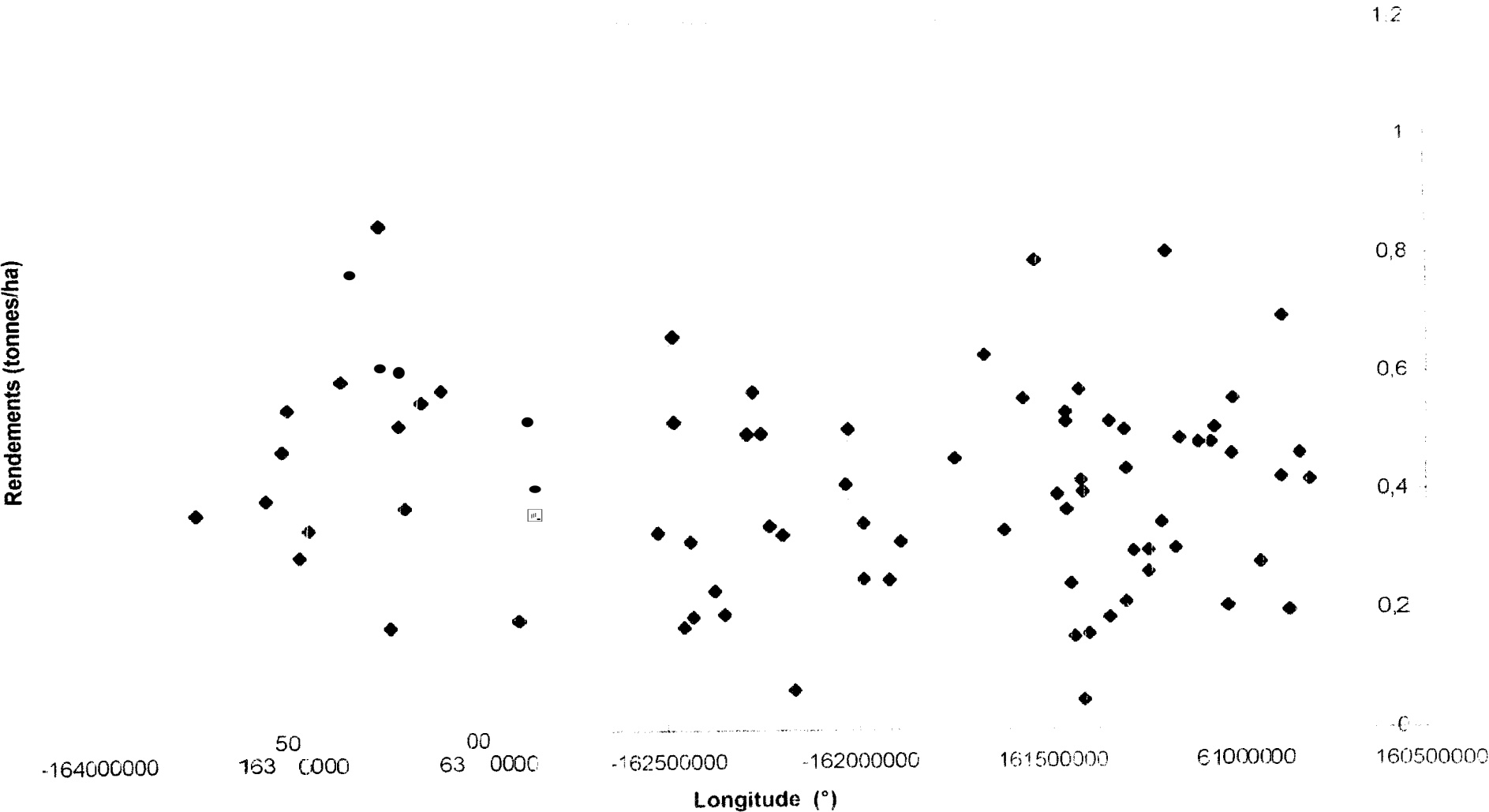


Pluviométrie selon la direction Y

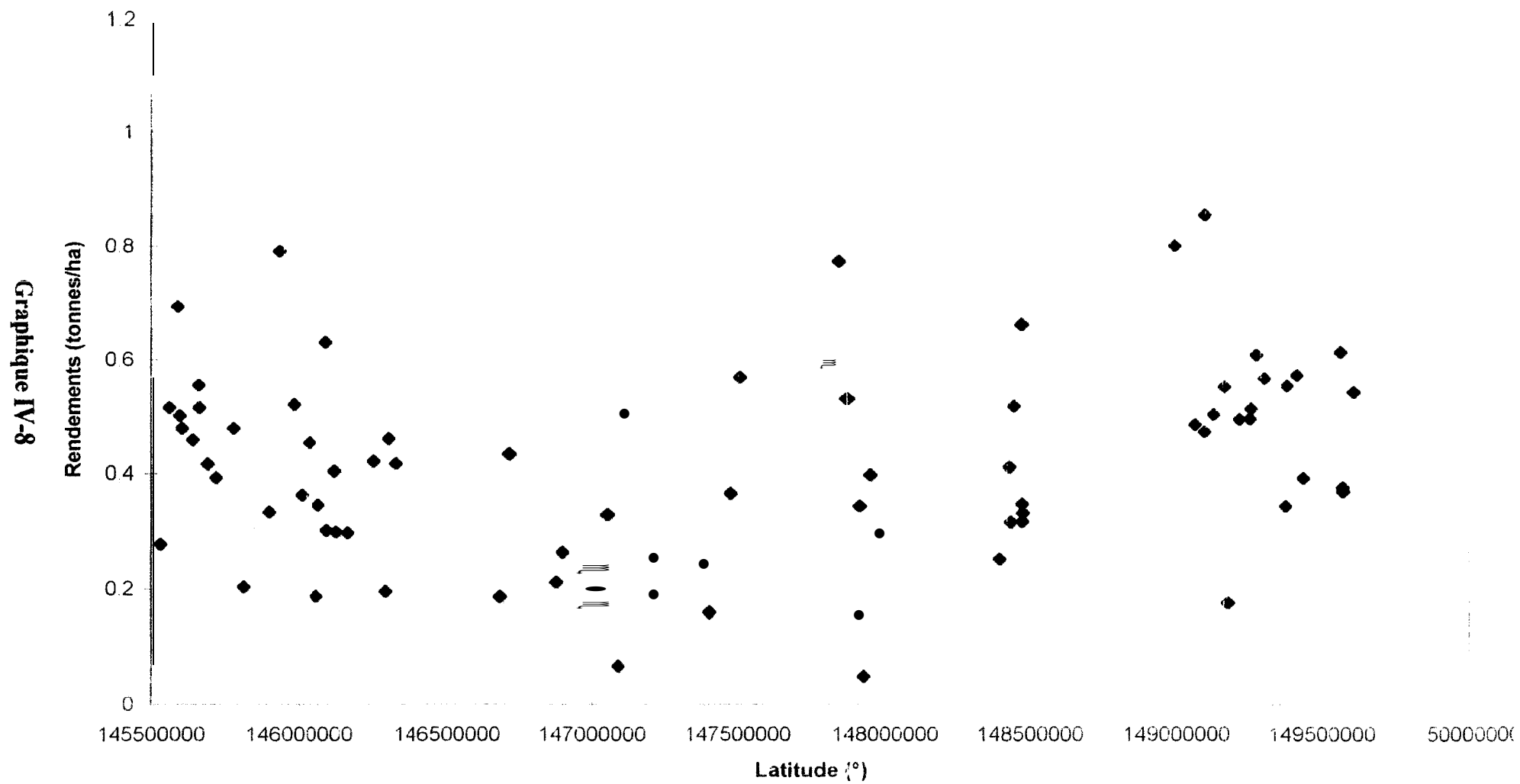


Graphique XV-6

Rendements Diourbel en fonction de ladirection X



Rendements Diourbel en fonction de la direction Y



B. Concepts théoriques

Dans les années soixante, à l'Ecole des Mines de Fontainebleau, Matheron a regroupé des résultats isolés obtenus en statistique spatiale en une théorie dite des « variables régionalisées » ou, plus communément, appelée par la suite « Géostatistique » (Webster et al 1989). Cette théorie apporte les outils pratiques pour résoudre de nombreux problèmes d'échantillonnage de variables spatiales et pour réaliser des estimations à partir de ces échantillons (Wilmet et al 1992).

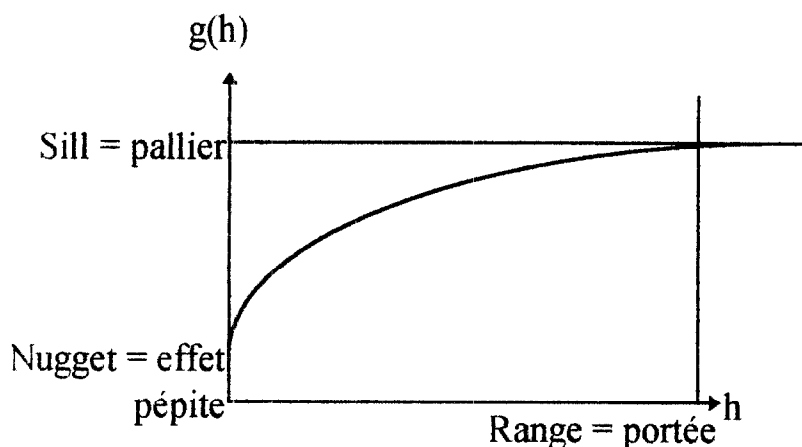
Les variables environnementales sont des variables régionalisées (Curran 1988) ; la valeur que prend une variable dépend de l'endroit étudié. En effet, les valeurs que prend une variable en deux points ne sont pas strictement indépendantes, comme le suppose la théorie classique de l'échantillonnage, mais corrélées. Autrement dit, la variable présente une certaine structure spatiale.

L'interpolation des données de rendement de l'arachide au sein des unités A et B est réalisée par la géostatistique. Les techniques d'interpolation par géostatistique supposent une variation spatiale continue des données pouvant être décrite par une surface définie mathématiquement (Burrough 1986). Le variogramme expérimental est un outil intéressant pour l'analyse des données spatiales (Wakemaegel 1992). On mesure la variabilité d'une variable régionalisée $z(x)$ à différents intervalles en calculant la dissimilarité entre les paires de valeurs z_1 et z_2 localisées aux points x_1 et x_2 . Pour une variable régionalisée, la dissimilarité ($\gamma(h)$) dépend de la distance et de l'orientation de la paire de points.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} * (z(x_1+h) - z(x_1))^2$$

avec $h = x_2 - x_1$

Le variogramme théorique représente une fonction qui porte en ordonnée la demi-variance calculée ($\gamma(h)$) et en abscisse h (distance entre les paires de points considérés) :



Sur ce graphique, on définit quelques valeurs caractéristiques :

- Le « range » = portée = distance au-delà de laquelle la covariance est nulle. Les valeurs prises en deux points éloignés d'une distance supérieure à la portée sont indépendantes. Si le variogramme croît indéfiniment avec la distance, la variance « à priori » est définie et la fonction de covariance n'est pas définie. L'écart supposé entre les valeurs prises en deux points augmente indéfiniment avec la distance qui sépare les deux points.

- Le « **sill** » = **pallier** = **variance** totale de l'échantillon. Cas particulier : phénomène totalement aléatoire, sans aucune **corrélation** entre deux points. On a alors un effet dit de « **pépite pure** » où la **variance** est équivalente en tout point.
- Il y a souvent une **discontinuité à l'origine** = « **nugget** », ou un brusque saut de la **demi-variance** pour de **faibles** distances à proximité de l'origine = **effet de pépite** = erreurs de mesure ou **variance** interne au support d'observation.
- La distance peut être mesurée dans une direction, donc le variogramme est calculé dans une seule direction ; si les variogrammes sont les mêmes dans toutes les directions le phénomène est **isotrope**, dans tous les autres cas, le phénomène est **anisotrope**

Le variogramme décrit la variation spatiale de la variable. Dès lors, connaissant le **variogramme**, il est possible d'estimer la valeur prise par la variable en un lieu non observé avec une **variance** minimale et connue. Au début de l'analyse, le variogramme est inconnu et il doit être modélisé à partir d'un variogramme expérimental avant de pouvoir l'**utiliser** pour l'**interpolation** (**krigeage**). La méthode du krigeage est une méthode d'estimation par moyenne pondérée dans laquelle les poids sont choisis afin de donner une estimation de la valeur z aux endroits non **échantillonnés**, en **minimisant** la **variance** des erreurs connues dans l'estimation (Wilmet et al 1992).

Selon Wakemaegel (Wakemaegel 1992), la valeur est estimée par la relation suivante :

$$z(V) = \sum \lambda_i * z(x_i)$$

avec : $z(V)$: estimation de la valeur de la variable pour la région V

λ_i : poids affectés aux estimateurs

Deux logiciels ont été utilisés pour l'**interpolation** des rendements :

1. **VARIOWIN** : ce logiciel est composé de trois modules. Le premier module, **PREVAR2D**, compare les valeurs entre les paires de points (auxquels correspondent des valeurs de rendement pour chacun d'entre eux) qu'il définit en fonction des distances qui les séparent. Le second module, **VARIO2D**, construit le variogramme expérimental. Le troisième, **MODEL**, permet d'ajuster une courbe théorique sur base du variogramme expérimental. Le variogramme théorique ainsi défini donne les valeurs que prennent les trois paramètres qui caractérisent le variogramme : portée, pallier et effet pépite.
2. **SURFER** est un logiciel qui réalise le krigeage à partir des **données** brutes avec leurs coordonnées géographiques correspondantes, mais il doit avoir été informé des valeurs prises par les paramètres (portée, pallier et effet pépite) qui définissent le variogramme théorique, déterminées grâce à **VARIOWIN**.

C. Résultats et discussion

1. Interpolation des rendements

a) Introduction

Tous les variogrammes calculés dans ce chapitre sont des variogrammes **omnidirectionnels**, c'est-à-dire qu'**aucune** direction de l'espace n'y est **privilégiée**. En effet, il est possible de calculer des variogrammes directionnels, privilégiant l'une ou l'autre direction de l'espace dans laquelle une tendance est attendue ou pour vérifier cette tendance. Dans tous les **cas**, ces **variogrammes** ont été testés, ne donnant aucun résultat satisfaisant.

b) Interpolation des rendements dans les unités A et B

(1) Interpolation des rendements **dans** l'unité A

Le graphique IV-9 montre le variogramme obtenu au niveau de l'unité A pour les données de rendement au sein de cette P.S.U. Le variogramme indique une assez bonne relation distance « rendements. Cette relation est en **accord** avec ce qui a été observé pour le chapitre III. La **variance** totale est assez élevée ($= 0.049$). Cette forte induit un variogramme qui laisse présager de fortes variations spatiales. Ces résultats sont en accord avec ce qui avait été observé au chapitre II où les valeurs de **variance** très élevées dans l'unité A y indiquait une forte variabilité des rendements.

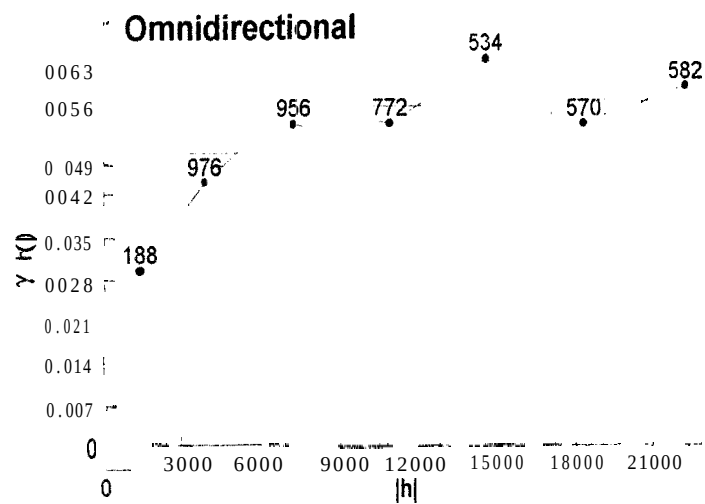
La figure IV-1 montre l'interpolation des données de rendement au niveau de l'unité A (= **krigeage**). Les points indiquent l'emplacement du centre de chaque parcelle échantillonnée (= données **G.P.S**). En ordonnée sont indiquées les valeurs des coordonnées géographiques en latitude. En abscisse sont représentées les valeurs de longitude.

On peut observer une certaine structure spatiale qui explique l'allure du variogramme les rendements sont assez faibles au sud est de l'unité, augmentent vers le centre et puis diminuent à nouveau au **Nordde** l'unité.

(2) Interpolation des rendements **dans** l'unité B

Le graphique IV-10 montre le **variogramme** obtenu au niveau de l'unité B pour les données de rendement au sein de cette P.S.U. Il est caractérisé par une valeur de nugget (= effet pépité) importante par rapport à la valeur de la **variance** totale au sein de cette unité ; une valeur de range (= portée) faible et une valeur de **sill** (= pallier) faible. Ce variogramme indique donc que les rendements sont totalement aléatoires par rapport à des distances de l'ordre de celles qui correspondent à la taille d'une unité primaire (distances < 10 km). Ce type de variogramme correspond au cas particulier mentionné au point B de ce chapitre où le phénomène est totalement aléatoire, sans aucune relation entre deux points. En **effet**, la **variance** est pratiquement équivalente en tout point et égale à la **variance** totale de l'échantillon.

Variable : Rendement | IGF : 6.9489e-03
 Gamma (h) : 0.0235 + 0.0345*Sph 8740 (h)
 Dir.(1) : 0 | anis.(l) : 1



Graphique IV-9

Variogramme : rendements - unité A

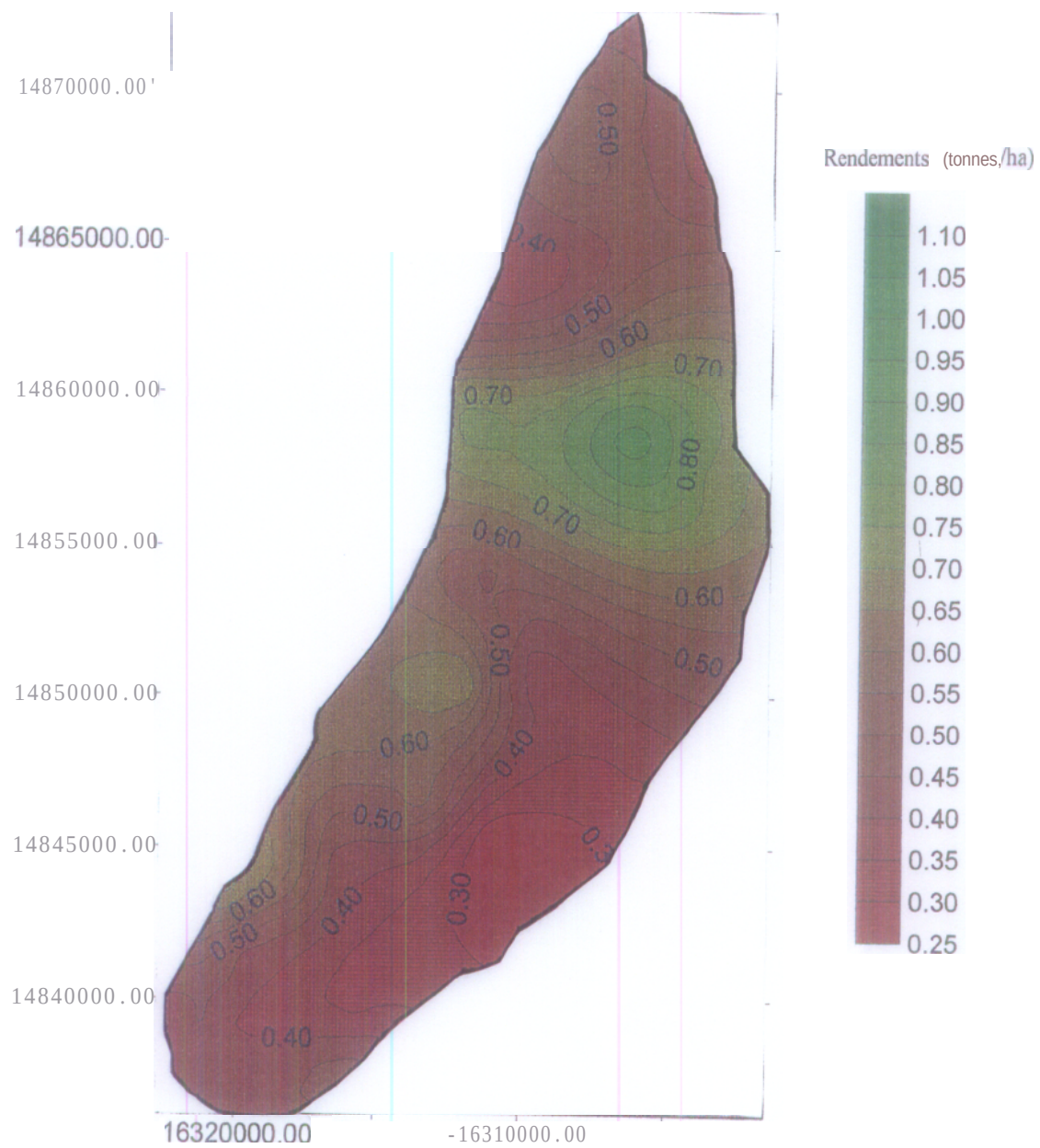
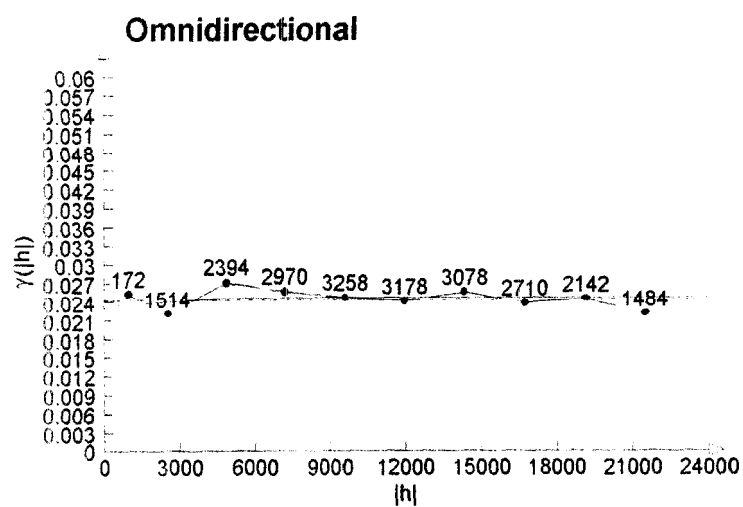


Figure IV-1

Krigeage : rendements - unité A

Variable : Rendement | IGF : 1.1940e-02
Gamma (h) : 0.023599 + 0.001189*Gauss 5720 (h)
Dir.(1) : 0 | anis.(l) : 1



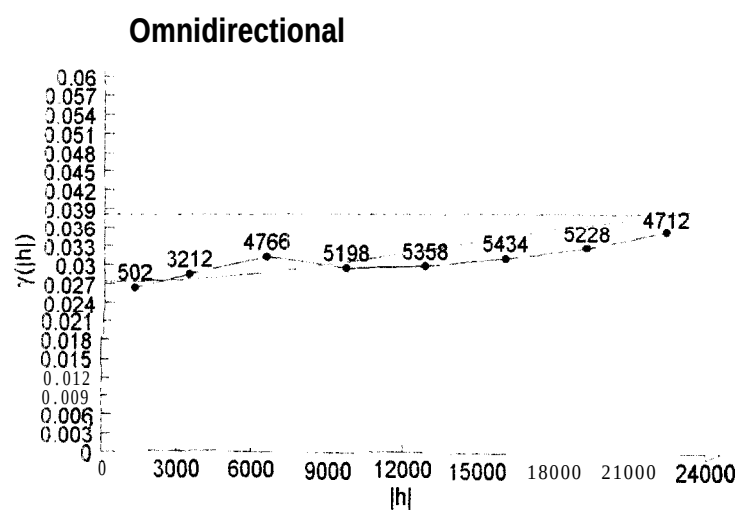
Graphique IV-10
Variogramme : rendements - unité B

(3) Conclusion

Les remarques des points (1) et (2) convergent avec celles qui découlent de l'observation des **variances** obtenues dans le chapitre II. La **variance** totale observée dans l'unité B y est faible par rapport à celle observée pour l'unité A. De même, dans les graphiques IV-1 à IV-3, on observe que les rendements varient de 0.1 à 1.2 **tonnes/ha** dans l'unité A **mais** 0.1 à 0.95 **tonne/ha** dans l'unité B. Ceci peut expliquer l'homogénéité plus importante des rendements dans l'unité B (cf graphique IV-10) qui n'indique aucune relation entre la distance et les rendements dans l'unité B. En effet, la **variance** dans l'unité B correspond à l'effet pépité (= nugget) dans l'unité A.

Le tariogramme appliqué des données A et B (graphique IV-1 1) se rapproche de celui qui était observé dans l'unité B : la discontinuité à l'origine est à nouveau importante et le variogramme se rapproche du cas particulier où le phénomène est totalement **aléatoire**, sans aucune corrélation entre deux points (= « effet de pépité pure »). Ces résultats permettent de bien montrer qu'à l'échelle locale (d'une ou deux unités primaires), les rendements semblent bien se distribuer de manière totalement aléatoire dans l'espace.

Variable : Rendement | IGF : 2.2573e-02
 Gamma (h) : 0.02749867 + 0.01569867*Gauss 36000 (h)
 Dir.(1) : 0 | anis.(l) : 1



Graphique IV-1 1

Variogramme : rendemens • unités A et B

c) Interpolation des rendements dans le département de Diourbel

L'interpolation des rendements au sein du département de Diourbel a été réalisée à partir des valeurs de rendement observées pour l'ensemble des unités primaires échantillonnées. Le graphique IV-12 montre le variogramme obtenu par l'interpolation des 80 données de rendement observées. Il indique une relation relativement bonne entre les rendements et la distance, si ce n'est un léger plateau aux courtes distances. En effet, à des distances ($=d$) proches de celles de la longueur d'une ou deux unités primaires : $3 < d < 6$ kilomètres, il y a un plateau de la **semi-variance** en fonction de la distance. Cela montre que les rendements sont totalement aléatoires par rapport à la distance correspondante à celle de la longueur d'une (ou deux) unité(s) primaire(s)). Pour des distances plus grandes, l'allure de la courbe se rapproche de « l'allure standard » d'un variogramme (voir point B de ce chapitre).

La figure IV-2 montre le krigeage réalisé au niveau du département de Diourbel. L'obtention d'une carte de la répartition spatiale des rendements au niveau du département permet d'avoir une vue d'ensemble de l'état des cultures d'arachide à la récolte. Ce type de carte pourra être réalisée à la récolte 1997. L'espace de la région étudiée est divisé en grandes zones homogènes de rendements. À la vue de la carte obtenue à partir de l'échantillonnage réalisée sur tout le département de Diourbel pour la saison de culture de 1996 (voir figure IV-2), le département peut être divisé en trois zones homogènes de rendements (voir figure IV-3). La moyenne des rendements dans le département de Diourbel est de 412 kg. Une limite arbitraire est choisie à 400 kg. Au-dessus de 400 kg/ha, les rendements sont considérés comme bons. Les rendements inférieurs à 400 kg/ha sont considérés comme mauvais. Ainsi, deux classes sont définies :

- Bons rendements : rendements > 400 kg/ha, cette classe apparaît en gris clair sur la figure IV-3
- Mauvais rendements : rendements < 400 kg/ha, cette classe apparaît en gris foncé sur la figure IV-3

La première zone est la zone centrale, les rendements y sont compris entre 260 et 400 kg/ha ; la seconde zone, située au Nord de celle-ci comprend des rendements de 400 à 560 kg/ha et la troisième zone est située la plus au sud et comprend des rendements allant de 400 à 480 kg/ha.

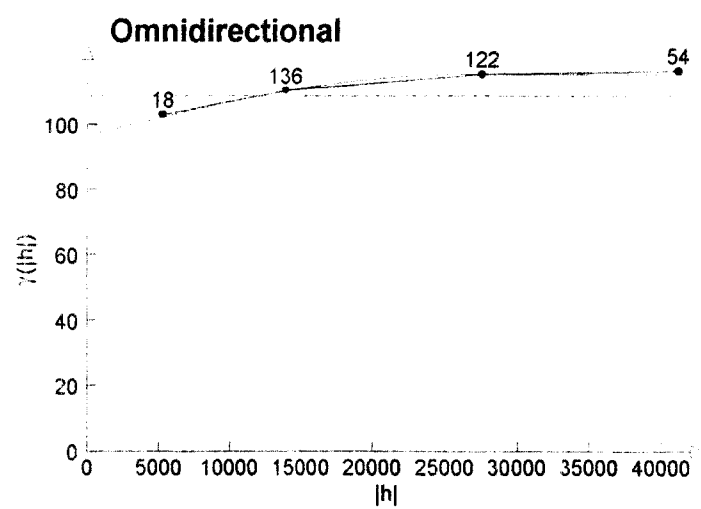
Ceci rejoint ce qui avait été observé dans le chapitre précédent dans le point relation rendements • distance parcelle/ville ou village. En effet, il y avait été démontré que la distance de la parcelle à la ville de Diourbel influence significativement les rendements au niveau du département.

2. Interpolation de la pluviométrie

Le Graphique IV-13 montre le variogramme obtenu à partir des données pluviométriques (pluviométrie totale des 18 pluviomètres des unités A et B : du 11 août au 17 octobre 1996). La courbe indique un phénomène quasi totalement aléatoire, sans corrélation entre deux points. Par conséquent, aucune interpolation par krigeage ne peut être effectuée.

Dans l'introduction générale (Chapitre I), il a été souligné qu'il existe une diminution relative de la pluviométrie du Sud vers le Nord à l'échelle du Sénégal. Cependant, les aléas de la distribution des pluies peuvent totalement effacer ce gradient, qui est bien net à l'échelle du pays, à l'échelle locale. Cette situation semble être bien représentée au niveau des unités A et B.

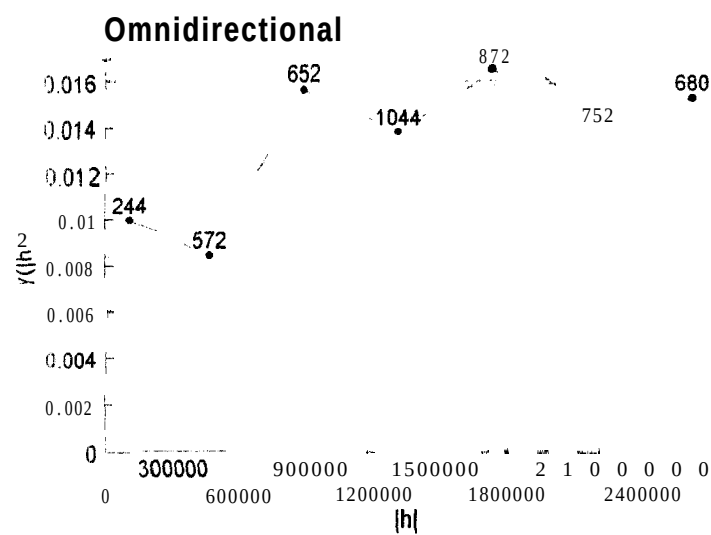
Variable : Pluvio | IGF : 1.9312e-05
 Gamma (h) : $96.8 + 18.7 \cdot \text{Sph } 26040(h)$
 Dir.(1) : 0 | anis.(1) : 1



Graphique IV-13

Variogramme : pluviométrie - unités A et B

Variable : Rendement | IGF : 3.4071e-02
Gamma (h) : 0.008399333 + 0.0076*Gauss 1390590 (h)
Dir.(1) : 0 | anis.(l) : 1



Graphique IV-12

Variogramme : rendements - département de Diourbel

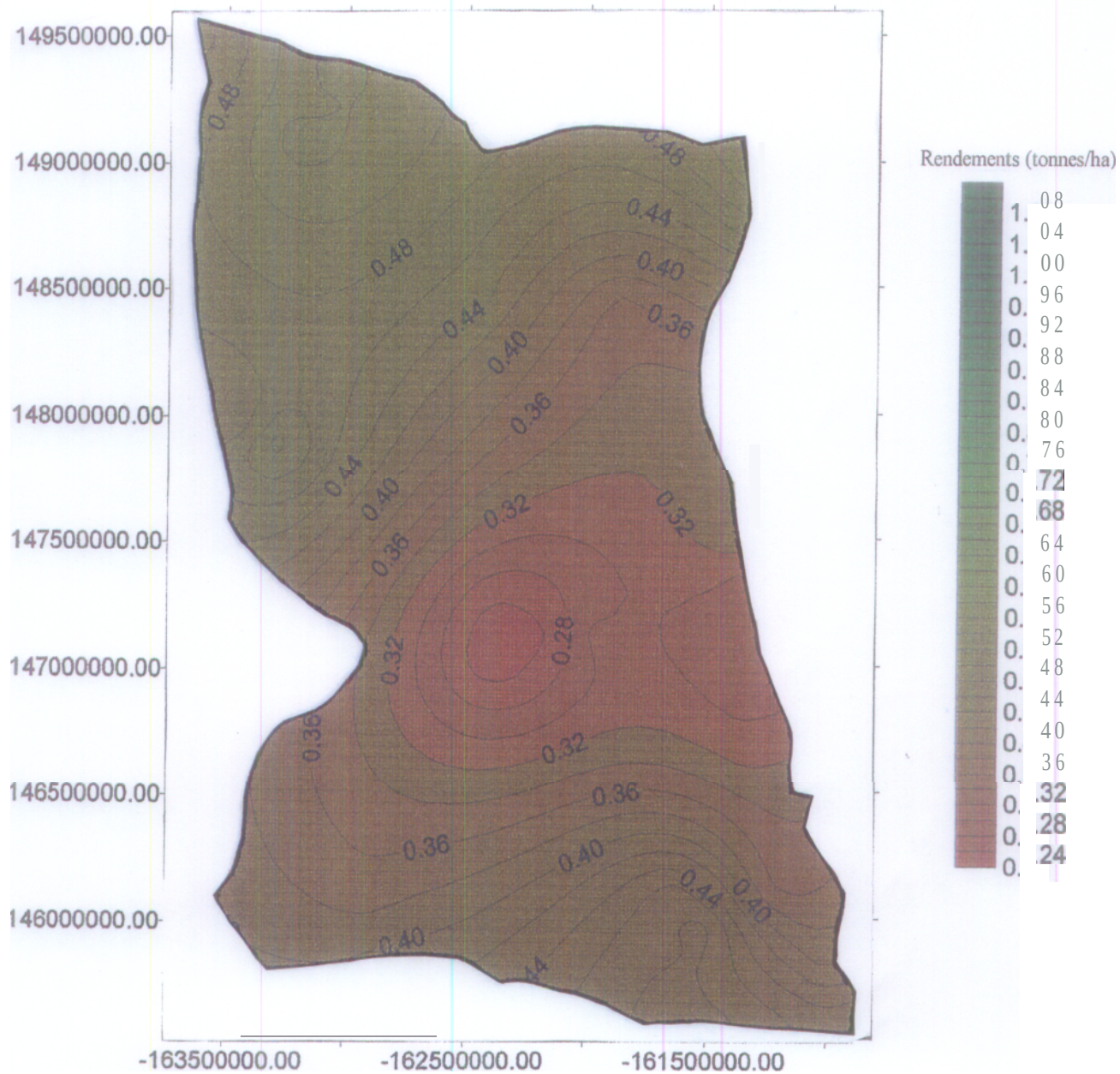


Figure IV-2

Krigeage : rendements - département de Diourbel

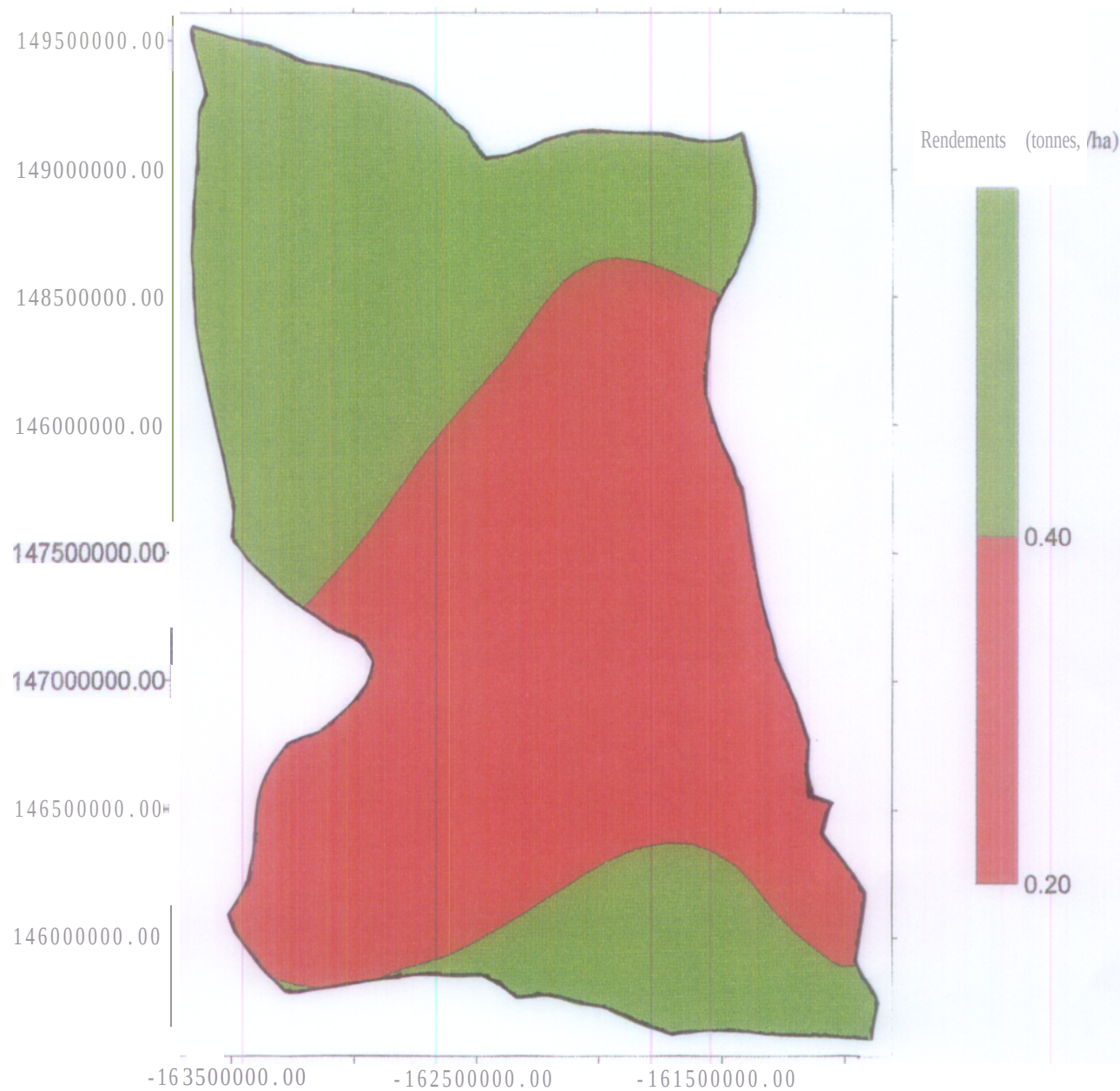


Figure IV-3

Carte de la répartition des rendements sur le département de Diourbel
Division du département en grandes zones homogènes de rendements

D. Conclusion

On observe pour les rendements au sein des unités A et B, ainsi que pour la **pluviométrie** sur ces deux unités, **qu'il** n'y a aucune relation qui peut être mise en évidence entre ces variables et la distance. Par ailleurs, dans le chapitre III, il a été établi qu'il **n'existe** aucune relation significative entre la pluviométrie et les rendements au niveau de ces mêmes unités. Il semblerait que les **résultats** obtenus dépendent de l'échelle à laquelle le travail a **été** effectué. En effet, les résultats obtenus au niveau du département indiquent déjà qu'une relation entre la distance et les rendements existe. Il conviendrait donc de réaliser une étude précise de la répartition de la pluviométrie au sein du département de la même manière que celle menée au sein des unités A et B. C'est-à-dire, qu'il conviendrait de placer des pluviomètres à proximité **même** des parcelles échantillonnées avec le taux d'échantillonnage appliqué lors de la saison de culture 1997. Cela permettrait de vérifier si la pluviométrie influence significativement les rendements de l'arachide à l'échelle du département de Diourbel.

D'autre part, la carte de la répartition des rendements au niveau du département permet de se rendre compte des potentialités d'une telle étude. Son exactitude pourra être considérablement augmentée par l'application du taux d'échantillonnage au **sein** du département pour la saison X997. L'interpolation des données de rendements au **sein** du département de Diourbel semble être fortement influencé par la position des parcelles à partir de l'échantillonnage réalisé dans le département pour la campagne agricole 1996. Ce phénomène semble **être** le résultat du type d'échantillonnage appliqué dans le département. En effet, un échantillonnage stratifié aura comme conséquence une concentration des sites d'échantillonnage, permettant un gain de temps important (voir chapitre II). Dans le plan de sondage appliqué pour la campagne de culture 1996, les parcelles sont échantillonnées deux à **deux** (deux parcelles par segment et deux segments par unité primaire). Il y aura donc une répartition des parcelles échantillonnées dans le département deux à deux. Comme le nombre de parcelles échantillonnées est faible (88 parcelles seulement pour la campagne 1996), l'interpolation des rendements sera fort influencée par la position de ces paires de points (= parcelles). Le plan de sondage établi pour les campagnes futures dans le chapitre II (soient une parcelle par segment et **quatre** segments par unité primaire) aura comme conséquence : d'étendre les zones d'échantillonnage au sein d'une unité primaire diminuer l'influence locale des valeurs de rendements des parcelles échantillonnées sur leur interpolation aux zones non échantillonnées. Ainsi, le plan de sondage proposé dans le chapitre II semble être plus adapté à l'obtention d'une carte des rendements moyens sur le département en rendant le réseau d'échantillonnage plus lâche au sein d'une unité primaire.

V. Conclusion générale

La détermination de la taille d'échantillon au sein du département de Diourbel constitue une première étape indispensable pour la suite de ce mémoire lors des campagnes agricoles futures. En effet, elle a permis d'analyser les rendements dans le département avec une précision connue, tout en respectant les contraintes de coût et de temps. Le plan de sondage appliqué jusqu'à présent ne semble pas adapté à une étude approfondie de la variation des rendements au sein du département. Il est appliqué sur un échantillon trop restreint. De plus, la stratification utilisée ne semble pas non plus convenir à l'étude de la variation spatiale des rendements au sein du département. Ce sondage stratifié à plusieurs niveaux induit en effet une repartition agrégée des parcelles échantillonnées. Ce groupement spatial des parcelles influence fortement l'interpolation des données de rendement. L'application du plan de sondage déterminé dans le chapitre II aux campagnes futures devrait :

- diminuer les variances internes des unités primaires
- améliorer l'interpolation des données de rendement en élargissant l'étendue de l'échantillonnage au sein d'une unité primaire. En effet, ce plan de sondage propose une parcelle à échantillonner par segment (ou unité secondaire d'échantillonnage) et quatre segments par unité primaire. (Celui appliqué jusqu'à présent comprend deux parcelles par segment et deux segments par unité primaire).

Le chapitre III décrit dans un premier temps la collecte des données de rendement. Cette partie du chapitre consiste en une méthodologie proposée pour

- délimiter et cartographier les limites des zones d'échantillonnage,
- recenser les parcelles d'arachide,
- collecter les données complémentaires sur les techniques culturales, sur les caractéristiques agronomiques des parcelles d'arachide suivies, ainsi que sur les exploitants. Ces données ont permis d'analyser les rendements en fonction de ces différents facteurs.

Des fiches d'enquête pourront être utilisées lors des campagnes futures.

L'analyse de la variation des rendements de l'arachide dans le département de Diourbel a permis de mieux comprendre les facteurs humains et les techniques culturales de la population et les facteurs physiques liés au milieu de la zone étudiée.

Les techniques culturales utilisées par la population dans le département de Diourbel présentent une homogénéité importante :

- l'application de fumure est très peu pratiquée. En effet, la fumure minérale est hors de prix pour les exploitants et la fumure organique n'est pratiquement pas appliquée sur les parcelles échantillonnées. La conséquence directe est la baisse de la fertilité naturelle des sols : élément caractéristique des terres cultivées dans le bassin de l'arachide.
- en préparation du sol, les semoirs et les rotations sont autant de techniques culturales qui sont aussi très homogènes dans les parcelles suivies.

D'autre part, de nombreuses recherches sont menées pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse aboutissant à la création de nouvelles variétés plus résistantes. Cependant, ces variétés sont souvent hors de prix pour les exploitants qui utilisent en majorité la même variété.

En ce qui concerne les facteurs édaphiques, le milieu physique est également caractérisé par une grande homogénéité à l'échelle de Diourbel. Plus de 85 % de cette zone est recouverte

par des sols de type dior, ayant en commun des caractéristiques **agronomiques** identiques et correspondent à de bons « sols à arachide ».

Les facteurs humains caractérisant la répartition spatiale de la population au sein du département de Diourbel semblent fortement liés à l'histoire de la colonisation des terres dans le bassin de l'arachide. Deux situations actuelles de la répartition de la population dans le bassin de l'arachide sont intimement liées à l'histoire de la colonisation des terres dans cette région. La première situation correspond à la séparation fondamentale du bassin de l'arachide en deux « régions ethniques » différentes (Sérers et Wolofs) qui se rejoignent à la hauteur du département de Diourbel en une frange mixte de population. Chaque ethnie est caractérisée par des densités de population et des techniques culturelles qui leur sont propres et dont les conséquences sur la répartition spatiale des rendements dans le bassin de l'arachide peuvent ne pas être négligeables, mais sans doute à moindre mesure dans le département de Diourbel. La seconde situation correspond à l'expansion du bassin de l'arachide vers l'Est. Cette expansion a suivi l'extension des chemins de fer à partir de Diourbel, dans un premier temps vers le Nord et vers le Sud à l'échelle du département, puis vers l'Est à l'échelle du bassin de l'arachide. La conséquence directe est le reculement des friches et des jachères et la diminution de la fertilité naturelle des sols. La répartition des rendements de l'arachide au sein du département semblerait être liée à cette expansion de la population.

La pluviométrie mesurée à l'échelle **locale** sur deux unités d'échantillonnage montre une répartition dans le temps très variable au sein d'une même saison des pluies. A cette **variation** saisonnière s'ajoute des variations annuelles pouvant aller jusqu'à 100 %. Enfin, la **variation spatiale** des pluies représente un facteur supplémentaire qui, additionné aux deux précédents, rendent chaque campagne agricole un réel défi aux exploitants.

Peu de facteurs parmi ceux étudiés influencent significativement les rendements. De plus, ceux-ci n'expliquent qu'une faible partie de la **variance** totale. Trois raisons peuvent expliquer cette situation :

1. La première est un problème d'échelle géographique **au** niveau des unités A et B. Ainsi, la pluviométrie, pour laquelle il est établi qu'elle est le facteur déterminant principal des rendements de l'arachide, n'explique que 9 % de la **variance** totale. En effet, les aléas climatiques à l'échelle locale effacent le gradient Nord-Sud pluviométrique existant au **niveau** du pays.
2. L'homogénéité des pratiques culturelles au sein des unités échantillonnées ne permet pas d'en étudier l'influence sur les rendements.
3. A l'échelle du département, le faible taux de sondage utilisé lors de la **campagne** 1996 induit des valeurs **élevées** de **variance** interne au niveau des unités primaires.

Enfin, la géostatistique a permis d'étudier la variation spatiale des rendements au niveau du département. L'obtention de cartes de la répartition spatiale des rendements par l'**application** de fonction d'interpolation permet d'en estimer la variation moyenne au niveau du département.

Ce **type** de projet devrait être étendu à une échelle géographique plus petite dans les années à venir pour aboutir, à terme, à l'application du programme mené par le C.E.R.A.A.S. en collaboration avec des organismes spécialisés **au** niveau national. La collaboration avec le C.S.E.²⁸ permet en outre le développement de l'étude des superficies cultivées dans le département de Diourbel (Temara 1997). L'application d'une telle étude à d'autres cultures telles que le mil et le niébé fait partie des perspectives du C.E.R.A.A.S.

²⁸ Centre de Suivi Ecologique

La détermination de la taille d'échantillon, l'analyse des facteurs explicatifs des rendements et l'analyse spatiale des rendements permettent d'établir les bases de l'application de ce projet à une **échelle** géographique plus petite et une intensification de l'étude dans l'explication de la variation de ces rendements par les variables qui leur sont liées

Enfin, l'intégration de données de la télédétection par la méthode des indices de végétation dans le calcul d'une régression multiple devrait être réalisée pour le suivi des rendements pour la campagne agricole 1997.

Bibliographie

- Adrian 1968. Valeur alimentaire de l'arachide et de ses dérivés. Maisonneuve et Larose. Série scientifique n° 7. Paris.
- American Peanut Research and education society. Peanut science and technology 1982. A.P.R.E.S. Youkoum (Texas).
- Angladette A. et Deschamps L. 1974. Problèmes et perspectives de l'agriculture dans les pays tropicaux. Techniques agricoles et productions tropicales. G.P. Maisonneuve et Larose. Paris.
- Annerose D.J M. 1990. Recherche sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse. Adaptation au cas de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) cultivée au Sénégal. Thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur en physiologie végétale. Université de Paris VI.
- Bartholome E. 1986. Estimation des rendements agricoles à l'aide des indices de végétation. Centre commun de recherche. I.S.P.R.A. Italie.
- Beyaloum N. 1994. Etude comparative du développement agrophysiologique de cinq variétés d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) cultivées au Sénégal durant les deux premières phases de leur cycle en vue d'alimenter en données le modèle Ara.B.Hy. Centre d'Etudes Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse.
- Billaz R. et Ochs R. 1961. Stades de sensibilité de l'arachide. Oléagineux v 16, n° 10, p. 605-611.
- Billaz R. 1969. L'alimentation en eau de l'arachide dans les sols diors du Sénégal. I R.H.O., rapport multigraphié.
- Bockelee-Morvana 1983. Les différentes variétés d'arachide. Répartition géographique et climatique, disponibilité. Oléagineux 1983 (2), p. 73-116
- Burrough P.A. 1986. Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment. Oxford science publications.
- Cochran G W. 1953. Sampling techniques. Wiley publications in statistics. New York,
- Curran P. 1988. The Semivariogram in Remote Sensing : an introduction. Remote Sensing of Environment. 24, p.493-507.
- C.S.E 1996. La base aréolaire de sondage (note sur l'actualisation de la base aréolaire de sondage en 1993, non publiée).

- Dagnelie P. 1986 (1). Analyse statistique à plusieurs variables. Les Presses Agronomiques de Gembloux.
- Dagnelie P. 1986 (2). Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomique. Vol 2. 2^e édition. Gembloux : J. Duculot. p. 427.
- Duhresson A , Marchal J.-Y., Raison J.-P. 1994. Les **Afriques** au Sud du Sahara. Géographie Universelle. **Belin-Raclus**.
- Forestier J. 1973. Caractères végétatifs, croissance et rendement de l'arachide hâtive. Cahiers O.R.S.T.O.M. Série Biologie, 1973 (19), p. 43-62.
- Gaye M. 1975. Contribution à l'étude du bilan hydrique de deux grandes cultures au Sénégal : l'arachide et le mil **souna**. Travail de Fin d'Etudes. Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat à Gembloux.
- Gillier P., Silvestre P. 1969. L'arachide. Maisonneuve et Larose. Techniques agricoles et productions tropicales **15**. Paris.
- Gregory W.C , Smith B.W., Yabrough J.A. 1951. Morphology, genetics and breeding in the peanut. The unpredictable legume. A symposium. Washington. The Nat. Fert. Assoc. P. 28-88
- Guissard R. 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. T.F.E. Section Interfacultaire d'agronomie. U.L.B.
- Hallin M. 1997. Cours de probabilités et statistique. Faculté des sciences et institut de statistique. U.L. **B**.
- Isaaks H. E. et Srivastava R. 1989. An introduction to applied geostatistics Oxford University Press.
- Janssen J. 1996. Cours d'expérimentation. Section Interfacultaire d' **Agronomie**. 2^e grade ingénieur U.L.B. Bruxelles.
- Laouormadji K. 1994. Application du modèle Ara.B.Hy. au suivi de la campagne arachidière 1994 : cas de la région de Diourbel au Sénégal. Centre d'Etudes Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse.
- Marone E. 1994. Etude des relations hydriques entre le sol et la plante chez l'arachide pour une meilleure définition des concepts de sécheresse et de stress hydrique. (entre d'Etudes Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse.

- Massard M. 1993. Comparaison de quatre méthodes d'estimation des superficies agricoles (non publié). UCL.
- Mayeux A. et Grossans R. 1996. Programme phytotechnie arachide. Rapport d'activités - campagne pluviale 1995. I.S.R.A. C.N.R.A. Bambey. D.R.C.S.P. C.R.A.D. Programme oléoprotéagineux.
- M.C.D./SEDES 198 1. Guide des enquêtes statistiques pour le suivi des opérations de développement rural. Ministère de la Coopération et du **Développement/SEDES**. Paris.
- M.C. D 1993 **Mémento de l'Agronome**. Collection Techniques rurales en Afrique. Paris.
- Montenez J. 1957. Recherches expérimentales sur l'écologie de la germination chez l'arachide Dir. Agric. Forêts Elevage, 130 p. Bruxelles.
- Moser C. A 1969 **Survey methods in social investigation**, p.95-98. Heinemann. London.
- Orsati X. 1996. Système de repérage des zones de calamité. Centre **d'Etude** Regional pour l'**Amélioration** de l'**Adaptation** à la Sécheresse, février 1996.
- Palm R. 1996, Plans d'échantillonnage. Cours de la faculté des sciences agronomiques de Gembloux. Institut de statistique et informatique.
- Pehaux Y, 1970. L'arachide au Niger. Etudes d'économie africaine. Série Afrique n° 1 Paris : Pédone.
- Pappy L. et Péliissier P. 1952. Problèmes agricoles au Sénégal, agriculture traditionnelle et **riziculture** mécanisée. Centre I.F.A.N. St Louis.
- Péliissier P 1966. Les Paysans du Sénégal, les civilisations agraires du **Cayor** à la Casamance. **Imp** Fabrègue, St Yrieux (Haute-Vienne).
- Péliissier P. et Laclavère G. 1980. Atlas du Sénégal. Les atlas jeune **afrique**. Parrs
- Raymond H., Legotien H. 1973. **Les** méthodes d'enquêtes par sondage en milieu rural africain. Techniques et développement, n° 8 : 16-21 ; n°9 : 23-27.
- Richter C.G. 1899. **Beiträge** zur Biologie von **Arachis hypogea**. Breslau. Inoug. Diss. Kgl. Botanisch. Gar-tan. A. Schreiber, 39 p.
- Schenk R. V. 1961. Development of the peanut **fruit**. Georgia agric. Exp. Stat. Bull. N° 22, 53 p.

Temara S. 1997. Mesure des superficies agricoles dans le département de Diourbel (Sénégal)
Etude de faisabilité de l'application de la méthode des coordonnées rectangulaires.
Rapport de stage de spécialisation. Section Interfacultaire d'Agronomie U.L.B.

USAID/RSI 1984 (1). Cartographie et télédétection des ressources de la république du Sénégal. Etude de la géologie, de l'hydrologie, des sols, de la végétation et des potentiels d'utilisation des sols. SDSU-RSI-86-01.

USAID/RSI 1984 (2). Carte morphopédologique du Sénégal au 1 : 500 000
Cartographie et télédétection des ressources naturelles pour le plan national d'aménagement du territoire. Projet N° 6850233.

Vieira Da Silva J. 1988. Amélioration et physiologie de l'arachide en région semi-aride. Les légumineuses à graines, février 1988, p. 113-121.

Wakemaegel H. 1992. Cours de géostatistique multivariable. Ecole des Mines de Paris, 62 p.

Wehster R., Curran P., Munden J. 1989. Spatial correlation in reflected radiation from the ground its implications for sampling and mapping by ground-based radiometry. Remote Sensing of Environment, n° 24, p. 67-78.

Wigton W. 1990. Construction of an Area Frame Sampling, Examples in Equator., Peru, Application of Remote Sensing to Agricultural statistics crop inventories and Area Frame Sampling, in Euro Courses, Ispra, 24-28, september 1990.

Wilmet J., Massart M., Pétilion M., Wolff E., Mouchet M., Leroy P. Analyse des systèmes agro-pastoraux dans des régions confrontées à la dégradation de l'environnement. Telsat II-08. Rapport final. Laboratoire de télédétection et d'analyse régionale, décembre 1992, U.C.L.

Wolff E. 1996. Cours de Géographie de l'Afrique Tropicale. Cours spéciaux - orientation aménagement du territoire. Section Intefacultaire d'Agronomie U.L.B.

World Food Program 1996. Carte des densités de population. Recherche sur inter-net - recensement de population de 1988. Remise à jour 1996.