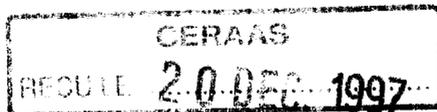




CR000822



istom

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

186097

Rapport de stage

EXPERTISE DE LA METHODE DES SUPERFICIES AGRICOLES
PAR TRIANGULATION

Présenté par : Raphaël MARTIN

Directeur de stage : Harold ROY-MACAULEY

Tuteur de stage : David BOGGIO

CERAAS

BP 3320 Thiès Escale
Thiès Sénégal

Tél : 951 49 93 / 94

Tél / Fax : 951 49 95

Fax : 951 50 03

e-mail : ceraas@syfed.refer.sn

Du : 29/06 **au** : 20/11/1997

MARTIN
SIC 1.

Remerciements

Je tiens à remercier monsieur Harold ROY-MACAULEY, directeur du Centre d'Étude pour l' Amélioration de l'Adaptation à la sécheresse, pour l'accueil, les moyens financiers et techniques dont j'ai pu bénéficier ; monsieur David BOGGTO, pour la formation et les conseils qu'il m'a prodigués ; l'équipe du CERAAS, pour son accueil et sa collaboration technique , et enfin les techniciens Mamadou Bâ, Michel Diabaye, Youssou Diallo, Ndiao Fall, Amadou Fall Faye, Daouda Faye, Aliou Gning, Souleymane Kandji, Saliou Mbaye, Ibrahima Sarr, Lansana Sow, Moustapha Sy. Ibrahima Thiam, pour leur collaboration technique.

SOMMAIRE

| | | |
|------|--|----|
| 1. | Introduction | 5 |
| 2. | Présentation du contexte de l'étude | 5 |
| 2.1 | Contexte institutionnel et géographique | 5 |
| 2.2. | Présentation du SIG mis en place dans le département de Diourbel | 9 |
| 3. | Méthode de mesure des superficies agricoles | 18 |
| 3.1. | Aspects théoriques.. | 18 |
| 3.2. | Organisation du travail des équipes | 23 |
| 3.3. | Saisie et correction des données.. | 25 |
| 4. | Résultat?..... | 32 |
| 4.1. | Analyse géostatistique de la répartition des cultures | 32 |
| 4.2. | Analyse des résultats | 35 |
| 5. | Expertise de la méthode de mesure des superficies | 44 |
| 5.1. | Précision des mesures | 44 |
| 5.2. | Coût d'une campagne | 45 |
| 5.3 | Planning des mesures | 47 |
| 5.4. | Proposition d'un protocole.. | 52 |
| 6. | Conclusion et perspectives.. | 53 |

RESUME

Depuis 1995, le CERAAS travaille sur la mise en place d'un SIG dans le département de Diourbel qui a pour finalité la prévision des rendements. Dans un objectif de l'étendre à des régions géographiques plus vastes, les protocoles d'acquisition de données doivent être validés et finalisés. Les données contenues dans un SIG couvrent des thèmes différents. Une des données élémentaires du SIG est le taux d'occupation pour les différentes cultures. L'acquisition de ce type de données nécessite une méthode adaptée et fiable. C'est dans cet objectif qu'une expertise de la méthode de mesure des superficies par triangulation a été réalisée. En plus de présenter l'aspect théorique de la triangulation, ce travail propose une méthode pour le recrutement et l'organisation des équipes. L'expertise met en évidence l'importance d'un suivi rapproché des équipes qui permet un gain en précision conséquent. Le traitement des données par analyse géostatistique confirme la qualité des estimations. L'évaluation du rythme moyen de travail des équipes et compte tenu de la contrainte liée au temps, le recrutement de six équipes de trois personnes paraît inévitable. De plus afin de limiter les pertes d'infonction liées à un semis tardif, la date du premier août a été choisie pour démarrer les mesures. Ce travail tente de mettre au point un protocole compatible avec les objectifs du SIG.

1. INTRODUCTION

“La conception, l’élaboration et la mise en œuvre de systèmes d’informations géographiques (SIG) sont devenues relativement courantes dans les pays du Nord, et notamment sur les espaces urbains. Elles le sont beaucoup moins dans les pays d’Afrique, où pourtant les enjeux ne sont pas moindres.” (Mohamed, 1995).

Aujourd’hui la collecte, l’analyse et la mise à disposition de statistiques agricoles fiables sont devenues indispensables dans les processus de décision au niveau gouvernemental. En effet, elles permettent la prise de décisions pertinentes et ainsi un développement agricole plus cohérent. Le SIG semble être l’outil le mieux adapté pour remplir ces fonctions. Il apporte un élément de réponse au problème de coût de production de données, facilite leur traitement et permet une diffusion de l’information adaptée aux besoins des utilisateurs.

C’est dans cette optique que, depuis 1995, le Centre d’Etude Régional pour l’Amélioration de l’Adaptation à la Sécheresse (CERAAS) étudie la mise en place d’un SIG dans le département pilote de Diourbel (Sénégal), avec l’objectif de l’étendre à l’échelle nationale.

Ce SIG doit permettre, en alliant des outils issus de la modélisation du fonctionnement des cultures et des observations de terrain, de prévoir avant son terme la production de la campagne agricole.

Plusieurs étapes ont conduit à la mise au point d’un protocole de mesure des superficies agricoles. L’objectif de la campagne 1997 est la validation et la finalisation des procédures de relevé des surfaces emblavées.

Ce travail comporte quatre parties :

- La première partie présente dans un premier temps la structure d’accueil et la zone d’étude, dans un deuxième temps le SIG mis en place dans le département de Diourbel ;
- La deuxième partie détaille l’aspect théorique et pratique de la méthode utilisée ;
- La troisième partie présente la méthode qui permet, à partir d’une analyse géostatistique, d’obtenir les cartes des taux d’occupation des principales cultures ;
- La quatrième partie fait un bilan des problèmes rencontrés et tente d’apporter une solution à chacun d’entre eux.

2. PRESENTATION DU CONTEXTE DE L'ETUDE

2.1. CONTEXTE INSTITUTIONNEL ET GEOGRAPHIQUE

2.1.1. Thème du stage

Un SIG est constitué d'informations de natures différentes liées les unes aux autres par leurs coordonnées géographiques, pour former des couches à thèmes (layers ou coverages). La superposition de ces couches permet d'obtenir des cartes. Les informations constituant le S.I.G. du département de Diourbel peuvent être répertoriées en quatre groupes (Guissard, 1995)

- les données à caractère théorique (espèce, variété, durée du cycle)
- les données à caractère agricole
- les données à caractère climatique
- les données socio-économiques

L'objet de ce présent travail concerne essentiellement la collecte, la saisie et le traitement des données à caractère agricole et en particulier la mesure des surfaces emblavées, en vue d'obtenir les importances relatives de chacune des cultures.

Dans le cadre de l'expertise de la méthode de mesure des superficies par triangulation en vue d'étudier son extension à l'échelle régionale, quatre objectifs ont été définis :

- mettre au point un protocole qui décrira la formation de la main d'oeuvre et les aspects logistiques et financiers,
- encadrer sur le terrain les équipes de techniciens chargés du relevé des superficies,
- évaluer les apports des nouveaux protocoles mis en place en 1997,
- exploiter les données recueillies en 1997 par une analyse géostatistique.

2.1.2. La structure d'accueil

2.1.2. 1. Le CERAAS

Le CERAAS est un pôle régional de recherche et de formation sur l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse des végétaux, créé en 1989 à l'initiative des institutions nationales de recherche agronomique membres de la CORAF¹ et du CILSS².

Le CERAAS trouve son origine dès 1983 avec la mise en place par l'ISRA¹ et le CIRAD², d'un nouveau programme sur le thème de l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse de l'arachide

¹ Conférence des Responsables de recherche Agronomiques africains.

² Comité permanent Inter-Etat de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel.

L'objectif de ce programme est d'améliorer la production arachidière en zones sèches, grâce à la création de variétés mieux adaptées aux conditions pluviométriques, sans accroître l'investissement déjà réalisé par l'agriculteur de ces régions.

L'originalité et les résultats des travaux ont valu à l'ISRA la reconnaissance de ses compétences auprès des différentes structures nationales de recherche africaines et européennes. C'est ainsi que les instituts de recherche travaillant dans le domaine de l'adaptation à la sécheresse ont confié un mandat à ce programme national de l'ISRA pour développer ses compétences et les mettre à la disposition des instituts et des programmes de recherches de la région.

Les projets de recherche du CERAAS se sont développés autour d'une approche pluridisciplinaire coordonnée, associant la physiologie, la sélection, la génétique, la biochimie, la bioclimatologie, l'agronomie et la modélisation.

Les activités de recherche qui y sont effectués, associent des chercheurs et des experts d'institutions d'Afrique, d'Europe et d'Amérique du Sud qui sont accueillis pour étudier une problématique spécifique dans le cadre de leur programme national de recherche, A ce jour, 18 espèces, essentiellement vivrières, dont l'arachide, le niébé, l'igname, le haricot, le sorgho, et le coton sont étudiées.

La figure 1 présente l'organisation des différents services au CERAAS.

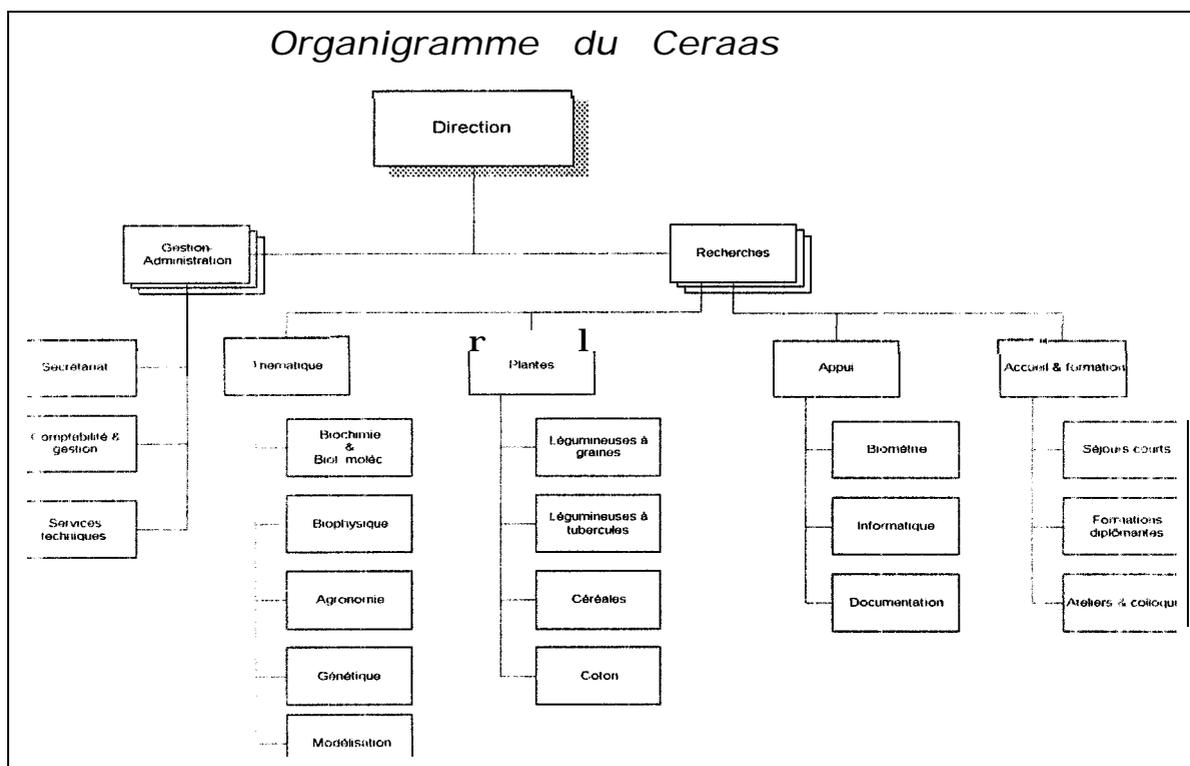


Figure 1 : Organigramme du CERAAS

¹ Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

² Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

2.1 .2.2. Objectifs du projet

L'objectif du CERAAS est de contribuer à l'amélioration de la production agricole en zones sèches à travers des activités de recherche et de formation. Les principaux thèmes étudiés sont :

- les mécanismes agrophysiologiques de l'adaptation à la sécheresse ;
- la génétique des caractères adaptatifs.

2.1.2.3. Moyens et infrastructures du CERAAS

Le CERAAS a bénéficié de financements de l'Union Européenne (DGXII sur le programme STD 3 DGVIII sur le FED' 7 régional). La France, et la Belgique et certains pays de la région ont également contribué au financement des projets du CERAAS.

Les bureaux et l'ensemble des laboratoires du CERAAS sont basés dans l'enceinte de l'ENSA, à Thiès. Il dispose également de laboratoires et de parcelles expérimentales au CNBA²/ISRA, à Bambey. Ce centre de recherche possède les infrastructures adéquates pour accueillir des chercheurs venant de tous pays pour des séjours de recherche et/ou de formation par la recherche laboratoires et serres bien équipés, terrain d'essais, plusieurs systèmes d'irrigation classique, différentiel ou sous serres.

2.1.3. Présentation de la zone d'étude : le département de Diourbel

2.1.3. 1. Situation géographique

La zone d'étude est située dans le bassin arachidier, l'une des régions naturelles du Sénégal dont la superficie potentielle est de 50000 km². La zone Nord du Bassin Arachidier couvre les régions de Diourbel, de Thiès ainsi que les départements de Kébémér et Louga. Elle s'étend sur plus de 20% du territoire national et concentre près de 30% de la population totale. Elle est limitée à l'Ouest par la zone des Niayes et au Nord par la zone sylvopastorale.

Le département de Diourbel a une superficie de 1 296 km². Il constitue, avec les départements de Batnbey et de Mbacké, la région de Diourbel. Le département de Diourbel est situé à 1 TO km à l'Est de Dakar (cf figure 2)

¹ Fond Européen du Développement.

² : Centre Nord Bassin Arachidier.

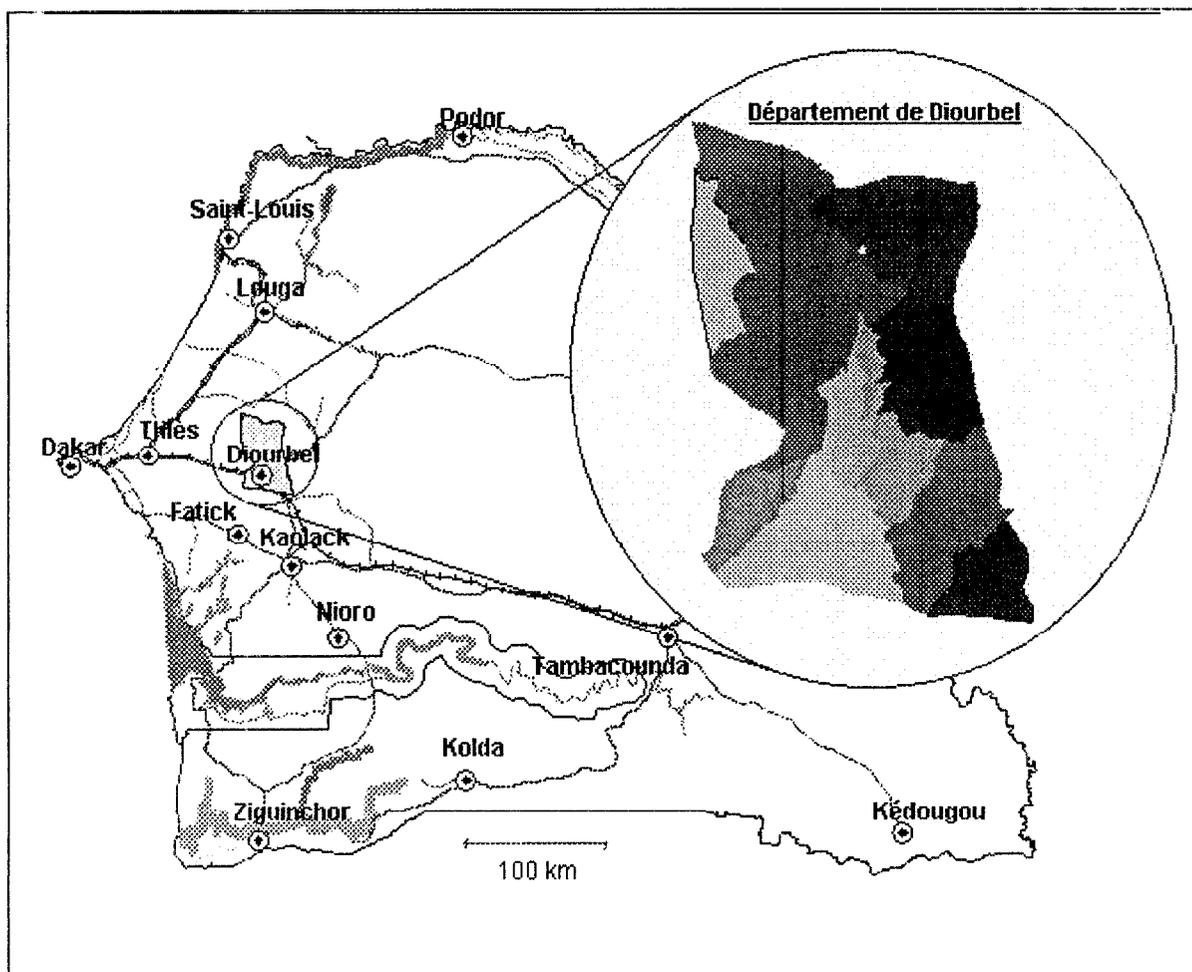


Figure 2 **Sénégal**. médaillon : département de Diourbel.. découpage en communautés rurales

2.1.3.2. *Caractéristiques climatiques*

Les précipitations dans la zone soudano-sahélienne sont caractérisées par une forte variabilité inter et intra-annuelle. Les risques de déficit hydrique sont particulièrement importants en début et en **fin de saison** des pluies. Ainsi, **sur** le département de Diourbel, entre 1969 et 1997, la pluviosité a varié de 300 **mm** à près de 700 **mm**, avec régulièrement des périodes de sécheresse en cours de saison des pluies. On note aussi une importante irrégularité dans la répartition spatiale des pluies.

Le type de sécheresse auquel **les** agriculteurs du département de Diourbel ont dû faire face s'est caractérisé par une décroissance continue de la pluviosité au cours de la période 1972- 1996

2.1.3.3. *Agriculture*

La longue période de sécheresse qu'a connu l'ensemble du Sahel a poussé les **agriculteurs** à adopter de nouvelles techniques culturales. D'autres facteurs incitent à ces changements **comme** la croissance démographique ou la monétarisation des échanges. Tous ces facteurs interagissent entre eux et obligent les agriculteurs à s'adapter aux nouvelles conditions du milieu. L'accentuation des risques climatiques pousse les agriculteurs à adopter des pratiques anti-aléatoires.

Les agriculteurs choisissent de cultiver une gamme de culture moins large, favorisant les cultures céréalières (mil, sorgho) au détriment des cultures de rente. Cependant,

dans ces changements, on ne doit pas voir le seul fait de la sécheresse; la dégradation des conditions de commercialisation pour les cultures de rente comme l'arachide contribue à ces modifications.

Les agriculteurs tendent à se diriger vers des techniques culturales simplifiées. Le travail du sol est de moins en moins important. Cette orientation s'explique de plusieurs façons : les attelages pour le labour sont soit trop faibles en fin de saison sèche, soit ils ont été vendus afin de subvenir aux besoins. On note aussi la volonté de s'adapter à la sécheresse en raccourcissant le temps de mise en place des cultures.

La diversification des techniques culturales se développe de deux façons (Milleville, 1989)

- échelonnement des cycles de développement des plantes au sein de la même parcelle réduisant l'impact d'une période sèche en cours d'hivernage.
- les associations de cultures permettent la compensation d'une levée insuffisante causée par un stress hydrique des premiers semis (généralement le mil) par le semis ultérieur d'autres espèces (niébé, sorgho, pastèque).

2.1.3.4. Economie

Au Sénégal, l'agriculture représente le secteur prédominant de l'économie en terme d'emplois, puisque huit habitants sur dix vivent directement ou indirectement de l'agriculture.

Actuellement, la balance commerciale du Sénégal est déficitaire. L'arachide, ses dérivés, le poisson et les phosphates constituent l'essentiel des exportations d'une économie qui demeure massivement soutenue par les pays développés : la France en tête, suivie d'assez loin par l'Italie, l'Allemagne, les Etats-Unis, le Japon et les institutions internationales. Par ailleurs, si la dévaluation provoque l'augmentation des prix à l'importation (biens d'équipement, pétrole, véhicules, riz, café, bois de grumes), elle a en contrepartie favorisé les productions locales.

2.2. PRESENTATION DU SIG MIS EN PLACE DANS LE DEPARTEMENT DE DIOURBEL

Le CERAAS a entrepris depuis 1995 la mise en place d'un système d'information géographique dans le département de Diourbel dans le but d'accéder rapidement à un ensemble d'informations fiables sur la situation agricole (Annerose et Guissard., 1995). Le système a été testé pour la première fois durant la saison d'hivernage 1995 sur le département de Diourbel. Bien qu'encourageant, les résultats restent cependant tributaires du travail d'échantillonnage en milieu paysan.

2.2.1. Le système d'information géographique : définition et structure

Un SIG rassemble un ensemble d'éléments dont les fonctions spécifiques permettent d'effectuer l'analyse d'une situation sous forme graphique.

Le type et le nombre d'éléments caractérisant un SIG sont variables. Certains sont incontournables comme le système de base de données, les logiciels d'affichage cartographiques et les logiciels de traitements statistiques et géostatistiques. D'autres sont optionnels et dépendent des données sources et des résultats attendus : traitement d'images de télédétection, digitalisation cartographique, modèles de simulation divers (flux de population, développement et productivité des cultures...).

Ces éléments sont généralement utilisés séparément et le SIG a pour objectif de les lier les uns aux autres.

Les données cartographiques ou géographiques permettent de déterminer la position et la forme des objets destinés à être traités. Chaque objet ou donnée sera spatialement défini par au moins deux valeurs correspondant à ses références géographiques (latitude et longitude), auxquelles sera parfois ajoutée une troisième valeur correspondant à l'altitude.

Les données contenues dans un SIG couvrent des thèmes différents. Une carte générée par un SIG présente un ensemble d'informations pouvant couvrir un ou plusieurs domaines sur un même territoire Pour simplifier la gestion des informations, les cartes sont décomposées en couches à thème (*layers* ou *coverage*) La superposition de ces couches permet de construire les cartes et de mettre en évidence certaines corrélations.

2.2.2. La base aréolaire de sondage

2.2.2.1. Définition

La base aréolaire de sondage est une base d'échantillonnage qui permet de collecter des statistiques agricoles. Elle repose sur un découpage en plusieurs niveaux de stratification de la zone étudiée. Le premier niveau est administratif et correspond au département. L'occupation des sols détermine le deuxième niveau de stratification. Il regroupe cinq catégories différentes :

1. agriculture occupant entre 50 et 100% du sol,
2. agriculture occupant entre 10 et 49% du sol,
3. agriculture occupant moins de 10% du sol,
4. forêt avec une minorité d'agriculture,
5. villages et villes.

Une fois le découpage administratif effectué, le département est subdivisé en unités primaires d'échantillonnage, les PSU¹. Un tirage au sort est effectué parmi les PSU pour déterminer lesquelles feront partie de l'échantillon à mesurer. Les PSU qui constituent l'échantillon font l'objet d'un deuxième découpage en segments. Compte-tenu de la variabilité du milieu rural, une superficie de 30 ha a été retenue comme unité de base de l'information agricole.

La liste des PSU, leur superficie, leur nombre potentiel de segments ainsi que le nombre potentiel cumulé de segments constituent une base à partir de laquelle le tirage au sort de la zone échantillon s'effectue. De cette manière, on obtient la liste des PSU qui constituent l'échantillon

Dans un deuxième temps, on sélectionne par tirage au sort deux segments par PSCJ

Ainsi l'échantillon représentatif de la zone étudiée est constitué de deux **sous-unités**

- la première sous-unité correspondant aux PSU
- la deuxième sous-unité correspondant aux segments

¹ Primary Sampling Unit

Un département est divisé en PSU qui sont elles-mêmes divisées en segments. On peut même ajouter un troisième niveau de stratification, les segments étant divisés en parcelles.

2.2.2.2. Caractéristiques . de la base aréolaire de sondage

Le découpage géographique de la base aréolaire de sondage repose sur des éléments stables et identifiables sur le terrain.

Par conséquent une des principales étapes dans la mise en place d'une telle base de sondage est la reconnaissance à partir de cartes ou de photographies aériennes des limites des PSU constituant l'échantillon. Ces limites correspondent à des éléments figurant sur les documents cartographiques et identifiables sur le terrain : pistes, cours d'eau, routes, villages...

Après avoir repéré ces limites sur les cartes topographiques, le repérage de terrain par GPS¹ permet de diviser les PSU sélectionnées en segments

La base aréolaire de sondage bénéficie d'une grande stabilité dans le temps, du fait que son découpage repose sur des éléments fixes. L'investissement nécessaire à sa construction est amorti rapidement car son actualisation d'une année à l'autre est limitée à quelques ajustements.

2.2.2.3. Hypothèses

L'échantillonnage de la base aréolaire de sondage utilisée par le CERAAS repose sur trois hypothèses (Guissard, 1995):

- les PSU sont supposées avoir une faible variabilité interne, ce qui justifie le faible nombre de segments mesurés,
- les PSU sont supposées avoir toutes la même variabilité interne, c'est pourquoi un même nombre de segments est mesuré dans toutes les PSU,
- l'essentiel de la variabilité provient de la différence entre les PSU, une bonne estimation nécessite donc un grand nombre de PSU.

Cependant, il convient d'étudier la structure de la population afin de valider les hypothèses de travail et permettre un dimensionnement correct de l'échantillon.

2.2.2.4. La base aréolaire de sondage du département de Diourbel

Mise en place de la base aréolaire de sondage

Le choix du département de Diourbel pour expérimenter le SIG CERAAS a été basé sur l'existence de la seule base aréolaire de sondage dans ce département. Cette base aréolaire de sondage a été construite en 1991 par le C.S.E.² mais pour des raisons budgétaires, elle n'a pas été utilisée à cette époque.

¹ Global Positioning System

² Centre de Suivi Ecologique

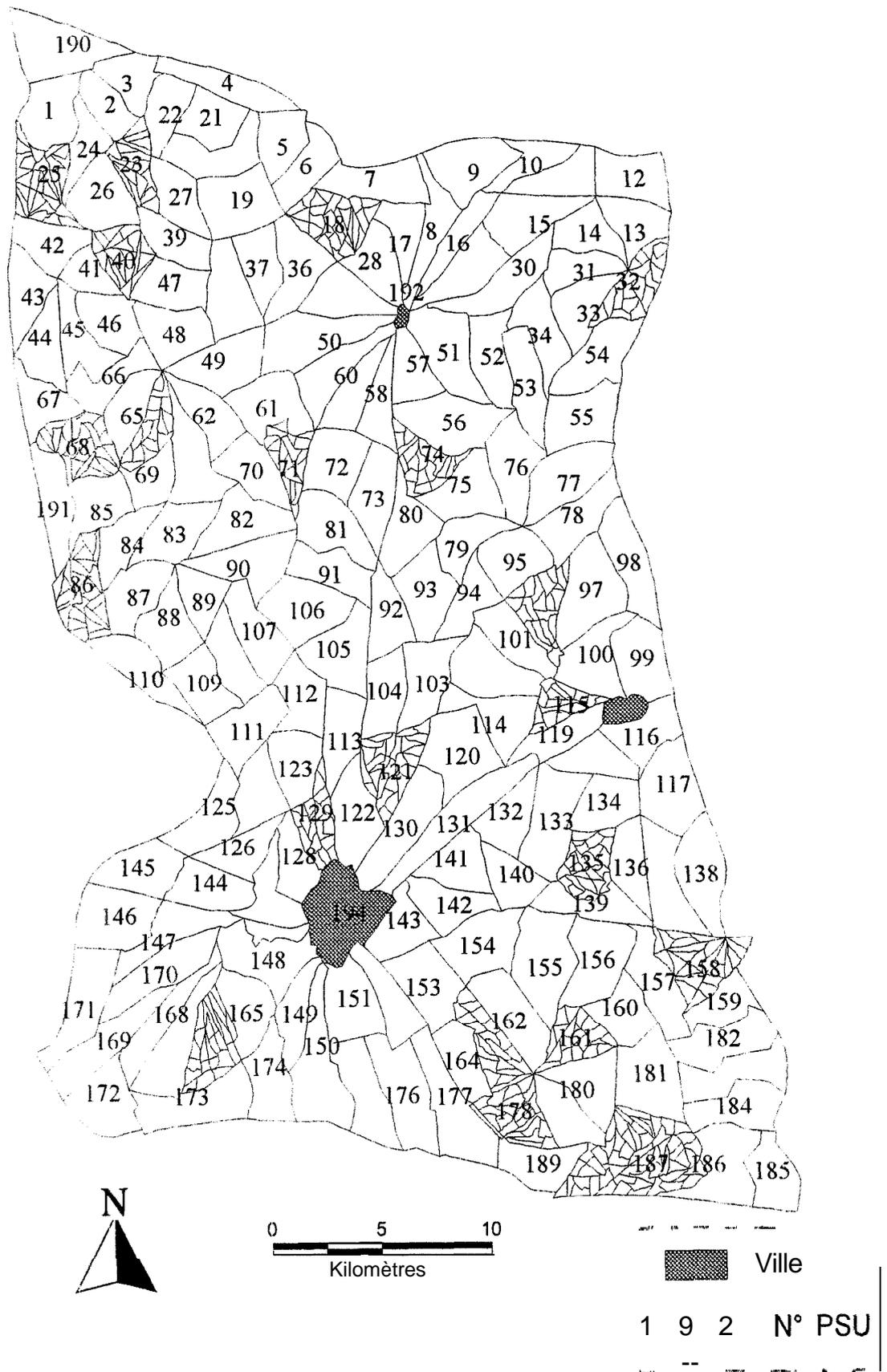


Figure 3 découpage du département de Diourbel en 194 PSU. Les PSU échantillons sont divisées en segments.

Pour la mise en place du SIG, le CERAAS a donc réactualisé la base aréolaire de sondage. Cette réactualisation s'est faite à partir de cartes topographiques au 1 : 50 000 datant de juin 1992 et de photographies aériennes récentes (1989) réalisées dans le cadre de la coopération japonaise.

Les résultats obtenus sont les suivants (Guissard, 1995) :

Le département de Diourbel est divisé en 194 PSU réparties en deux niveaux de stratification

- Trois PSLJ de niveau de stratification 5 correspondant aux villes et villages de Diourbel, de Ndoulo, de Ndindy.
- 191 PSU de niveau de stratification 1, c'est à dire que l'agriculture y occupe entre 50 et 100% du sol.

La zone échantillonnée est constituée de 22 PSU choisies parmi les 191 PSU de niveau de stratification 1 (cf figure 3).

Repérage sur le terrain (Olivier. 1997)

Les pistes principales, tracées et cartographiées, délimitent le plus souvent les PSU et restent stables d'une année à l'autre. Ce n'est pas le cas des pistes secondaires. Celles-ci, durant la saison des pluies peuvent être déviées et même disparaître sous la végétation. Il est impossible de se baser totalement sur les cartes créées à partir de la Base Aréolaire de Sondage réalisée en 1993. De nombreuses modifications ont dû être apportées aux cartes. Les limites des PSU ont cependant été conservées.

Sur le terrain, afin de pouvoir se repérer, la méthode utilisée est le marquage des arbres à la peinture. La principale difficulté rencontrée lors de la réalisation de ce travail concerne la reconnaissance des segments échantillons sur le terrain. Les photographies aériennes prises pour réaliser le découpage datent du mois de mars 1989, c'est-à-dire en pleine saison sèche. Elles ne permettent pas de réaliser un découpage qui correspond à la réalité du terrain durant la saison humide. Malheureusement, le voile atmosphérique présent en saison humide ne permet pas d'envisager l'utilisation de documents photographiques plus adaptés.

A la base, il aurait fallu se contenter des pistes identifiables et pérennes visibles sur le terrain, mais des limites de champs ont parfois dû être utilisées pour délimiter les segments. Ces limites ne sont pas visibles sur les cartes, et peuvent changer d'une année à l'autre, et même d'une saison à l'autre. puisqu'elles n'existent que durant la période d'hivernage.

2.2.3. La base de données attributaires

2.2.3.1. Définition

La récolte et l'archivage des données représentent le travail le plus important lors de la constitution d'un SIG. Une bonne gestion des données facilite le traitement et l'actualisation de l'information. C'est le rôle de la base de données attributaires. La base de données contient deux types de données : les données attributaires gérées par le logiciel Access et les données géographiques gérées par le logiciel Map-Info. Les deux types de données sont liés entre eux au moyen d'un identifiant commun.

La base doit gérer des données d'origines diverses. Aussi il est nécessaire de classer les données, suivant trois critères : la fréquence de saisie, le domaine concerné et la situation géographique.

Pour la fréquence de saisie, cinq catégories différentes de données existent :

- les données à saisie unique.
- les données à saisie annuelle,
- les données à saisie périodique (mesures de terrain effectuées plusieurs fois durant la campagne),
- les données à saisie journalière,
- les données à saisie sur commande (simulations).

Quatre catégories de données sont collectées :

- les données à caractère théorique (espèce, variété, durée du cycle),
- les données à caractère agricole,
- les données à caractère climatique,
- les données socio-économiques

La situation géographique est relevée par des données de positionnement et de géométrie qui concernent des points ou des polygones.

En tenant compte de ces trois critères, les données sont classées dans des tables qui sont liées entre elles par le biais des identifiants. L'identifiant est essentiel car il détermine les possibilités de recherches et de regroupements de données au niveau géographique. Dans le cas du SIG mis en place par le CERAAS, l'identifiant est composé de quatre caractères alphabétiques et de sept chiffres. Les quatre caractères alphabétiques permettent d'identifier la région et le département, trois chiffres permettent d'identifier la PSU, deux chiffres le segment et deux chiffres la parcelle.

2.2.3.2. Traitement des données

A partir des données, principalement trois grands types de traitements sont pratiqués :

- les traitements de statistiques classiques
- les traitements permettant la simulation du développement des cultures
- les traitements basés sur la répartition géographique des variables correspondant à l'analyse géostatistique.

2.2.4. Etapes d'une campagne de mesure

Une campagne représente la période durant laquelle les données sont récoltées. Elle est constituée d'un certain nombre d'étapes. Chaque étape correspond à la récolte d'un type de données. Il ne faut pas voir là un cloisonnement dans la récolte des différents types de données. Rien au contraire, le bon déroulement d'une étape dépend bien souvent du bon déroulement d'une autre. Aussi, il est important d'utiliser des méthodes adaptées au milieu et conformes aux objectifs fixés.

2.2.4.1. Localisation et marquage de la zone échantillon

La localisation et le marquage de la zone échantillon constituent la première étape d'une campagne de mesures. Elle consiste, à partir d'un récepteur GPS, à repérer la position géographique des zones constituant l'échantillon (dans notre cas les segments). Le récepteur GPS est un appareil qui fournit les coordonnées (longitude, latitude) d'un point précis à partir de l'analyse des signaux émis par au moins trois satellites. En fonction de la configuration géométrique et du nombre de satellites, l'erreur

sur les coordonnées d'un point estimées par GPS varie de 30 à 200 m. Aussi, lorsque l'erreur de positionnement est supérieure à 60 m. les coordonnées ne sont pas prises en compte.

L'objectif consiste à acquérir les coordonnées d'un maximum de points pertinents autour du segment afin d'en réaliser un plan schématique. Le GPS sert aussi à connaître la position géographique des pluviomètres et des parcelles d'arachide suivies. Dans un SIG, une donnée n'a de valeur que si sa position géographique est connue.

L'utilisation du GPS peut se montrer aussi performante que l'utilisation de photographies aériennes. Suivant la qualité de réception du système GPS, il peut être plus précis et plus fiable pour un coût moindre. La méthode d'acquisition de données par système GPS nécessite un investissement financier plus important lors de la première campagne de collecte de données, mais proportionnellement plus faible sur le long terme, avec un taux d'amortissement intéressant pour de petites unités de recherche.

2.2.4.2. Les données prélevées en vue de l'alimentation du modèle Ara.B.Hy¹

« Ce modèle de bilan hydrique, créé à partir de l'analyse des acquis agrobioclimatiques de la recherche, permet de simuler le niveau de la production d'arachide à tout moment de son cycle, et ce. de manière d'autant plus précise que l'on approche de la date de récolte. » (Annerose et Diagne, 1990)

Le modèle dépend de données périodiques récoltées sur le terrain, l'informant de l'état de la culture.

Tous les 10 à 20 jours les informations suivantes sont relevées au niveau des parcelles échantillons :

- la surface foliaire calculé à partir de l'indice foliaire,
- la densité de plantation est mesurée en comptant les plants présents dans un cadre de deux mètres carré placé parallèlement aux lignes de semis,
- le poids de matière sèche des différents organes de la plante (feuilles, tiges, gousses.. .) à partir de pieds prélevés à chaque tournée.

2.2.4.3. Pluviométrie

La pluviométrie est un facteur essentiel dans les modèles de simulation du bilan hydrique et de la production. En début d'hivernage, le CERAAS met en place son propre réseau de pluviomètres. Chaque pluviomètre est placé chez un agriculteur qui est chargé de relever le niveau d'eau après chaque pluie. L'information est récupérée régulièrement auprès de l'agriculteur.

2.2.4.4. Enquêtes socio-économiques

Des enquêtes sont effectuées auprès des paysans. Elles permettent d'identifier les propriétaires des parcelles suivies (statut, équipement, activités) et d'obtenir des renseignements sur les techniques culturales utilisées, la variété cultivée, les dates de semis. Ces données doivent permettre d'expliquer à travers le SIG les résultats en terme de production (Staub, 1997)

¹ ARACHIDE Bilan HYdrique

2.2.4.5. Mesures des superficies emblavées

Il s'agit là de mesurer les superficies de toutes les parcelles constituant les segments échantillons par arpentage. Ces données permettent par interpolation de déterminer les taux d'occupation des différentes cultures sur l'ensemble du département de Diourbel.

2.25. Campagne de mesures des superficies 1996

2.2.5.1. Objectifs de la campagne 1996

Pour dimensionner correctement l'échantillonnage, la structure de la population se devant d'être étudiée pour valider les hypothèses de travail. Aussi c'est dans cet objectif que durant la campagne 1996, les variables régionalisées (rendement et taux d'occupation en arachide) ont été complètement mesurées sur deux PSU.

Durant la campagne de 1996, 2 segments par PSU sur les 22 PSU ont été mesurés pour représenter les 191 PSU de type agricole que compte le département de Diourbel, exceptées deux PSU (n°64 et n°68) qui ont été complètement mesurées (Chan Ho Tong, 1996). L'objectif, à partir de la connaissance complète de ces deux PSU, était de déterminer le nombre de segments qui permet d'obtenir une estimation satisfaisante des variables régionalisées pour une extrapolation à l'ensemble de la PSU.

De plus cette campagne devait permettre de mettre au point les protocoles d'échantillonnage des données agricoles.

2.2.5.2. Problèmes rencontrés

En raison d'une évaluation des capacités des équipes erronée, une seule équipe a été engagée au départ. Le travail n'avançant que très lentement, progressivement trois autres équipes ont été recrutées. Au total 4 équipes de 3 personnes ont été engagées. La campagne a commencé avec la première équipe le 12 août et s'est achevée le 18 novembre.

Le principal problème rencontré durant cette campagne a été l'imprécision des mesures d'angles et de côtés. Une méthode efficace du calcul de l'erreur a été mise en place au cours de la campagne (Temara, 1997). Au départ l'erreur prise en compte était calculée à partir du périmètre de la parcelle. Or il a été démontré que celle-ci n'était pas toujours significative de la précision des mesures. Les mesures ayant pour finalité le calcul des surfaces, il était **plus** logique que le calcul de l'erreur porte sur la surface. Celle-ci s'est avérée **plus** significative.

2.2.5.3. Modifications en vue d'améliorer la méthode

La connaissance de mesures des variables régionalisées sur les deux PSU a permis d'estimer la distribution du rendement et du taux d'occupation en arachide sur une PSU et ainsi d'en déduire le nombre de segments à mesurer pour estimer de façon acceptable ces deux variables sur une PSU. L'analyse variographique (Boggio, 1996) fait apparaître que le taux d'occupation en arachide montre une structuration spatiale, bien que celle-ci subit une très forte variabilité de proximité.

Les solutions préconisées pour améliorer l'estimation du pourcentage de superficies emblavées en arachide et ainsi diminuer la variabilité de proximité sont les suivantes :

- d'une part un suivi rapproché des équipes sur le terrain et d'autre part une correction en temps réel des mesures peuvent permettre d'augmenter la précision des mesures de superficies. C'est dans cet objectif qu'un logiciel de gestion de données a été développé. Celui-ci permet d'obtenir la valeur de l'erreur sur le périmètre et sur la surface ainsi que le dessin des parcelles. Le suivi des équipes et la correction en temps réel des mesures est de cette façon grandement facilité
- augmenter la taille des segments échantillonnés. Le taux d'occupation est d'autant plus variable qu'il est mesuré sur des segments de superficie plus faible. Aussi, durant la campagne de 1997, un deuxième segment adjacent au premier a été ajouté, afin d'augmenter la taille des segments. Le nombre de segments à mesurer est passé de deux à quatre par PSU, soit 88 segments au total.

3. METHODE DE MESURE DES SURPERFICIES AGRICOLES

3.1. ASPECTS THEORIQUES

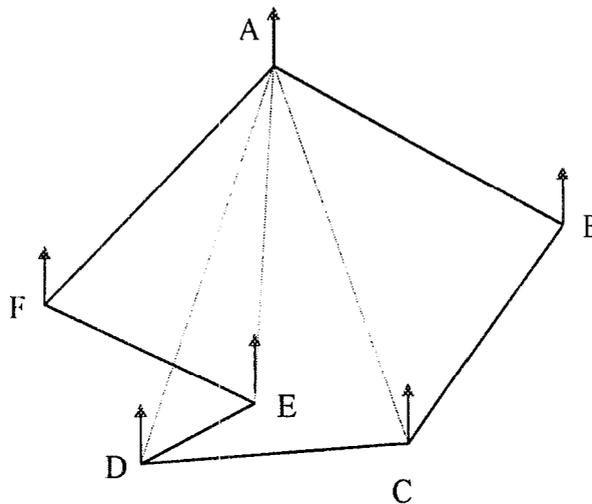
3.1.1. Principe de la méthode

La triangulation est une méthode mathématique qui permet de calculer la surface d'un polygone quelconque connaissant la longueur de ses côtés et l'angle qu'ils forment avec le Nord magnétique. Concrètement sur le terrain, la méthode a l'avantage de permettre la mesure de n'importe quelle parcelle simplement à partir d'une boussole à visée et d'une chaîne d'arpenteur.

3.1.2. La triangulation

La triangulation consiste à diviser un polygone en triangles et d'en calculer successivement les surfaces.

Exemple :



Soit ABCDEF un polygone quelconque dont on connaît la longueur des côtes et les angles que ceux-ci forment avec une direction unique (sur la figure cette direction correspond aux flèches). La surface de la parcelle ABCDEF correspond à la somme des surfaces algébriques des triangles qui la composent : $S_{TOT} = S_{ABC} + S_{ACD} + S_{ADE} + S_{AEF}$.

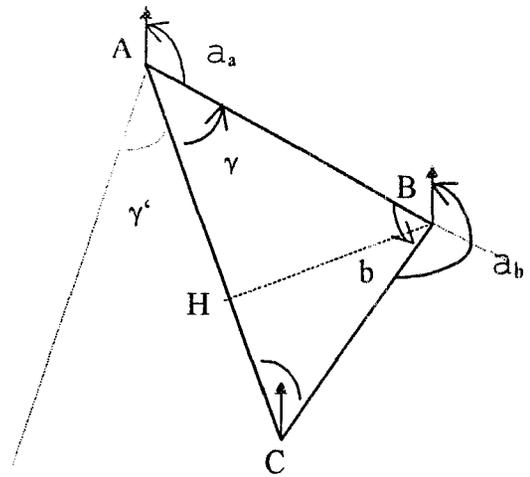
La première étape consiste à calculer la surface du triangle ABC :

Les côtés AB et BC et les angles α , et α_b sont connus. BH est une hauteur du triangle.

$$b = 180 - a_b + a_a$$

$$AC^2 = AB^2 + BC^2 - 2 * AB * BC \cos b$$

$$BH = \frac{AB \times BC}{AC} \times \sin b$$



A partir de ces résultats on peut obtenir la surface du triangle ABC par la formule

$$S_{ABC} = \frac{AC \times BH}{2}$$

Puis à partir de son sinus et de son cosinus, on calcule l'angle γ

$$\cos \gamma = \frac{\sqrt{AB^2 - BH^2}}{AB}$$

$$\sin \gamma = \frac{BC \times \sin b}{AC}$$

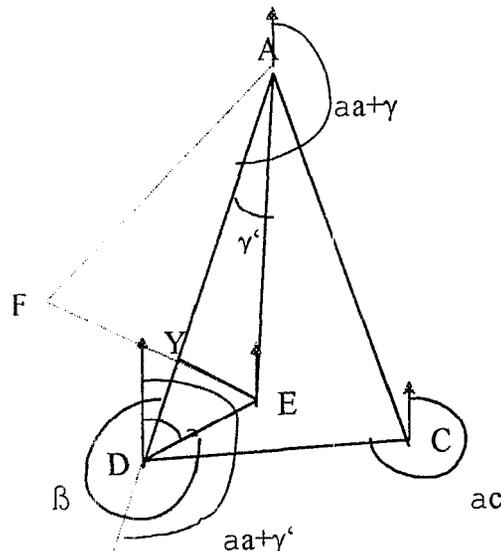
La deuxième étape consiste à calculer la surface du triangle ACD

On procède de la même façon pour le triangle ACD que pour le triangle ABC, en effectuant les substitutions suivantes :

$$AB=AC \quad BC=CD$$

$$a_a = a_a + \gamma \quad a_b = a_c$$

La somme des surfaces des triangles élémentaires est une somme algébrique. C'est ainsi que dans l'exemple la surface du triangle ADE ne sera pas comptée deux fois car elle est négative. Le calcul de la surface du triangle ABC fait apparaître le sinus de l'angle formé entre BC et BA. Si cet angle est aigu alors le sinus est positif (angle inférieur à 180°). Par contre si l'angle est obtus, le sinus et donc la surface du triangle sont négatifs, ce qui est le cas dans l'exemple du triangle ADE.



Ainsi on peut décomposer la surface du polygone ACDE en surfaces algébriques de triangles élémentaires :

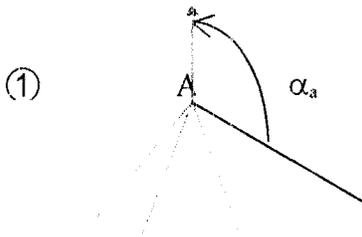
$$\overline{S_{ACDEF}} = \overline{S_{ACD}} + \overline{S_{ADE}} + \overline{S_{AEF}}$$

Où S_{ADE} est une valeur négative : $\overline{S_{ADE}} = -S_{ADE}$

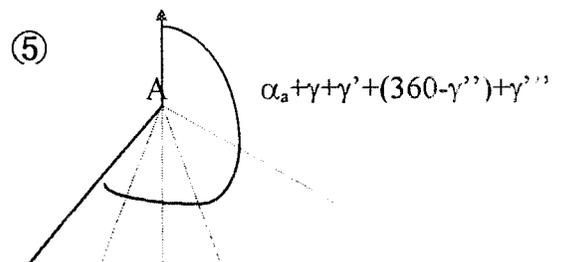
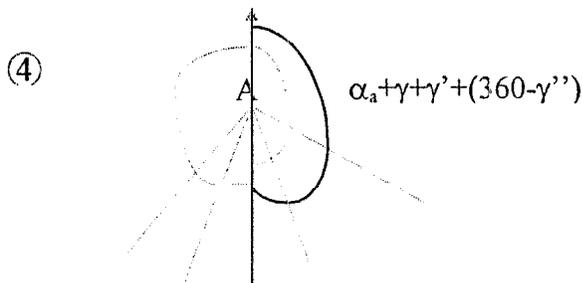
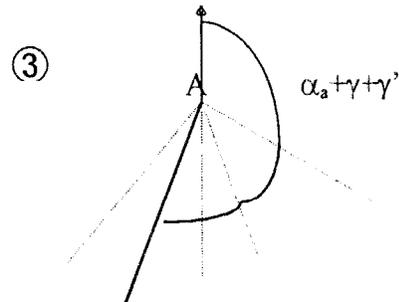
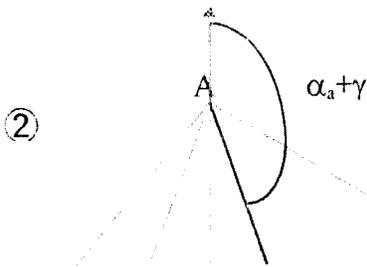
$$S_{ACDEF} = S_{ACD} - S_{ADE} + S_{AEF} = S_{ACDE} + S_{AEF}$$

De la même manière, pour le calcul de y'' : $\sin \gamma'' = \frac{DE \times \sin \beta}{AD}$ est négatif.

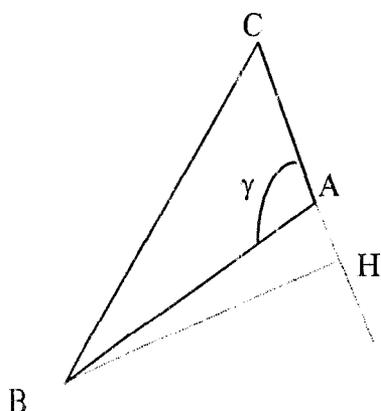
L'angle obtenu est donc égal à $360 - \gamma''$. On peut remarquer que le calcul des surfaces des triangles se fait par rapport à un sommet fixe qui est dans notre cas le point A. A chaque nouveau triangle l'angle a , prend une valeur différente.



L'angle a , prend tour à tour les valeurs suivantes : a , $\alpha_a + \gamma$, $\alpha_a + \gamma + \gamma'$,



Cas particuliers:



Dans le cas où $HC > AC$ et $BC > AB$,

$$\cos \gamma = \frac{-\sqrt{AB^2 - BH^2}}{AB} \quad (\text{cas où } \gamma > 90^\circ)$$

Si $AB = BH$ alors $\cos \gamma = 0$

3.1.3. Calcul de l'erreur

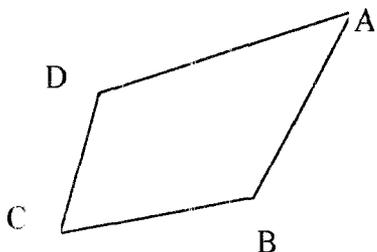
Deux types d'erreur sont calculés : l'erreur sur le périmètre et l'erreur sur la surface.

Lors de la mesure d'une surface, tous les côtés et leurs angles sont mesurés. En théorie, la mesure du dernier côté est inutile car elle peut être déduite à partir des mesures des autres côtés. En réalité, la comparaison entre la mesure du dernier côté et sa valeur calculée permet de définir une erreur de mesure de la surface du polygone,

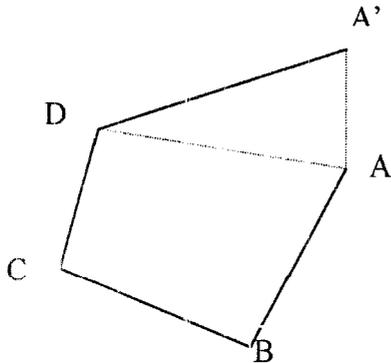
L'erreur de fermeture fait apparaître un "triangle virtuel". C'est le rapport de la surface de ce triangle virtuel à la surface du polygone qui définit l'erreur sur la surface.

Exemple : soit une parcelle ABCD :

La forme réelle de la parcelle est la suivante :



A cause d'une erreur de mesure sur l'angle formé entre le côté BC et le Nord, le dessin de la parcelle à partir des données mesurées est le suivant :

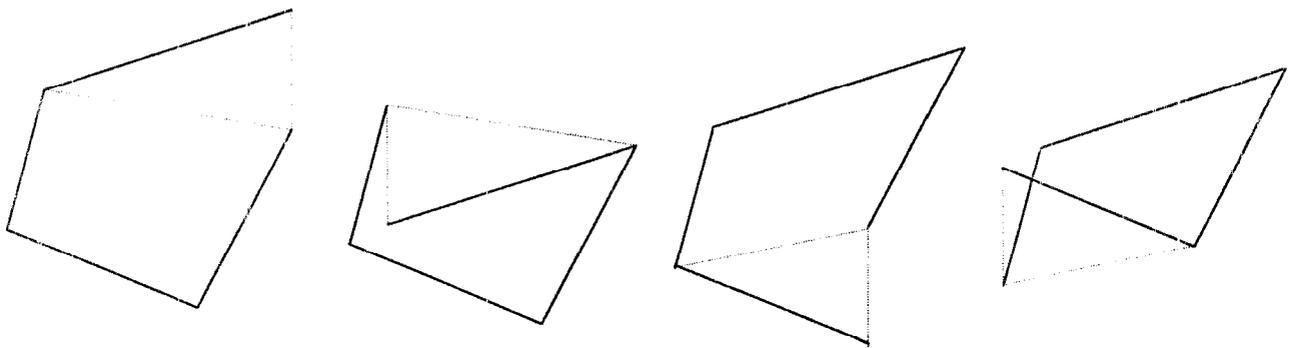


Le triangle ADA' devrait avoir une surface nulle dans le cas d'une mesure correcte.

L'erreur sur la surface peut être calculée ainsi :

$$E_{SURFACE} = \frac{S_{ADA'}}{S_{ABDCA'}} \times 100$$

Il est important de signaler que selon le côté à partir duquel la parcelle est tracée, l'erreur de surface varie considérablement



Ces figures nous montrent bien que dans le cas où il y a une erreur de fermeture, la parcelle peut prendre des formes différentes pour des valeurs d'angles et de longueurs identiques, selon le côté de départ. Aussi on peut considérer qu'à chaque côté de la parcelle est associée une erreur de surface.

Une estimation de l'erreur sur la mesure de la parcelle peut être le maximum des erreurs associées à chaque côté de la parcelle.

3.2. ORGANISATION DU TRAVAIL DES ÉQUIPES

3.2.1. Recrutement et formation

La première des difficultés était de constituer des équipes capables de fournir des données fiables concernant les parcelles. En 1996 certaines équipes de techniciens n'avaient pas atteint les objectifs fixés et obtenaient des données imprécises (erreur supérieure à 10%). Afin d'y remédier, l'ensemble des candidats voulant faire partie des équipes a dû passer un test (Boggio, 1997) qui nous a permis d'évaluer le niveau des connaissances.

Le test s'établissait de la façon suivante (Annexe 1):

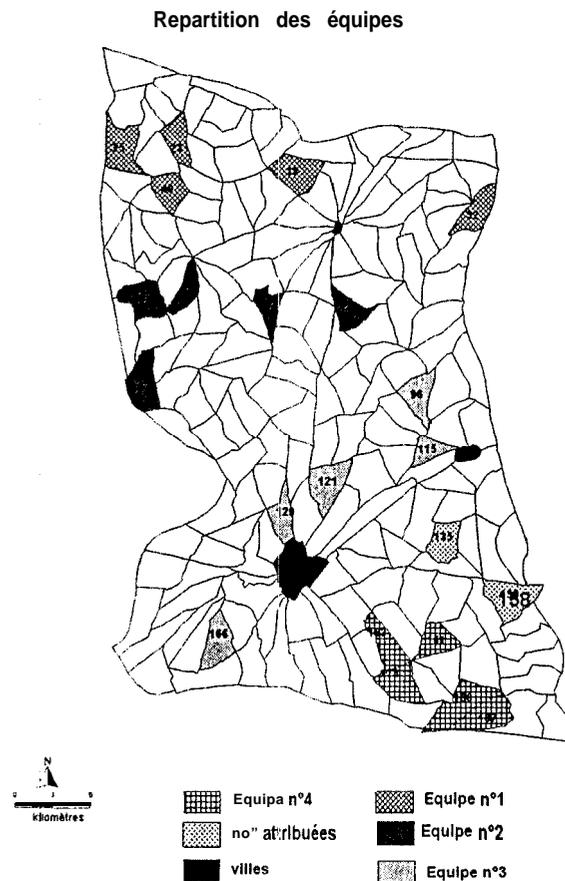
- une première partie, théorique, composée d'exercices de géométrie ainsi que de cas concrets; faisant appel à la logique;
- une deuxième partie, pratique, consistant à mesurer une superficie à l'aide d'un décimètre, d'une boussole et d'une calculatrice programmable.

Le test a permis de mettre en avant l'esprit de logique des candidats et leur compétence à obtenir des résultats fiables.

3.2.2. Organisation du travail des équipes

Chaque équipe est constituée de trois personnes. Afin d'obtenir des équipes homogènes qui avanceront au même rythme, systématiquement l'un des membres doit avoir déjà effectué une campagne de mesures, et est désigné comme le chef d'équipe. Celui-ci est tenu, si nécessaire, de former les autres membres et d'harmoniser le travail au sein du groupe. Il est responsable du travail effectué par l'équipe.

Sur le département de Diourbel 88 segments (4 segments par PSU) doivent être mesurés. Afin de limiter les déplacements, les équipes sont réparties dans quatre zones géographiques du Nord au Sud (cf figure 4). A chacune des équipes a été attribuée cinq PSU soit 20 segments. Les deux PSU restantes sont réparties ultérieurement.



32.3. Suivi sur le terrain

3.2.3.1. *Encadrement des équipes*

Une fois par semaine, un responsable rencontre les équipes sur le terrain. Les mesures effectuées au cours de la semaine sont relevées, et un rapport sur les erreurs de la semaine précédente est remis aux équipes. Ce suivi rapproché permet, en cas d'imprécisions dans les mesures, de corriger les données en temps réel. Un tel suivi évite les informations aberrantes, les parcelles omises ou mal identifiées, les segments incomplets et augmente ainsi la précision des mesures

Cette journée sur le terrain est l'occasion pour le responsable de faire le point sur l'état d'avancement des travaux, et pour les équipes de faire part de leurs difficultés.

3.2.3.2. *Emploi du temps des équipes*

Aucun horaire n'a été imposé aux techniciens, ils doivent cependant travailler huit heures par jour, six jours par semaine.

Chaque équipe se charge de trouver un logement à proximité ou dans la PSU à mesurer. Pour cela elle doit s'y prendre suffisamment tôt pour rencontrer le chef de village. Soit les villageois fournissent la nourriture aux techniciens qu'ils payent en retour, soit les techniciens apportent leur propre nourriture.

Avant de partir sur le terrain, les techniciens indiquent sur une ardoise qu'ils accrochent en évidence sur leur lieu d'habitation, le numéro du segment où ils se rendent. Lorsqu'ils arrivent pour la première fois sur le segment à mesurer, les techniciens commencent par en repérer les limites en faisant le tour à pied. Pour cette première étape, ils s'aident des cartes qu'on leur a fournies en début de campagne. Puis ils commencent à mesurer les parcelles. A chaque fois qu'ils ont terminé une parcelle, ils vérifient, grâce à leur calculatrice, la qualité de leur mesure. Si l'erreur est supérieure à 5%, ils reprennent les mesures.

3.3. SAISIE ET CORRECTION DES DONNEES

3.3.1. Saisie des données

3.3.1.1. *Le logiciel de gestion de données*

Ce logiciel a été développé sur Visual Basic par une stagiaire informaticienne au CERAAS (Mbaye, 1997). Il a été développé sous Visual Basic. Son masque de saisie des données rend l'introduction des données plus rapide plus facile et plus fiable.

Celles-ci sont organisées en base de données, à partir de laquelle l'erreur de surface est calculée et un plan parcellaire établi

3.3.1.2. *Organisation de la base de données*

La base de données contient six champs :

- Le code du segment

- Numéro de parcelle
- Numéro de côté
- Longueur du côté
- Angle
- Erreur de surface
- Culture

Cette base de données permet, à partir de requêtes, de déterminer l'erreur maximale pour chaque parcelle, d'identifier les mesures de surfaces erronées et en fin de campagne de fournir une synthèse des taux d'occupation par culture et par segment.

3.3.1.3. *Outils de correction des erreurs.*

Outre le calcul de l'erreur, le logiciel dresse un plan des parcelles et autorise la modification interactive des données.

3.32. Correction des erreurs

3.3.2.1. *Mesure*

Les problèmes présentés dans les exemples suivants sont ceux rencontrés durant la campagne 1997. L'objectif est de présenter, à travers deux exemples, le raisonnement qui permet de corriger les erreurs sans que les équipes aient à reprendre leur mesure.

Exemple n° 1 La parcelle n° 10 (figure 5) contient des mesures inexactes

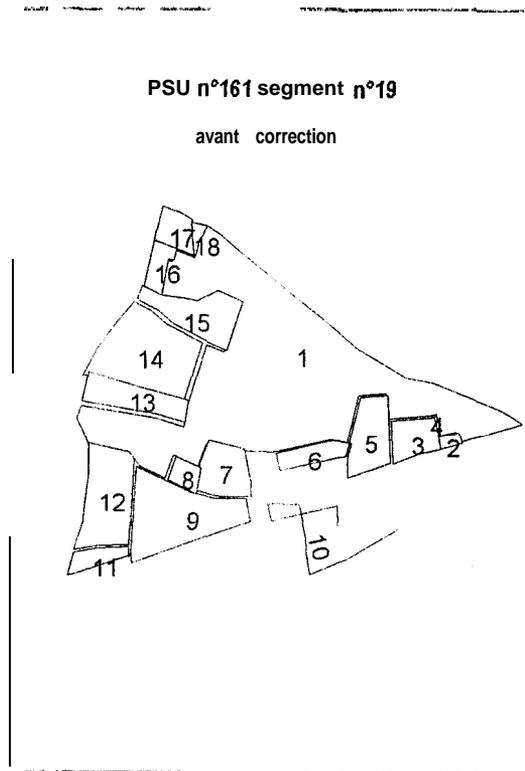


Figure 5 : PSU 161 segment 19 avant correction

Solution connaissant les côtés communs avec les autres parcelles, le côté à l'origine du problème peut être identifié.

| Parcelle n°10 | Côté | Angle | Longueur | Parcelle voisine |
|---------------|------|-------|--------------|------------------|
| | 1 | 359 | 37.02 | 5 |
| | 2 | 258 | 127.7 | 6 |
| | 3 | 346 | 31.65 | 6 |
| | 4 | 92 | 60.76 | 1 |
| | 5 | 167 | 61.22 | 7 |
| | 6 | 179 | 25.6 | 7 |
| | 7 | 169 | 38.5 | 9 |
| | 8 | 68 | 73.55 | |
| | 9 | 62 | 117.3 | |

Tableau 1 : PSU 161 segment 19 parcelle 10. données

Figure 5 : PSU 16 1 segment 19 avant correction

Solution connaissant les côtés communs avec les autres parcelles, le côté à l'origine du problème peut être identifié.

| Parcelle n°10 | Côté | Angle | Longueur | Parcelle voisine |
|---------------|------|-------|----------|------------------|
| | 1 | 359 | 37.02 | 5 |
| | 2 | 258 | 127.7 | 6 |
| | 3 | 346 | 31.65 | 6 |
| | 4 | 92 | 60.76 | 1 |
| | 5 | 167 | 61.22 | 7 |
| | 6 | 179 | 25.6 | 7 |
| | 7 | 169 | 38.5 | 9 |
| | 8 | 68 | 73.55 | |
| | 9 | 62 | 117.3 | |

Tableau 1 : PS U 161 segment 19 parcelle 10, données.

Dans ce cas, le problème provient du côté n°4. L'angle n'est pas 92° mais 272°, une différence de 180°. Ce type d'erreur est particulièrement courant. Dans le cas où le côté est commun à deux parcelles, les équipes le mesurent une seule fois, et reportent la mesure sur la deuxième parcelle. Or un même côté peut former deux angles avec le nord suivant le sens dans lequel la mesure est prise ; ces deux angles diffèrent de 180° (tableau 6).

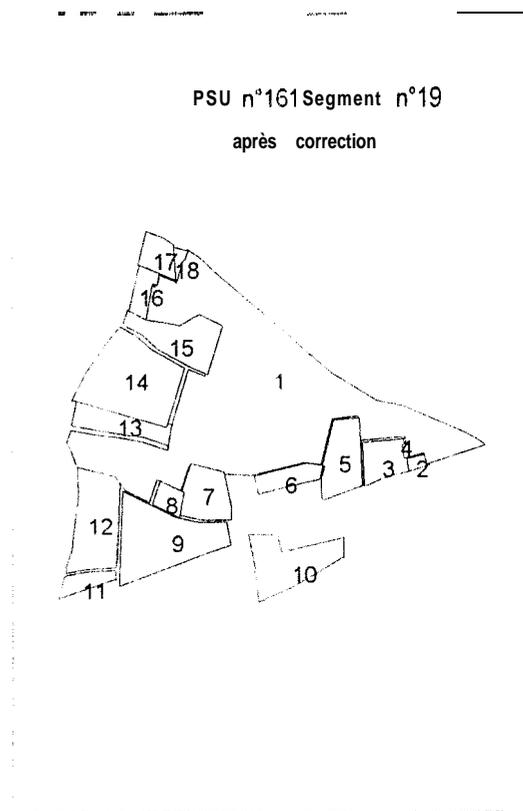


Figure 6 : PSU 161 segment 19 après correction

Une parcelle cohérente (figure 7) est alors obtenue.

Un deuxième type d'erreur tout aussi courant concerne les longueurs des côtés. Dans l'exemple présenté ici, le problème ne provient pas d'une erreur de mesure mais d'une simple erreur de transcription de la part des équipes. Ce type d'erreur correspond à près de la moitié des erreurs rencontrées.

Exemple n°2 sur le segment 14 de la PSU n°25 la parcelle 17 pose d'évidents problèmes (figure 8). On remarque que les côtés communs à la parcelle 18 en sont à l'origine.

PSU n°25 segment 14

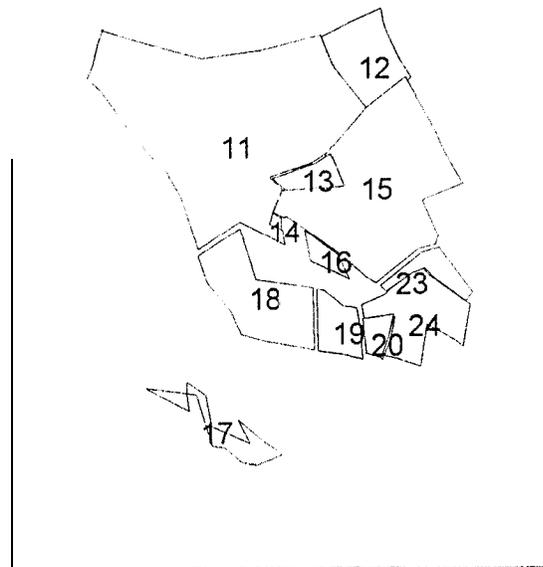


Figure 7 : PSU 25 segment 14 avant correction

Consultons les données des côtés communs aux deux parcelles :

| Parcelle | Côté | Angle (degré) | Longueur (m) | Culture | parc. vois |
|----------|------|---------------|--------------|----------|------------|
| 17 | 14 | 277 | 12.18 | arachide | 8 |
| 17 | 15 | 342 | 103.65 | arachide | 8 |
| 18 | 2 | 162 | 103.65 | jachère | 7 |
| 18 | 3 | 97 | 1120.18 | jachère | 7 |

Tableau 2 : PSU 25 segment 14 parcelles 17 et 18, données

Le problème vient de la longueur du coté 14 qui n'est pas, si on tient compte de son côté commun avec la parcelle 18, de 12.18 mètres mais de 120.18 mètres.

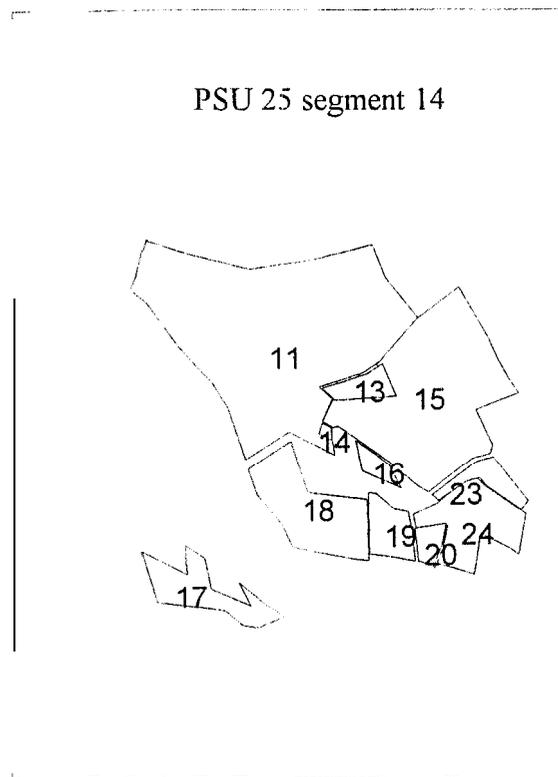


Figure 8 : PSU 25 segment 14 après correction

Après correction la parcelle a une forme bien plus cohérente (Figure 10).

Excepté le cas dans lequel un nombre trop important de parcelles est mal mesurées (comme on a pu le voir, la correction se fait à partir des parcelles voisines bien mesurées), les erreurs sont pratiquement toujours corrigibles depuis le plan des parcelles. Aussi dans un souci de faire avancer la campagne à un rythme suffisamment rapide, tout en préservant la qualité des mesures, on tentera toujours de trouver l'origine de l'erreur afin de la corriger. Cependant les erreurs ont des origines très diverses, aussi le correcteur doit bien souvent faire preuve d'astuces pour les corriger.

3.3.2.2. *Repérage*

Durant la campagne 1997, les équipes ont eu des difficultés pour repérer les limites des segments. L'identification de ce type d'erreurs ne peut se faire que de deux façons :

- la première est la plus courante. L'équipe fait part de ses difficultés à repérer les marques délimitant le contour du segment. Dans ce cas là, on tente de retrouver le plus minutieusement possible les marques blanches sur les arbres. Généralement la présence d'un technicien qui a fait la campagne de marquage permet de résoudre rapidement le problème.
- la deuxième consiste, une fois les données du segment saisies et sa carte établie, d'en comparer les contours soit avec les cartes construites à partir des points GPS soit avec les données de l'année précédente.

Ainsi on a pu constater que dans certains cas, près du tiers du segment n'était pas pris en compte. L'exemple du segment 10 de la PSU 32 le montre bien (Figure 1 1):

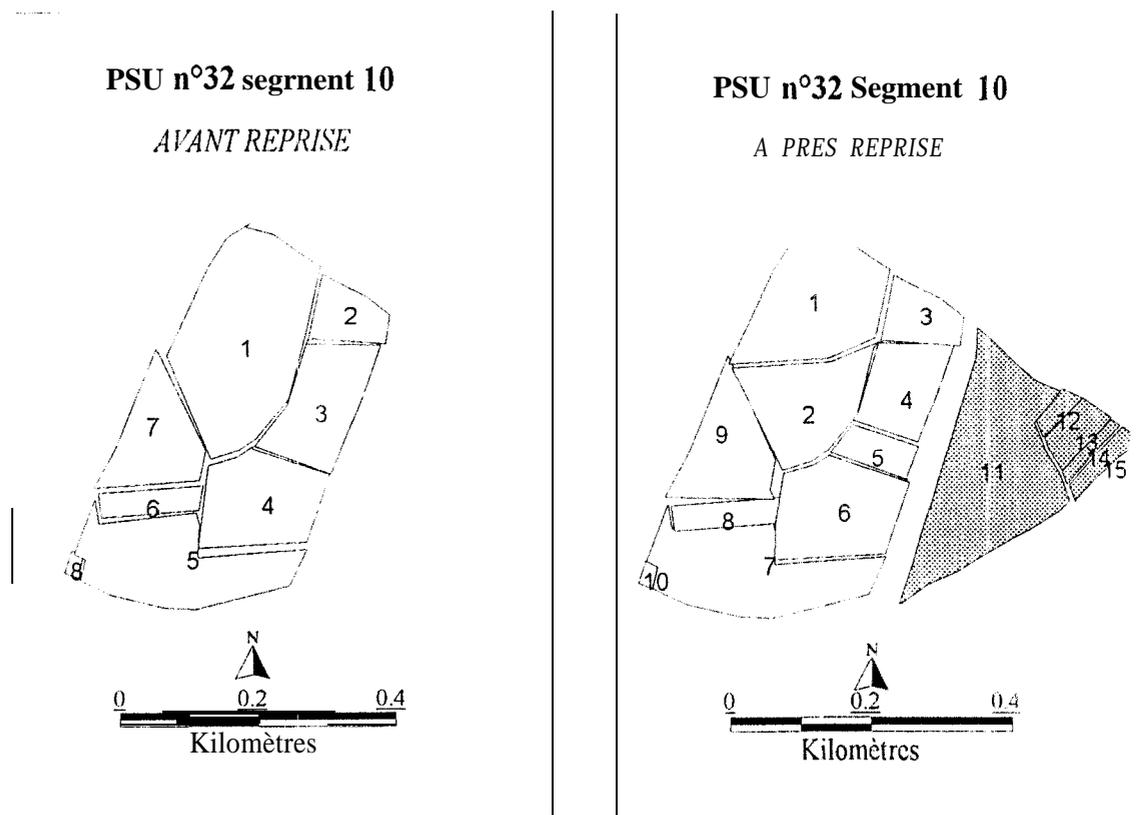


Figure 9 : PSU 32 segment 10 avant et après reprise

Dans cet exemple, l'erreur se justifie facilement. La piste qui traverse le segment a été prise pour une de ses limites. Ce type d'erreur s'est avéré relativement fréquent durant la campagne.

Une autre source d'erreur qu'il convient de signaler, est le cas où la limite du segment passe à travers un champ, son identification est dès lors ambiguë, ce qui pose aux équipes des problèmes de repérage.

4. RESULTATS

4.1. ANALYSE GEOSTATISTIQUE DE LA REPARTITION DES CULTURES

Cette partie tente de présenter de façon très succincte la géostatistique. Loin d'en faire le tour elle tente d'en donner un aperçu fonctionnel.

4.1.1. Définition

"La statistique classique constitue un ensemble de méthodes d'analyse numérique qui permet de décrire, de résumer et d'analyser objectivement des données." (Chemla 1995)

Issue de la statistique dite « classique » et initialement prévue pour répondre aux besoins de l'industrie minière, la géostatistique aujourd'hui est en pleine expansion et s'utilise dans des domaines de plus en plus nombreux et variés.

La géostatistique se différencie de la statistique classique par le fait qu'elle tient compte systématiquement de la position géographique des points de prélèvement. A Chacune des données est associée une position dans l'espace qui est prise en compte dans les interpolations statistiques. Ainsi on obtient des informations plus précises et plus complètes au niveau de la répartition géographique des estimations

4.12. Etapes de l'analyse

Toute étude géostatistique débute à partir de données réparties dans l'espace. Ces données sont appelées Variables Régionalisées et sont considérées comme issues d'une fonction définie sur un espace métrique. La méthode consiste alors à considérer cette fonction comme étant « la réalisation d'une certaine Fonction Aléatoire » (Chauvet 1992). Ce choix rend accessible les outils propres au modèle probabiliste Prenons l'exemple de l'arachide dans le département de Diourbel Le raisonnement peut être divisé en trois étapes :

- Dans un premier temps on calcule la distance quadratique dans l'espace probabilisé (c'est à dire la variance) de toute paire de points de données. On obtient ainsi la Nuée Variographique (figure 10) qui représente l'écart quadratique entre deux points en fonction de la distance entre ces deux points L'objectif est de mettre en évidence la « fonction structurale » (Chauvet P. 1992) qui régit l'évolution de l'écart quadratique en fonction de la distance.

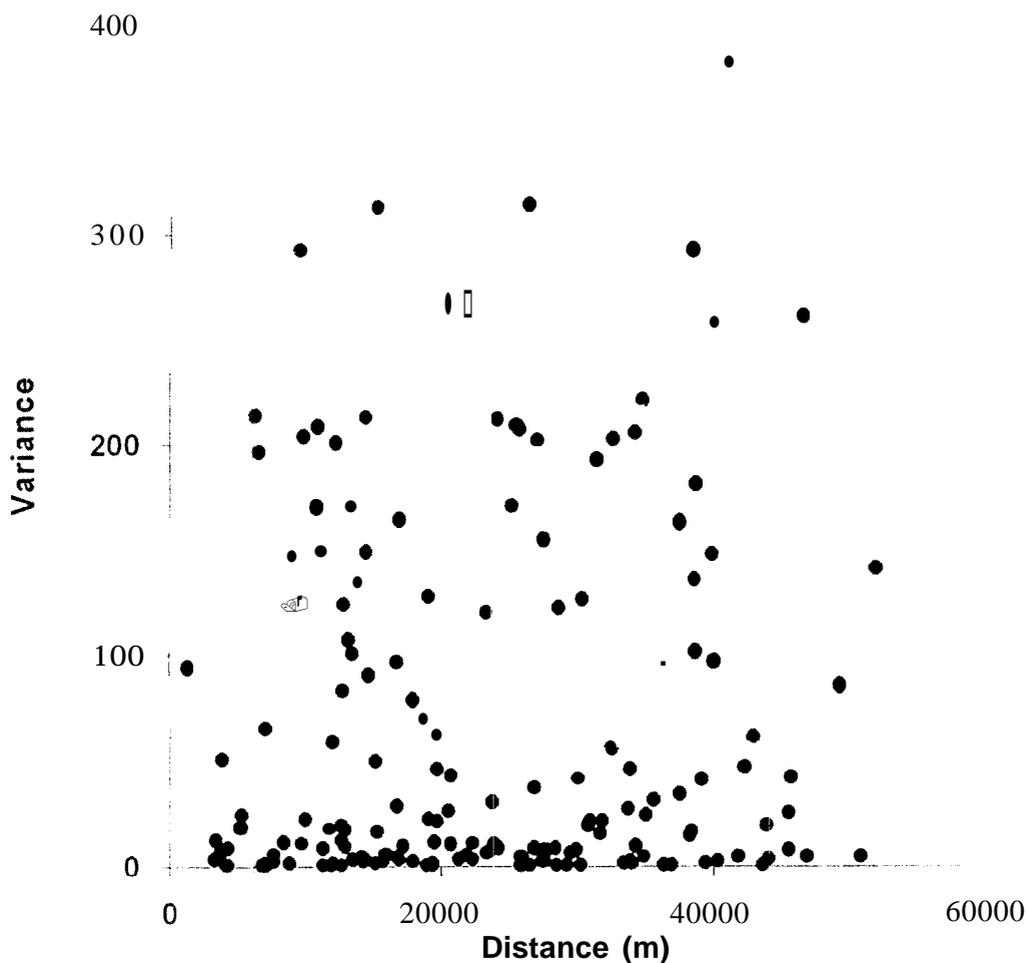


Figure 10 : taux d'occupation en arachide, nuée variographique

- C'est dans cet objectif que les couples de données sont arbitrairement regroupés en fonction de leurs distances dans des classes. Dans chacune des classes est calculée la moyenne des écarts quadratiques obtenant ainsi une valeur unique pour chaque classe. La réduction du nombre de valeurs permet d'obtenir le Variogramme Expérimental (figure 11). Considérablement plus synthétique que le nuage variographique, il permet de mettre en évidence la « fonction structurale ».
- La dernière phase est l'ajustement du variogramme expérimental à une fonction, qui permet d'attribuer à toute valeur de la variable distance une valeur de la variance expérimentale. Cette fonction est appelée Variogramme Modélisé.

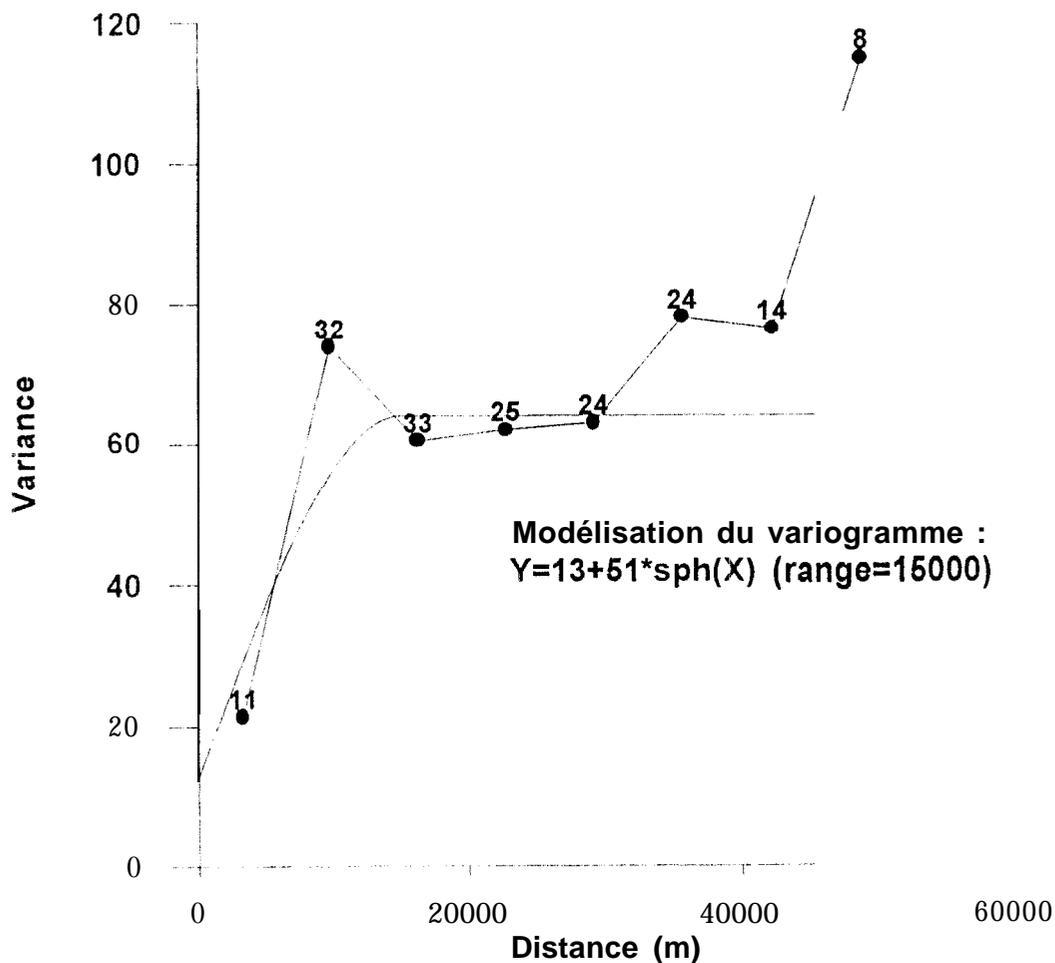


Figure 11 taux d'occupation des sols en arachide. modélisation de la variance moyenne de paires regroupées par classes de distances

L'étape de variographie est une étape majeure dans l'étude géostatistique et exige des précautions. En effet, il est aisé de construire des modèles qui seront mathématiquement corrects, mais, "déconnectés" de la réalité. Aussi, il est prudent de s'assurer de l'adéquation du modèle aux données, mais aussi d'adapter le modèle au problème posé.

Le variogramme expérimental permet par l'interprétation de la « fonction structurale » de mieux analyser et ainsi mieux comprendre le phénomène étudié.

Un des avantages de l'étude géostatistique est qu'elle permet de disposer d'un critère de qualité correspondant généralement à la variance. Ce critère permet plusieurs applications : la simplification en minimisant la perte d'informations du réseau d'échantillonnage ou son optimisation. Elle permet d'attribuer aux observations un niveau de confiance, et ainsi relativiser les données aberrantes.

Une technique qu'il convient de signaler est le *Krigeage*. Tout en permettant de connaître la valeur de la fonction en un point où elle était inconnue à partir de points connus, le Krigeage permet de minimiser la différence entre l'estimateur et la valeur inconnue. Cette différence correspond à la variance de l'Erreur d'Estimation. Le *Krigeage* est la technique utilisée au CERAAS.

4.2. ANALYSE DES RESULTATS

4.2.1. Validation du traitement global des données

L'hypothèse d'homogénéité de la variance intra-PSU doit être validée.

Le test de Bartlett (Chi² observé) permet de tester si les variances internes des PSU sont homogènes ; cette hypothèse est validée si le Chi² observé est inférieur au Chi² théorique (seuil 5%)

| | arachide | jachère | mil | niébé | Sorgho |
|----------------------------|----------|---------|-------|-------|--------|
| Chi ² Observé | 11.90 | 14.12 | 16.01 | 28.78 | 34.49 |
| Chi ² Théorique | 47.40 | 47.40 | 47.40 | 47.40 | 47.40 |

Tableau 3

Ces résultats montrent que pour chaque culture l'homogénéité de la variance intra-PSU est vérifiée. Dans tous les cas, le Chi² observé est inférieur au Chi² théorique. Le phénomène peut donc être étudié à l'échelle du département.

4.2.2. Analyse variographique et détermination des paramètres du krigeage

4.2.2.1. Détermination du gradient de répartition des cultures

Une hypothèse nécessaire au krigeage est la stabilité de la moyenne de la variable régionalisée. Si cette hypothèse n'est pas vérifiée, le gradient géographique est pris en compte et l'analyse s'effectue sur les résidus de la régression de la variable régionalisée sur les coordonnées du point.

L'analyse de la variance permet de déterminer le degré de significativité des régresseurs X et Y (coordonnées des points exprimées en mètres) dans la décomposition de la variable étudiée. Si la probabilité que la variable F (Fisher) soit d'espérance 1 est inférieure à 0.05, alors le régresseur associé intervient significativement dans la décomposition de la variable.

$$\%Arachide = 552.5 + 0.0002 \times X - 0.0001 \times Y$$

Analyse de variance

| Source | DDL | Somme des carrés des écarts | Carré moyen | F | P(F supérieur) |
|--------|-----|-----------------------------|-------------|--------|----------------|
| Modèle | 2 | 184.6335 | 92.3168 | 1.4332 | 0.2676 |
| X | 1 | 44.8419 | 44.8419 | 0.6962 | 0.4164 |
| Y | 1 | 25.1365 | 25.1365 | 0.3903 | 0.5410 |
| Erreur | 6 | 1030.5728 | 64.4108 | | |
| Total | 18 | 1215.2063 | | | |

Il n'y a aucun gradient de répartition dans le cas de l'arachide.

$$\%Jachère = 33.1 + 0.0008 \times X + 0.0009 \times Y$$

Analyse de variance

| Source | DDL | Somme des carrés des écarts | Carré moyen | F | P(F supérieur)] |
|--------|-----|-----------------------------|-------------|--------|-----------------|
| Modèle | 2 | 2047.1219 | 1023.5610 | 3.5530 | 0.0529 |
| X | 1 | 607.2650 | 607.2650 | 2.1079 | 0.1659 |
| Y | 1 | 2026.0660 | 2026.0660 | 7.0328 | 0.0174 |
| Erreur | 16 | 4609.3823 | 288.0864 | | |
| Total | 18 | 6656.5042 | | | |

La répartition de la jachère est fonction d'un gradient Nord-Sud.

$$\%Mil = -179.3 + 0.0011 \times X - 0.0011 \times Y$$

Analyse de variance

| Source | DDL | Somme des carrés des écarts | Carré moyen | F | P(F supérieur) |
|--------|-----|-----------------------------|-------------|---------|----------------|
| Modèle | 2 | 3119.1361 | 1559.5680 | 6.7944 | 0.0073 |
| X | 1 | 1176.7591 | 1176.7591 | 5.1266 | 0.0378 |
| Y | 1 | 3118.3214 | 3118.3214 | 13.5852 | 0.0020 |
| Erreur | 16 | 3672.6050 | 229.5378 | | |
| Total | 18 | 5791.7411 | | | |

La répartition du mil est soumise aux deux gradients Nord-Sud et Est-Ouest.

$$\%Niébé = -208.6 + 0.00001 \times X + 0.0001 \times Y$$

Analyse de variance

| Source | DDL | Somme des carrés des écarts | Carré moyen | F | P(F supérieur) |
|--------|-----|-----------------------------|-------------|--------|----------------|
| Modèle | 2 | 69.7832 | 34.8916 | 3.1929 | 0.0681 |
| X | 1 | 0.1552 | 0.1552 | 0.0142 | 0.9066 |
| Y | 1 | 39.1142 | 39.1142 | 3.5794 | 0.0767 |
| Erreur | 16 | 174.8431 | 10.9277 | | |
| Total | 18 | 244.6263 | | | |

La répartition du Niébé est fonction d'un gradient Nord-Sud.

$$\%Sorgho = 225.7 + 0.0002 x x + 0.0001 \times Y$$

Analyse de variance

| Source | DDL | Somme des carrés des écarts | Carré moyen | F | P(F supérieur) |
|--------|-----|-----------------------------|-------------|---------|----------------|
| Modèle | 2 | 46.1971 | 23.0985 | 5.2112 | 0.0181 |
| X | 3 | 45.0884 | 45.0884 | 10.1723 | 0.0057 |
| Y | 1 | 25.2992 | 25.2992 | 5.7077 | 0.0296 |
| Erreur | 16 | 70.9198 | 4.4325 | | |
| Total | 18 | 117.1168 | | | |

La répartition du sorgho fait apparaître deux gradients Nord-Sud et Est-Ouest

Cette analyse définit les paramètres du krigeage, ce qui autorise l'élaboration des cartes de répartitions des cultures au moyen du logiciel Surfer (Golden Software).

4.2.3. Cartes de répartition des cultures

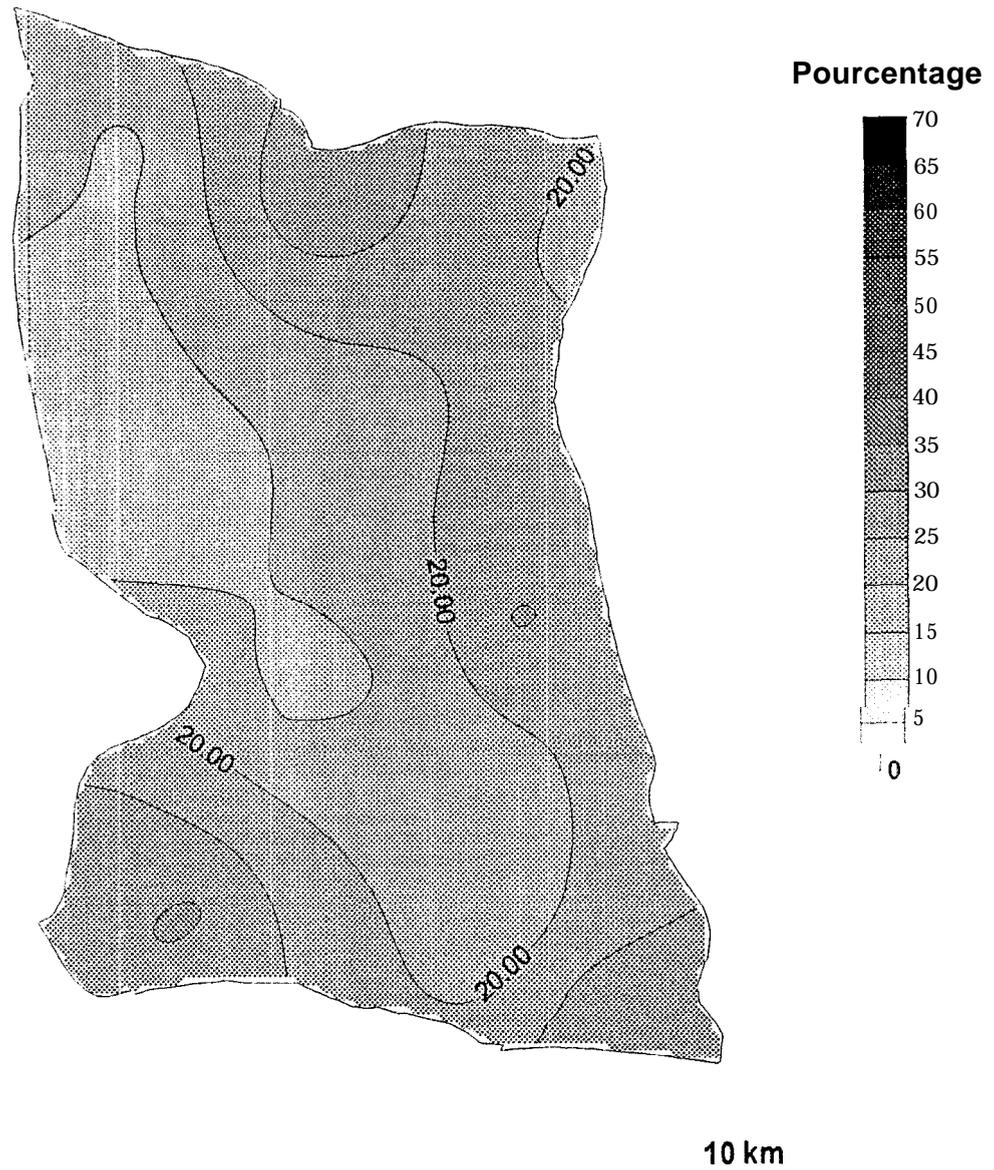


Figure 12 : Taux d'occupation des sols agricoles en arachide

Département de Diourbel, hivernage 1997

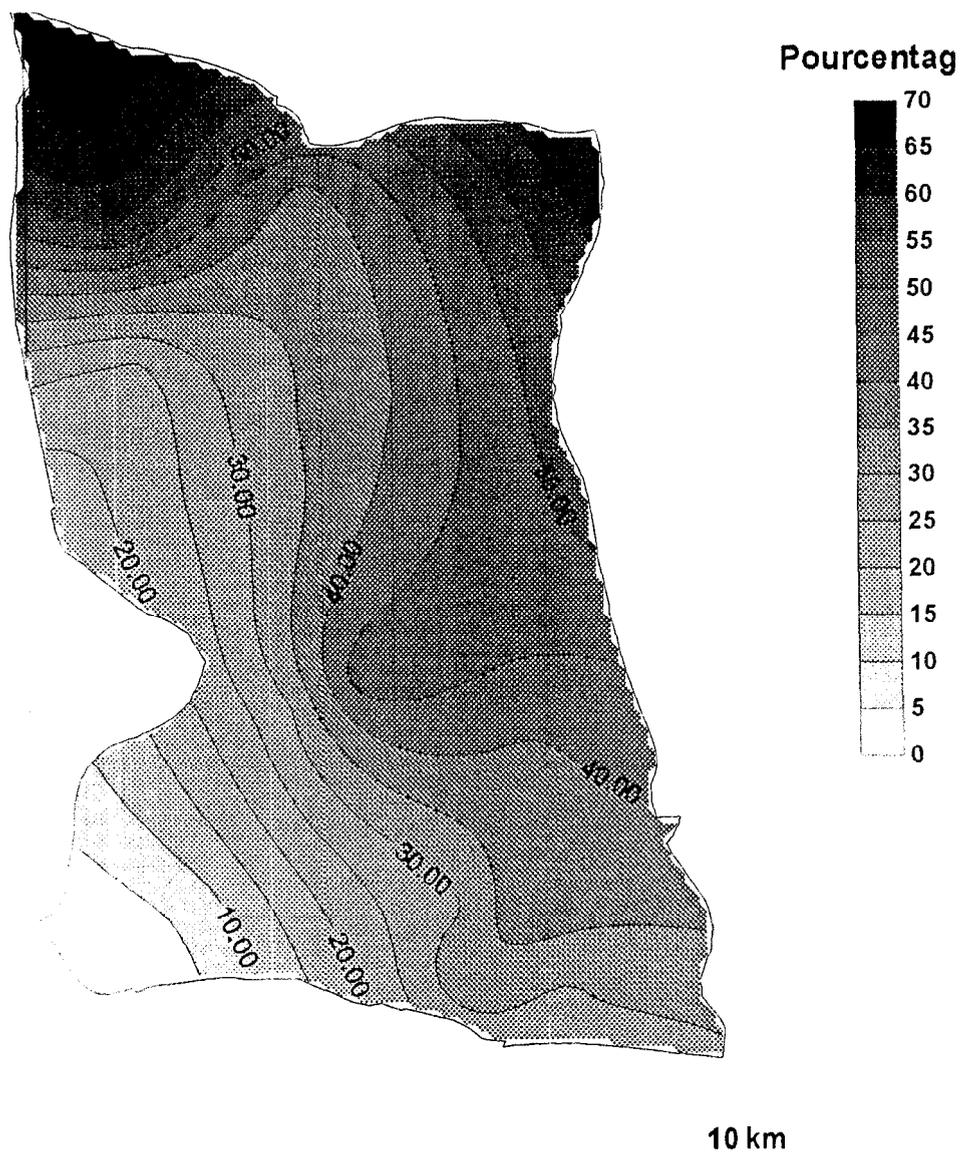


Figure 13: Taux d'occupation des sols agricoles en jachère

Département de Diourbel, hivernage 1997

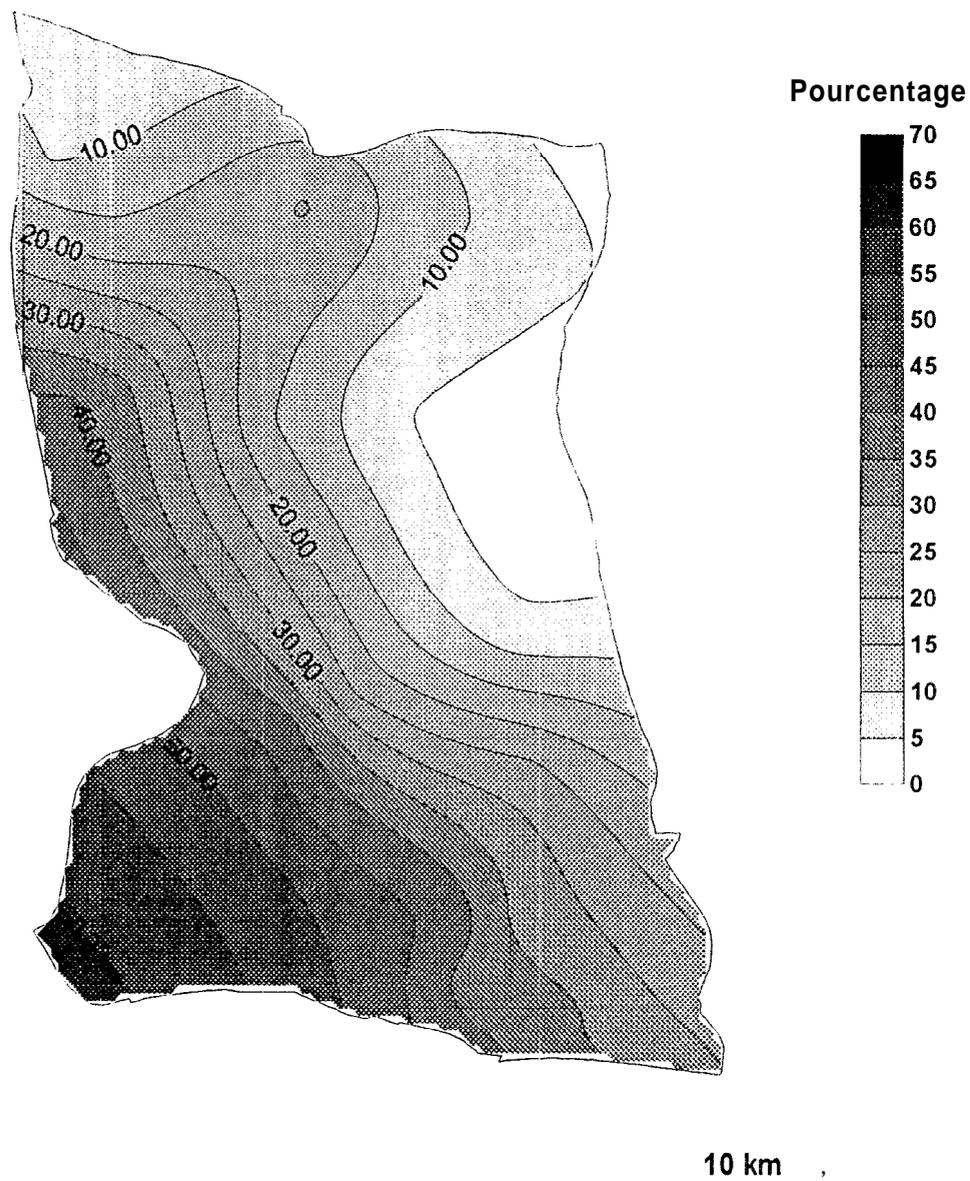


Figure 14: Taux d'occupation des sols agricoles en mil
Département de Diourbel, hivernage 1997

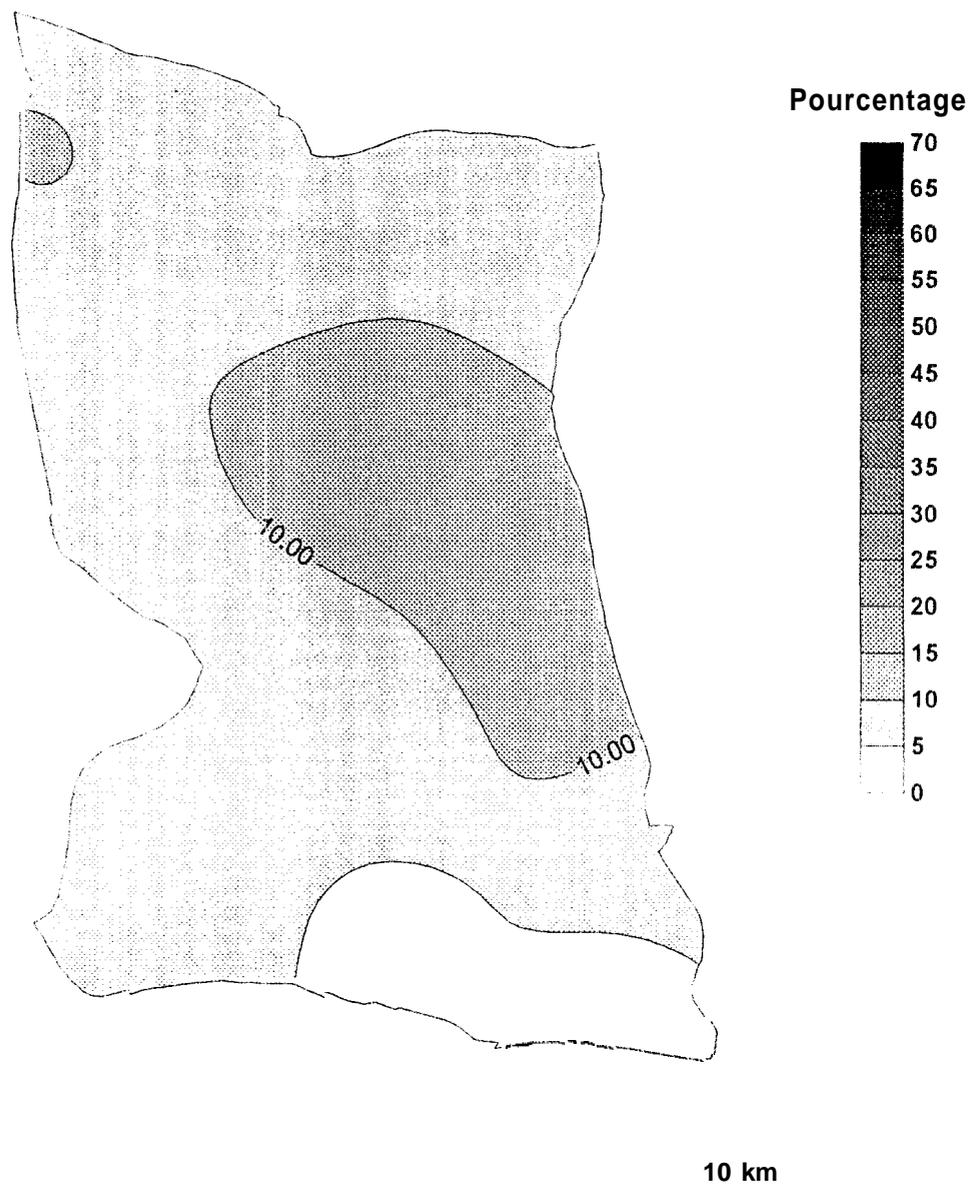


Figure 15: Taux d'occupation des sols agricoles en niébé

Département de Diourbel, hivernage 1997

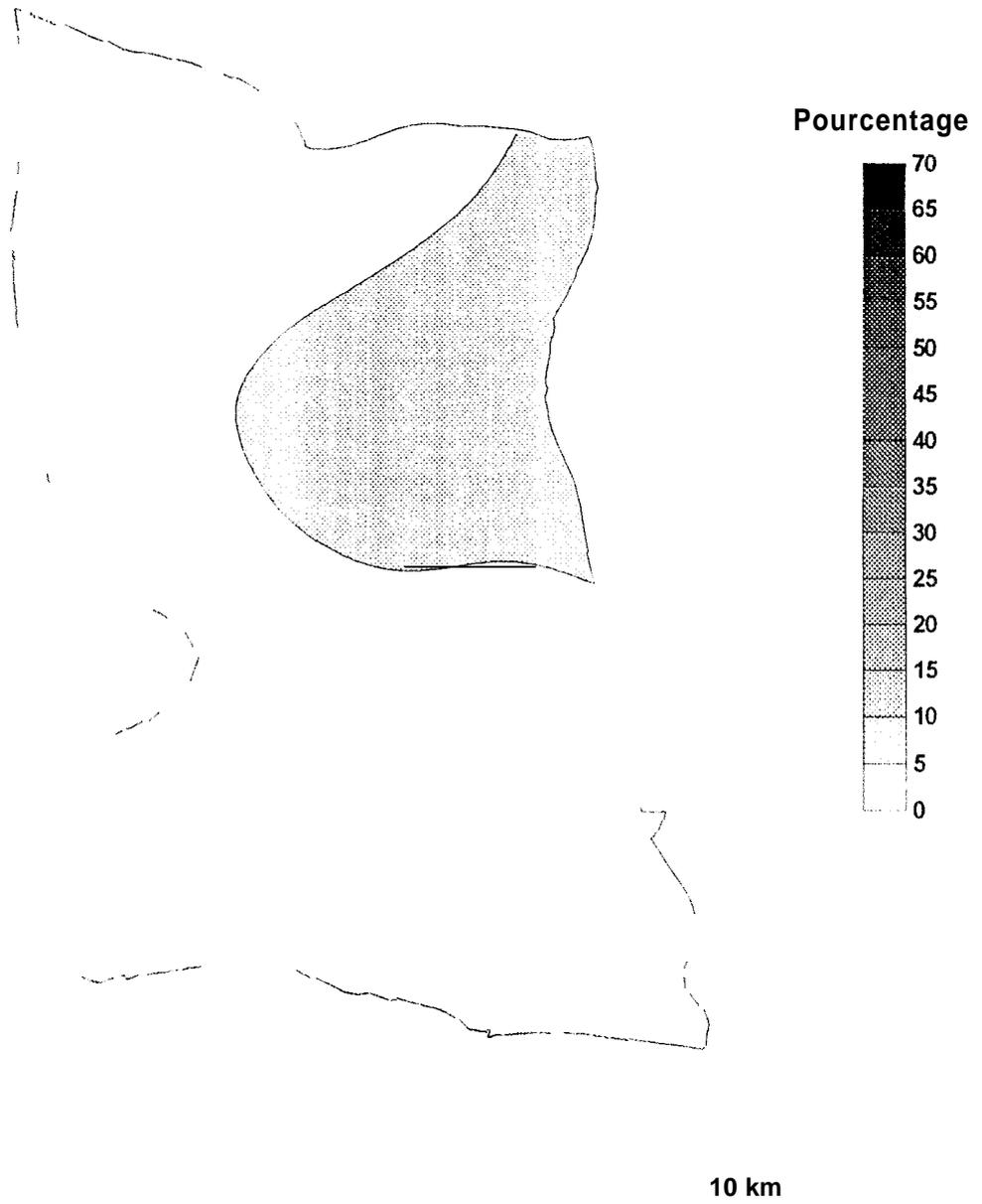


Figure 16 Taux d'occupation des sols agricoles en sorgho

Département de Diourbel, hivernage 1997

Figure 14 : le taux d'occupation en arachide pour le département de Diourbel est dans l'ensemble homogène. Cette culture occupe entre 5 et 3.5 % des surfaces emblavées. L'installation des semis d'arachide s'est faite avec succès en dépit de la sécheresse du début de cycle. En effet, l'arachide est une plante adaptée à la sécheresse et a la capacité de résister à une période de déficit hydrique prolongé. L'analyse de la variance confirme l'homogénéité de sa répartition puisqu'il n'y a aucun gradient Nord-Sud ou Est-Ouest.

Figure 16 en revanche, la répartition du mil est très hétérogène. Son taux d'occupation varie de 0 à 65 %. L'analyse de la variance indique un gradient Nord-Sud et Est-Ouest. Le Sud-Ouest présente les taux d'occupation les plus élevés (>50 %). Cependant, le mil est peu représenté dans le Nord et le Nord-Est, La longue pause pluviométrique du mois de juillet et les attaques des plantules par les sauteriaux expliquent cette faible représentation.

Figure 15 la jachère comme le mil a une répartition très hétérogène. L'analyse de la variance indique un gradient Nord-Sud. La jachère est particulièrement présente dans le Nord-Est du département, à l'inverse le Sud-Ouest enregistre les taux les plus faibles. Son augmentation est liée à la fonte de semis de mil.

Figure 17 : la répartition du niébé est plus homogène. Son taux d'occupation est compris entre 5 et 20 %. Le niébé ne constitue pas une denrée majeure dans l'alimentation, d'où un taux d'occupation en moyenne bas. Cependant le niébé est relativement plus intense dans le Nord-Est où il constitue une culture de substitution au mil.

Figure 18 : quant au sorgho, c'est une culture qui est peu représentée dans le département de Diourbel. Son taux d'occupation varie de 0 à 10 %. Le sorgho constitue une céréale peu consommée. Il est cultivé dans le cas où les conditions environnementales sont défavorables au mil.

En somme, au cours de l'hivernage 1997, très peu d'espaces agricoles ont été occupés par le mil dans le Nord-Est du département. Après plusieurs générations de ressemis (trois à quatre selon les paysans), les agriculteurs ont soit mis en place d'autres cultures de substitution comme le niébé ou le sorgho ou laisser les superficies restantes en jachère.

5. EXPERTISE DE LA METHODE DE MESURE DES SUPERFICIES

Par cette expertise, nous allons tenter de cerner au mieux les problèmes liés aux mesures des surfaces emblavées afin d'établir un protocole adapté aux objectifs du SIG mis en place dans le département de Diourbel. Principalement trois contraintes doivent être prises en compte :

- Une contrainte liée au degré de précision souhaité. La qualité des informations fournies par un SIG dépend de la précision des données qui l'alimentent.
- Une contrainte liée au coût. Le coût d'une campagne doit être suffisamment bas afin que l'extension de la méthode à des régions géographiques plus vastes soit possible
- Une contrainte liée au temps. Le SIG a pour finalité la prévision des rendements, aussi l'information liée aux mesures des surfaces emblavées (taux d'occupation des cultures) doit être disponible suffisamment tôt.

5.1. PRECISION DES MESURES

5.1.1. Le test de recrutement

Avant le démarrage de la campagne de mesures, le CERAAS a organisé un test d'aptitude aux mesures des surfaces agricoles. A partir des notes obtenues, 12 candidats ont été sélectionnés sur les 20 qui se sont présentés. Il est à noter que parmi les candidats, 9 avaient déjà fait la campagne de mesure en 1996; seuls 5 ont été repris

Le mode de recrutement s'est avéré efficace puisque les parcelles ont été mesurées avec une précision suffisamment grande (erreur inférieure à 10%) conformément aux objectifs fixés. Le test nous a permis de sélectionner les candidats les plus aptes à obtenir des mesures fiables. L'idée du recrutement par une évaluation des connaissances théoriques et pratiques s'est avérée pertinente. Cependant, il est important que le test de sélection porte davantage sur l'aspect pratique que sur l'aspect théorique. En effet le travail demandé est bien plus physique qu'intellectuel.

5.1.2. Imprécision des mesures d'angles et de longueurs

L'imprécision des mesures d'angles est liée dans la majorité des cas à un mauvais alignement de la boussole et des deux jalons qui délimitent l'un des côtés de la parcelle au moment de la visée. Il est également difficile, à cause du sol et du vent, de planter les jalons verticalement.

Pour les mesures de longueurs, les irrégularités du sol et les cultures présentes rendent parfois difficile le déroulement direct du décimètre entre les deux jalons. Une mesure nécessite donc parfois de se faire en plusieurs étapes, ce qui multiplie les imprécisions. De plus le vent contribue à courber le ruban.

Inévitablement, la qualité des mesures est tributaire du travail de terrain.

5.1.3. Identification des erreurs

Quand les techniciens commettent des erreurs de mesure, la calculatrice programmable ne permet pas toujours de les repérer. En effet, celle-ci calcule l'erreur de surface sur le premier côté, ce qui est dans certains cas insuffisant.

L'identification des erreurs se fait facilement à partir du logiciel développé sur Visual Basic. Cette application permet d'obtenir à partir des valeurs d'angle et de longueur la surface des parcelles ainsi que l'erreur sur la surface. De plus, elle permet de visualiser le plan des parcelles qui composent un segment. Ainsi, la correction des erreurs se fait plus aisément.

Le suivi rapproché des équipes s'est avéré être une méthode efficace pour améliorer la précision des mesures. Cependant, il est important de noter que la correction des parcelles est parfois trop systématique. En effet, dans un objectif de ne pas retarder le déroulement de la campagne, la tentation est forte de corriger systématiquement les parcelles aberrantes au risque parfois de déformer l'information.

5.1.4. Problèmes liés au repérage des limites des segments

Il n'est pas rare que les équipes intègrent des parcelles qui ne font pas partie du segment, inversement ils ne prennent pas en compte des pans entiers de segment.

Ces erreurs s'expliquent facilement :

- avec la pluie, le marquage des arbres a tendance à s'effacer. De plus, le mil atteint une hauteur suffisamment importante pour masquer ces marques. Ces facteurs contribuent à rendre difficile le repérage des segments.
- il arrive, dans le cas où les arbres sont peu nombreux, qu'un arbre hors segment soit marqué pour indiquer une limite; les équipes intégreront les parcelles proches de l'arbre au segment en question.
- le marquage des limites des segments a été effectué durant la saison sèche en suivant des pistes déjà existantes. Or, avec la saison des pluies, certaines pistes ont disparu au profit des cultures. Ainsi, les limites des segments passent à travers champ rendant difficile leur reconnaissance.

Aussi afin de s'assurer qu'il n'y a pas d'ambiguïtés dans la lisibilité du marquage, il est important d'effectuer le tour du segment aussi souvent que possible avec les équipes aidé d'un technicien qui a participé au marquage des segments.

5.2. COUT D'UNE CAMPAGNE

5.2.1. Coût du matériel

Le matériel est composé de 16 jalons, 4 boussoles, 4 calculatrices programmables, 4 décamètres de 50 mètres, 4 machettes, fournitures scolaires diverses. Il est important de différencier le matériel que l'on doit renouveler annuellement de celui dans lequel on investit une seule fois.

| Consommables | Quantité | Prix à l'unité | Prix total |
|-------------------------|----------|----------------|----------------|
| Décamètre | 4 | 30 000 | 120 000 |
| Four: nitures de bureau | | | 20 000 |
| Machette | 4 | 3 000 | 12 000 |
| COUT TOTAL (CFA) | | | 152 000 |

| Investissements amorti | Quantité à l'unité | Prix total |
|---|--------------------|----------------|
| Boussole <small>Boussole amortissables sur 3 ans (Slotte)</small> | 100 000 | 100 000 |
| Calculat | 3 (Liquidoma) | 50 000 |
| | 16 | 2000 |
| Calculatrice programmable | 31 (Sharp (HP)) | 60 000 3000 |
| | | 60 90000 000 |
| COÛT | | 432000 |
| COUT TOTAL (CFA) | | 514 000 |

5.2.2. Charges de main d'oeuvre

Cette année la campagne a duré 103 jours. Les 12 techniciens chargés du relevé des superficies ont été rémunérés 3000 CFA par jour. Le coût total des salaires s'élève donc à 3 708 000 CFA.

Tous les mois une prime de 3000 CFA a été versée à chacun des quatre chefs d'équipe. La somme des primes s'élève à 36 000 CFA.

Le chauffeur touche une prime de 2 000 CFA par jour de mission.

| Personnel | Effectif | Nombre de jours | Taux journalier | Total |
|-------------------------|----------|-----------------|-----------------|----------------|
| Enquêteur | 12 | 3 | 3 000 | 3 708 000 |
| Prime chef d'équipe | 4 | 3 | 3 000 | 36 000 |
| Chauffeur | 1 | 16 | 2000 | 32000 |
| COUT TOTAL (CFA) | | | | 3776000 |

5.2.3. Aspect logistique

Un véhicule fait le tour des équipes un jour par semaine. En moyenne 200 kilomètres sont effectués par journée de terrain, La consommation des véhicules utilisés pour ces missions varie de 10 litres pour 100 kilomètres (dans le cas d'une voiture essence) à 8 litres pour 100 kilomètres (dans le cas d'une voiture diesel). En moyenne le carburant utilisé par jour de terrain correspond donc à 20 litres d'essence (400 CFA le litre) ou 16 litres de diesel (240 CFA le litre). Au total durant la campagne

16 jours de terrain ont été effectués, 6 jours avec une voiture essence, 10 jours avec une voiture diesel. Le coût total s'élève donc à $6 * 20 * 400 + 12 * 16 * 240 = 86\ 400$ CFA

| Type de transport | Coût du carburant | Consommation pour 100 km | Nombre de km par jour de mission | Nombre de jours de mission | |
|--------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------|
| Peugeot 404 | 455 CFA/l (essence) | 10 litre | 200 km | 6 | 54 600 |
| Isuzu | 300 CFA/l (diesel) | 8 litre | 200 km | 10 | 48 000 |
| TOTAL (CFA) | | | | | 102 600 |

Pour des raisons pratiques, le coût du transport inter-PSU a été financé. Le coût moyen d'un transport a été estimé à 4000 CFA.

Durant la campagne le coût lié au transport des enquêteurs s'est élevé à 40 000 CFA.

| | Coût réel | Coût annuel |
|----------------|------------------|------------------|
| Amortissements | 432 000 | 144 000 |
| Consommables | 152 000 | 152 000 |
| Matériel | 524 000 | 524 000 |
| Main d'œuvre | 3 776 000 | 3 776 000 |
| Logistique | 142 600 | 142 600 |
| Total | 5 026 600 | 4 738 600 |

Coût total de la campagne 1997 : 4 966 600 CFA

Coût annuel d'une campagne : 4 718 600 CFA

Le coût de la campagne de mesures dépend en très grande partie de sa durée. Les problèmes rencontrés par les équipes contribuent à ralentir le rythme de travail des équipes, allongent la durée de la campagne et ainsi engendrent une augmentation de l'investissement de base

5.3. PLANNING DES MESURES

5.3.1. Rythme de travail des équipes

L'unité de mesure du rythme de travail est difficile à définir. En effet, celui-ci dépend du terrain, du marquage des segments et du climat (par temps de pluie les équipes ne travaillent pas). La surface des segments est hétérogène et varie de 20 à 60 ha ainsi que le nombre de parcelles constituant un segment. Il est plus pertinent de parler en nombre d'hectares ou nombre de parcelles mesurés par équipe et par unité de temps.

Le rythme de travail des équipes enregistré cette année est le suivant :

| | segments/semaine | hectares/semaine | parcelles/semaine |
|------------|------------------|------------------|-------------------|
| Equipe n°1 | 1.57 | 40.27 | 29.57 |
| Equipe n°2 | | | |
| Equipe n°3 | 1.14 | 26.18 | 33.14 |
| Equipe n°4 | 1.14 | 36.56 | 34.54 |

Le rythme de travail est calculé sur les sept premières semaines car par la suite la reprise de segments à perturbé ce rythme.

A partir de ces valeurs, si seule l'unité segments/semaine est prise en compte, l'équipe n°1 est celle qui travaille le plus rapidement. Par contre, si seule l'unité parcelles/semaine est prise en compte, l'équipe n°1 devient celle qui travaille le moins vite. L'équipe n°1 se situe au Nord du département de Diourbel (cf figure 19), dans une zone où la pluviométrie est faible. Les surfaces non semées (ou jachères) sont bien plus importantes que dans le reste du département. Les surfaces emblavées sont moins nombreuses et plus restreintes, ce qui simplifie le travail de l'équipe.

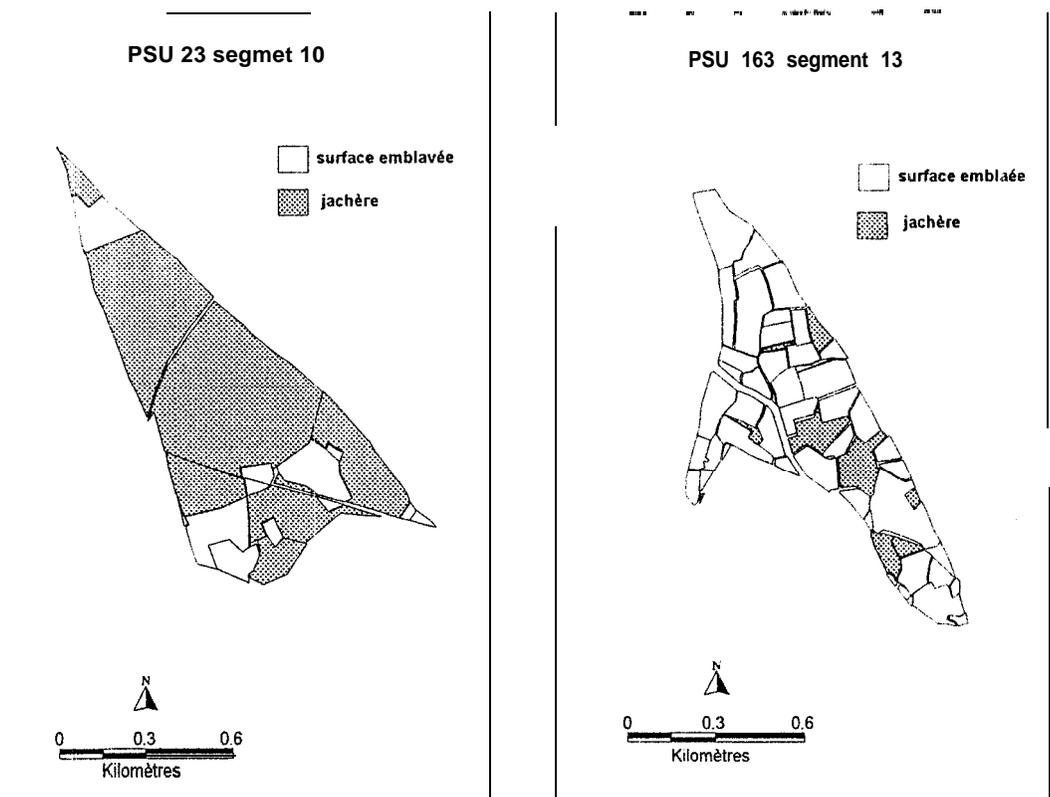


Figure 17 : comparaison du découpage parcellaire de deux segments

Le segment 10 de la PSU 23, situé dans le Nord du département, est constitué de 20 parcelles, principalement de jachères (le terme jachère ici englobe les terres incultes), tandis que le segment 13 de la PSU 163, situé dans le sud du département, est constitué de 55 parcelles et peu de jachères.

Le travail total effectué par équipe sur l'ensemble de la campagne est le suivant

| | Nb de segments | Nb d'hectares | Nb de parcelles |
|------------|----------------|---------------|-----------------|
| Equipe n°1 | 22 | 631.6 | 440 |
| Equipe n°2 | 16 | 450.8 | 447 |
| Equipe n°3 | 16 | 412.3 | 549 |
| Equipe n°4 | 21 | 536.9 | 549 |

Le rythme moyen de travail des équipes sur toute la campagne est le suivant (les segments mesurés deux fois sont pris en compte) :

| | Nb de seg/semaine | Nb d'ha/semaine | Nb de parc/semaine |
|------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| Equipe n°1 | 1.5 | 42.1 | 29.3 |
| Equipe n°2 | 1.1 | 30.1 | 29.8 |
| Equipe n°3 | 1.1 | 27.5 | 36.6 |
| Equipe n°4 | 1.4 | 35.8 | 36.6 |

L'objectif fixé au départ était de deux segments par semaine. Ce rythme était surestimé. Au vu de ces résultats, le rythme moyen de travail des équipes, en nombre de segments par semaine puisque c'est l'unité qui nous intéresse pour évaluer la durée d'une campagne, est compris entre 1 et 1,5 segments par semaine. Dans ces conditions l'augmentation des effectifs semble inéluctable. Dans le cas où l'on passerait de 4 à 6 équipes (3 personnes par équipe), la durée d'une campagne serait de 10 à 15 semaines. Ces durées restent en adéquation avec les objectifs du SIG. Cette solution semble être la mieux adaptée au problème posé.

5.32. Date de début des mesures

Le principal problème rencontré par les équipes a été l'identification des cultures.

En effet la région de Diourbel a connu une période de sécheresse durant la saison des pluies, ce qui a été à l'origine de nombreux cas de fontes de semis. La mise en place définitive des cultures ne s'est faite que tardivement. Ainsi les cultures mises en place fin juillet et identifiées comme étant définitives ont été largement remplacées par de nouvelles cultures au cours du mois d'août. Ceci est particulièrement vrai pour la zone nord du département de Diourbel. Les équipes ont été contraintes de reprendre l'identification des cultures mais aussi de refaire des mesures. Dans la plupart des cas, les parcelles nouvellement semées ne conservaient pas leur surface d'origine. Les agriculteurs étaient à cours de semences, ils préféraient replanter des cultures à cycle plus court (niébé, bissap, pastèque).

Cette année et comme l'année précédente, les agriculteurs du département de Diourbel ont continué à semer jusqu'à la mi-août. Les cultures étaient définitivement mise en place vers le 17 août

Ces changements nous ont contraint à reprendre les mesures de trois PSU : les trois premières mesurées dans le nord du département : les PSU 18, 32, 64.

Le cas du segment 2 de la PSU 64 permet d'illustrer le premier type de changements (cf figure 20) :

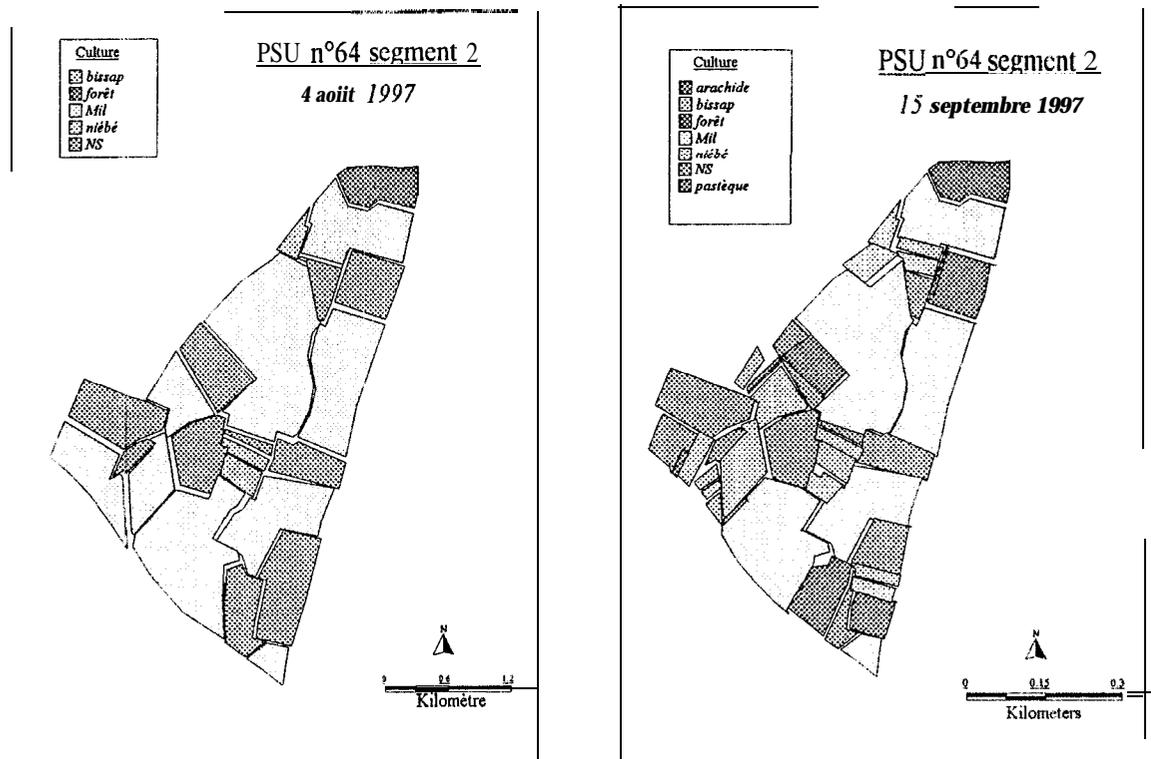


Figure 18 : évolution du taux d'occupation des-cultures sur le segment 2 de la PSU 64 en cours d'hivernage

Les agriculteurs ont semé sur de nouvelles parcelles sous l'effet des fortes précipitations de la mi-août. Cela implique que le taux d'occupation d'un plus grand nombre de segments ait été modifié durant cette période. Cette perte d'information porte sur les premiers segments mesurés, soit un nombre relativement restreint.

Afin de limiter cette perte d'information, les équipes doivent commencer leur travail à partir du premier août.

Le cas de la PSU 32 est différent de celui de la 64 comme le montrent les cartes suivantes (cf figure 21) :

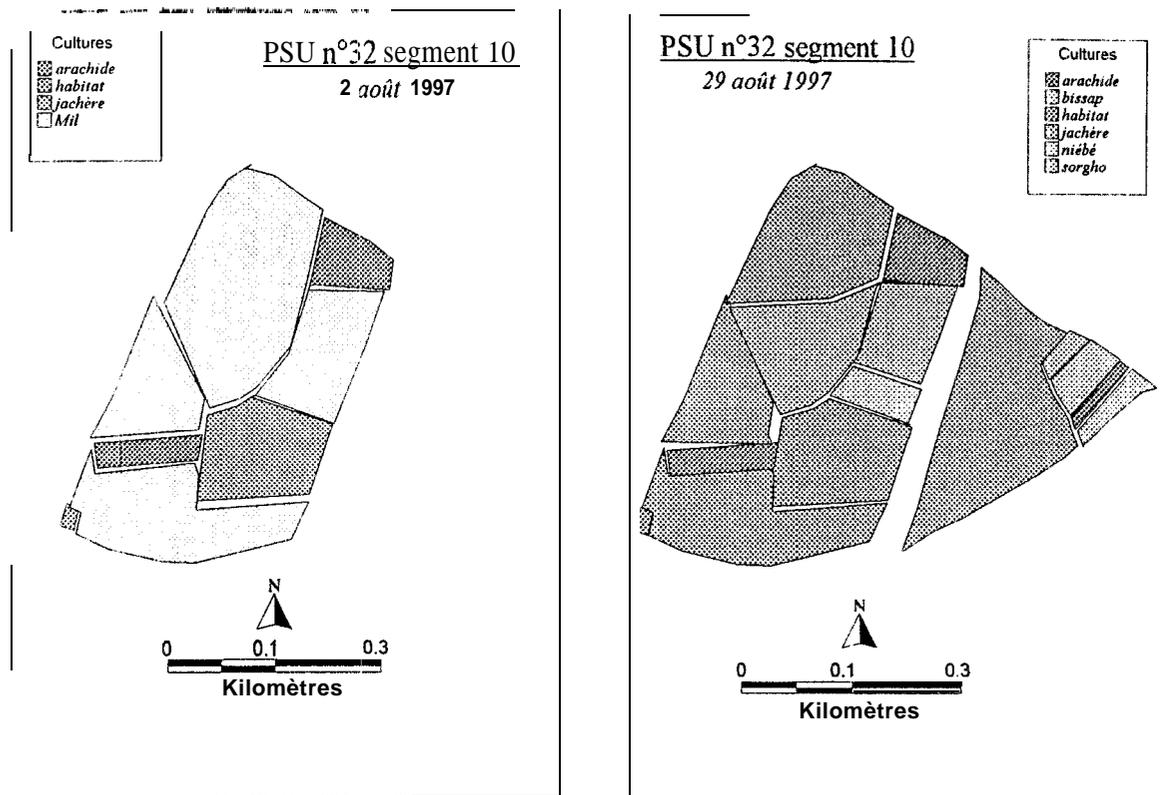


Figure 19 : modification des cultures sur le segment 10 de la PSU 32 en cours d'hivernage

Les changements sur la PSU 32 sont plus importants que sur la PSU 64. Le taux d'occupation des cultures a fortement varié entre le 2 et 29 août. Le mil a totalement disparu au profit du niébé, du sorgho et de la jachère.

Les modifications dans le découpage parcellaire sont essentiellement dûs aux aléas climatiques. Les risques sont particulièrement importants en début de saison des pluies. Les cultures sont donc instables durant cette période. Ainsi, jusqu'à la mi-août, après chaque précipitation suffisamment abondante (supérieure à 30 mm) le taux d'occupation des surfaces est modifié.

Dans ces conditions, il est préférable de faire débuter la campagne de mesures à partir du premier août et ceci afin d'obtenir des informations plus complètes sur le taux d'occupation des différentes cultures et en particulier sur le niébé et le sorgho deux espèces qui sont semées en cours d'hivernage. De même les enquêteurs doivent commencer leur mesures sur les segments où les cultures sont définitivement installées.

PROPOSITION D'UN PROTOCOLE

1ère étape : Recrutement

Le recrutement des techniciens doit s'effectuer par une évaluation des connaissances théoriques et pratiques. Le test est composé de deux parties :

Une partie théorique composée d'exercices de calcul d'angles et de longueurs et de cas concrets,

Une partie pratique : les candidats mesurent une parcelle à l'aide d'une boussole à visée et d'une chaîne d'arpenteur

Le barème du test doit avantager l'aspect pratique de l'aspect théorique.

Le test permet de recruter 18 personnes c'est à dire six équipes de trois personnes

2ème étape : Organisation des équipes

Une mission de reconnaissance des PSU échantillon et de l'état d'avancement des cultures doit être organisée avant le début des mesures.

Les équipes débutent les mesures à partir du premier août sur les PSU où les cultures sont le mieux installées

Les équipes sont constituées de trois personnes dont un chef d'équipe.

Le chef d'équipe est chargé d'organiser l'emploi du temps des équipes, de prévenir en cas d'absence prolongée d'un des membres de l'équipe Il est responsable du matériel confié.

Pour leur travail les équipes disposent du matériel suivant :

- 3 jalons
- 1 chaîne d'arpenteur
- 1 calculatrice programmable
- 1 boussole
- 1 machette
- fournitures de bureaux diverses (ardoises, pochettes, crayons)

Rémunération des équipes

Les équipes sont rémunérées 3000 CFA/jour

Le coût du transport entre les PSU est payé aux équipes

4ème étape : Suivi sur le terrain

Chaque semaine, une voiture fait le tour des équipes afin de relever les mesures faites durant la semaine

Dans le cas où l'équipe a des problèmes dans l'identification des limites des segments, il faut en faire le tour afin de lever toute ambiguïté, liées à son repérage. Pour cette raison, la présence avec la mission hebdomadaire d'un technicien qui a effectué la campagne de marquage des segments est nécessaire

Les données récoltées à cette occasion, sont saisies dès retour de mission ce qui permet de relever les données aberrantes. La correction est effectuée à partir du logiciel de gestion des données.

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le SIG mis en place dans le département de Diourbel existe depuis 1995. L'objectif, pour la campagne 1997 était la finalisation des protocoles d'acquisition de données. Le SIG CERAAS est alimenté par une grande diversité de données : les données à caractère climatique, agricole, socio-économique, etc. A chaque type de données est associée une méthode d'acquisition de données.

Ce travail a concerné en particulier les données permettant l'obtention des taux d'occupation pour les principales cultures présentes dans le département de Diourbel (arachide, mil, niébé, sorgho). L'objectif était de mettre au point un protocole adapté aux objectifs du projet.

Un SIG est alimenté d'un grand nombre de données. Aussi, la récolte des données est une étape majeure. La qualité des informations récoltées sur le terrain dépend essentiellement de la méthode utilisée pour leur acquisition. De même la pertinence de l'information délivrée par le SIG dépend de la qualité de l'information. Il est donc essentiel d'utiliser des méthodes de récolte fiables.

Actuellement le SIG permet la prévision des rendements en mil et en arachide. Donc en plus d'une contrainte liée à la précision, nous avons une contrainte liée au temps. En effet, les campagnes de prélèvement de données doivent fournir suffisamment tôt l'information afin de permettre leur analyse. Les méthodes de récolte doivent donc être efficaces.

Le CERAAS a pour projet d'étendre le SIG à des zones géographiques plus vastes. Le coût du SIG en essai dans le département de Diourbel doit donc rester suffisamment bas pour ne pas compromettre les perspectives d'extension.

C'est en tenant compte de ces trois contraintes que la méthode d'acquisition de données sur les surfaces agricoles a été analysée en vue d'être améliorée.

Dans un premier temps l'origine des imprécisions des mesures a été étudiée afin de trouver un moyen pour améliorer la précision des mesures. Le recrutement et la sélection des candidats en fonction des compétences nous ont permis d'obtenir un gain de précision conséquent. De plus, le suivi rapproché des équipes sur le terrain a permis de suivre la précision des mesures (grâce au logiciel de gestion des données) et d'en corriger les erreurs.

Dans un deuxième temps, les problèmes à l'origine du retard des équipes ont été analysés. L'étude du rythme de travail des équipes nous a permis d'établir un rythme moyen supportable pour les équipes. L'examen des facteurs contribuant à ralentir leur travail nous a permis d'améliorer le protocole afin d'optimiser leur efficacité.

Dans un but d'obtenir les taux d'occupation pour les principales cultures dans les meilleurs délais, l'augmentation des effectifs (passage de quatre à six équipes) est nécessaire,

ANNEXE 1

Test d'évaluation pour la mesure des superficies

Partie théorique

Identification du candidat :

Nom

Prénom

Date de naissance :

Adresse :

Expérience :

Avez-vous effectué les campagnes de mesure du CERAAS ? (entourer la ou les réponse(s))

1995

1996

aucune

Pour quel(s) organismes agricoles avez-vous déjà travaillé ?

Avez-vous en dehors du CERAAS déjà effectué des mesures de superficies ?

oui

non

Si oui avec quel organisme ?

Décrivez votre cursus scolaire et votre expérience :

Première partie : calcul d'angles

Donner le résultat des calculs suivants entre 0'' et 359'' :

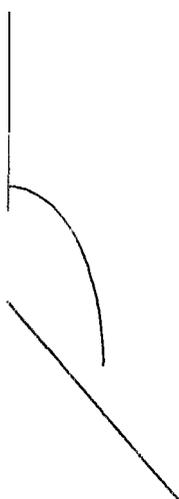
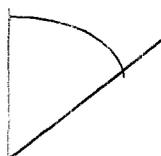
$$43^\circ + 29^\circ$$

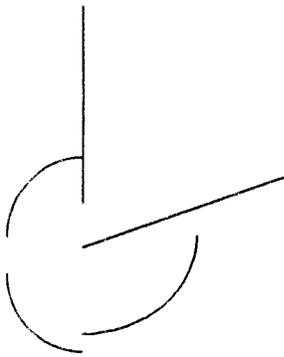
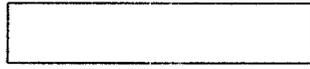
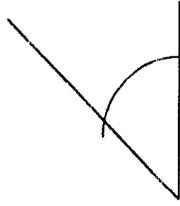
$$127^\circ + 296^\circ$$

$$12^\circ - 67^\circ$$

$$307^\circ + 98^\circ$$

Donner la valeur approximative des angles suivants (entre 0'' et 359'') :





Deuxième partie : calcul de distances

On dispose d'un décamètre de 50 mètres. Décrivez toutes les étapes de mesure des distances suivantes, :

45m

72m

143m

151m

Le même décamètre se coupe malencontreusement à la graduation 37m. On fait un noeud qui recouvre les graduations 36,94 à 37,06.

• de combien le décamètre a-t-il été raccourci ?

Avec ce décamètre, décrivez toutes les étapes de mesure des distances suivantes :

22m

72m

143m

151m

Test d'évaluation pour la mesure des superficies
Partie pratique

Identification du candidat :

Nom

Prénom

Mesure de la parcelle test :

| Numéro côté | Angle avec le nord (entre 0° et 359°) | Longueur côté (mètres) |
|-------------|--|------------------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Vérification avec la calculatrice :

Surface :

Erreur :

ANNEXE 2

Détail du travail effectué par les équipes d'enquêteurs du 21 juillet au 31 octobre.

| | Equipe 1 | | Equipe 2 | | Equipe 3 | | Equipe 4 | |
|-----------|----------|----------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | PSU | Seg | PSU | Seg | PSU | Seg | PSU | Seg |
| 1ère sem | 032 | 05 10 | 064 | 1 | 166 | 11 12 | 188 | 21 22 |
| 2ème sem | 032 | 16 17 | 064 | 2 8 | 166 | 17 | 178 | 9 |
| 3ème sem | 018 | 22 | 064 | 10 | 166 | 16 | 178 | 08 11 |
| 4ème sem | 018 | 23 12 11 | 068 | 13 | 129 | 19 | 178 | 12 |
| 5ème sem | 040 | 16 | 068 | 09 | 129 | 13 | 163 | 19 |
| 6ème sem | 040 | 17 | 068 | 11 | 129 | 06 | 0 | |
| 7ème sem | 040 | 07 | 068 | 12 | 129 | 05 | 163 | 20 |
| 8ème sem | 032* | 05 | 0 | | 0 | | 0 | |
| 9ème sem | 032* | 10 16 17 | 064* | 01 02 | 121 | 17 18 | 163 | 12 13 |
| 10ème sem | 018* | 11 12 22 23 | 064* | 0810* | 121 | 07 | 161 | 11 19 |
| 11ème sem | 040 | 06 | 074 | 10 | 121 | 04 | 161 | 08 09 |
| 12ème sem | 023 | 1516 | 074 | 15 | 115 | 11 | 187 | 07 |
| 13ème sem | 023 | 10 09 | 074 | 17 | 115 | 12 | 188 | 02 04 |
| 14ème sem | 025 | 05 06 15 | 074 | 18 | 115 | 01 | 135 | 18 23 |
| 15ème sem | 025 | | 071 | 06 07 | 115 | 02 | 135 | 01 02 |

*PSU reprises

ANNEXE 4

Contrat de travail

Equipe :

Travail à effectuer

Mesure de superficies par triangulation et identification des cultures sur les PSU

Rythme de travail

Matin : 8h - 13h

Après-midi : 15h - 18h

Les horaires sont à titre indicatif et sont modulables au gré des équipes

Compte tenu des contraintes liées au **planning** le rythme de deux segments par semaine est souhaitable. Les équipes sont tenues de travailler huit heures par jours, six jours par semaine (le dimanche est chômé).

Cas particulier : En cas d'absence prolongée (supérieure à deux jours) d'un des membres de l'équipe, celle-ci est tenue d'informer un responsable du CERAAS afin que le malade soit remplacé le temps de sa convalescence.

Les équipes doivent signaler le lieu de leur travail (n°de PSU et de segment sur une ardoise) au village où ils résident afin qu'on puisse les trouver rapidement.

Matériel

Chaque équipe dispose pour son travail

- de 4 jalons

- d'un décamètre de 50 mètres
- d'une boussole
- d'une calculatrice
- de bloc-notes, crayons, pochettes
- d'une machette

L'ensemble du matériel sera remis au CERAAS à la fin de la campagne.

Rémunération

'Le salaire versé est de 3000 fr. CFA par jour et par personne. Le dimanche est un jour payé comme les autres.

Signatures :

Bibliographie

ANNEROSE D. et D. Madiagne, 1990. Caractérisation de la sécheresse agronomique agronomique en zone semi-aride. II. Evaluation des formes de sécheresse agronomique de l'arachide cultivée au Sénégal par simulation du bilan hydrique de la culture. *Oléagineux*, Vol 46, n°2, 6 I-67.

ANNEROSE D., 1996. Une nouvelle approche d'estimation de la production agricole. Document d'information, CERAAS, 7 p..

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. Mémoire de fin d'études d'ingénieur agronome Université Libre de Bruxelles, 83 p..

GUISSARD R., 1996. Une nouvelle approche d'estimation de la production agricole. Document d'information, CERAAS, 8 p..

BOGGIO D., 1997. SIG Diourbel : Echantillonnage et traitement de données géographiques : résultats campagne 1996 et propositions pour 1997. Document d'information, CERAAS, 7 p..

CHEMLA G., 1995. Statistique appliquée à la géographie. Nathan Université, 160 p

GROUPE CHADULE, 1994. Initiation aux pratiques statistiques en géographie. Troisième édition, Masson, 203 p..

CHAUVET P., 1992. Triatement des données à support spatial : la géostatistique et ses usages. Rapport N-28/93/G. Centre de géostatistique, Ecole des Mines de Paris, 43 p.

MBAYE M. M., 1997. Gestion des données de mesure des superficies par triangulation. Rapport de Stage pour l'obtention du diplôme universitaire de technologie en informatique de gestion, Université Cheikh Anta Diop, 25 p..

TEMAR4 S., 1997. Contribution au suivi des rendements de l'arachide dans le département de Diourbel (Sénégal) enquête par sondage et interpolation géographique. Mémoire de fin d'études d'Ingénieur Agronome, Université Libre de Bruxelles, 144 p..

TEMARA S., 1996. Suivi agronomique de la croissance de l'arachide en Afrique Occidentale (Diourbel, Sénégal) : utilisation d'un système d'information géographique Rapport de stage, CERAAS, 35 p..

CHAN HO TONG S., 1996. Méthodologie de collecte de données agricoles pour l'alimentation d'un Système d'Information Géographique. Rapport de stage, CERAAS, 27 p..

MILLEVILLE P., 1989. Activités agro-pastorales et aléa climatique en région sahélienne. Extrait du livre : Le risque en agriculture. Editeurs scientifiques : ELDIN M. et MILLEVILLE P. Ed. ORSTOM, *Coll. A travers champs*, 233 - 241.

AG MOHAMED A., DOLJMBIA Y., PONCET Y., 1995. SIG et gestion locale des ressources forestières : le bois de feu au Mali. *Sécheresse* n°3, vol.6, 289 - 293.