

Batch 4
Box 4

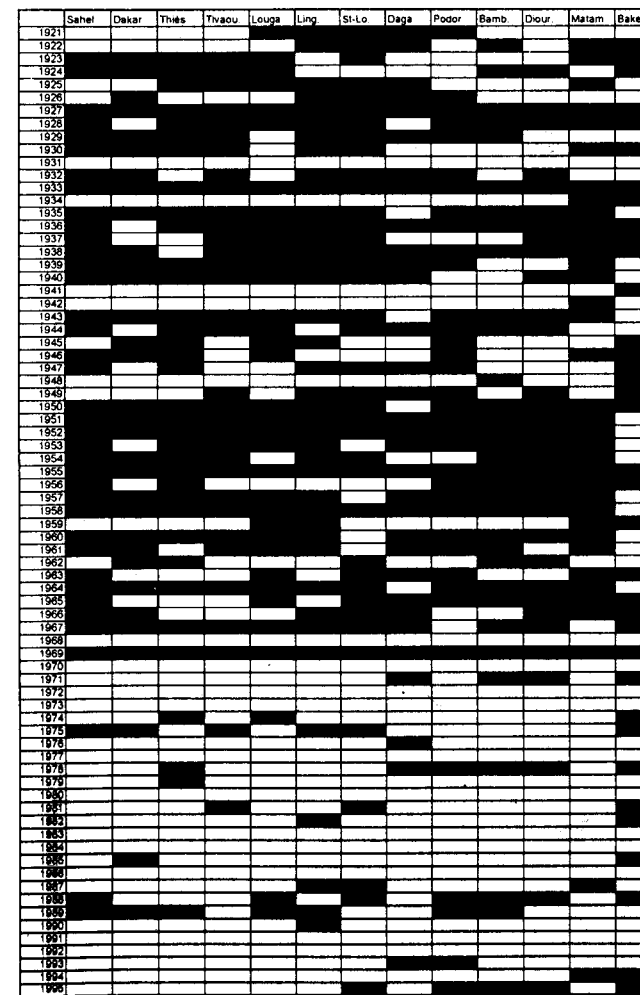
931352
122434

Projet ÉCOSSÉN
subventionné par le CRDI, Ottawa, Canada

crises de l'environnement et dynamique des espaces ruraux du nord-ouest sénégalais 1954-1996

Rapport technique à 3 ans

Figure 6 Pluviométrie du Sahel sénégalais par rapport à la moyenne 1921-1995



ARCHIV
122434

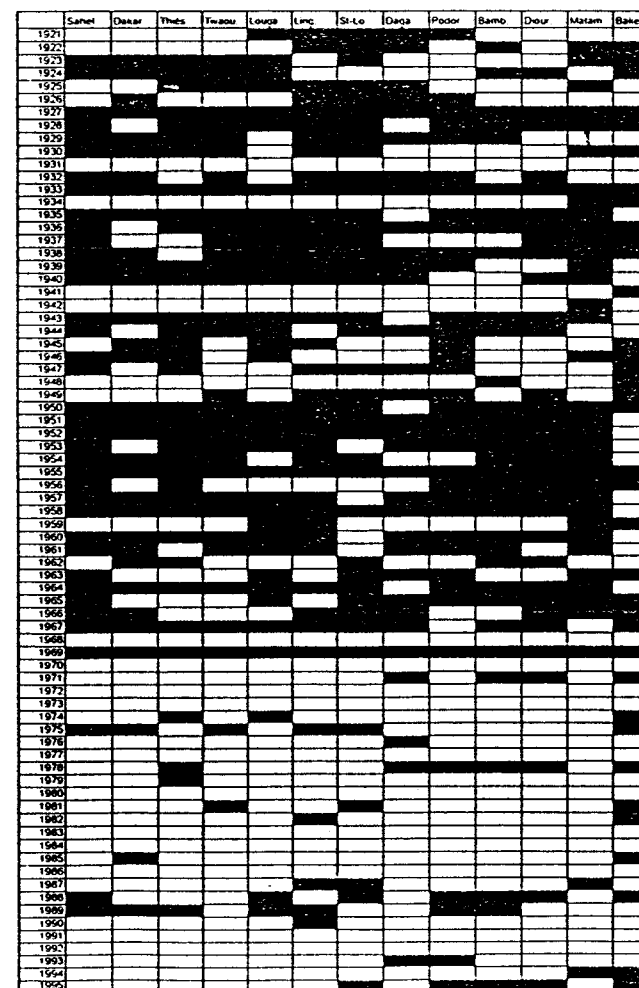
Équipe ÉCOSSÉN

Projet ÉCOSSÉN
subventionné par le CRDI, Ottawa, Canada

crises de l'environnement et dynamique des espaces ruraux du nord-ouest sénégalais 1954-1996

Rapport technique à 3 ans

Figure 6 Pluviométrie du Sahel sénégalais par rapport à la moyenne 1921-1995



SCIENCES DE L'INFORMATION
SCIENCES DE LA SANTE
WARO . _____
BRACO : 30/07/97
CRDI - DAKAR

Équipe ÉCOSSÉN

Sommaire

Partenaires et Equipe de suivi du projet ÉCOSSÉN (An 3, volet Sénégal)	page 4
Avant propos	5
Introduction	
Projet Écossén : objectifs, bilan et perspectives.....	7
A. Résumé du Projet Écossén.....	7
B. Description du Projet Écossén.....	8
C. Résultats de l'An 3 et perspectives.....	12
D. Définition technique de la zone d'étude.....	12
E. Références bibliographiques.....	12
Evolution des espaces ruraux.....	16
Evolution de la pluviométrie (1921-1995).....	17
Evolution de la répartition des paysages agraires (1954-1995).....	23
1. Procédure générale.....	23
2. Les données utilisées.....	23
3. La photo-interprétation.....	24
4. La cartographie primaire de l'évolution de l'espace agricole.....	28
5. Vers un modèle d'analyse diachronique.....	28
Modèle graphique et analyse diachronique des espaces ruraux.....	41
Introduction.....	41
1. Les composantes de l'évolution : états et dates.....	42
2. Les unités diachroniques.....	42
3. Classification des unités diachroniques.....	44
4. Conséquences pour l'analyse et la cartographie. Discussion.....	44
5. Application au Nord-Ouest du Sénégal : l'exemple de Keur Momar Sarr.....	44
Conclusion.....	50
Références bibliographiques.....	50

Note méthodologique. Contribution à « Modèle graphique »	52
Photo-interprétation d'image Spot et classification d'unités de paysage Exemple pour les environs de Keur Momar Sarr (Sénégal).....	53
Introduction.....	53
1. Zonage visuel.....	53
2. Elaboration du tableau de données et choix des algorithmes de classification.....	54
3. Interprétation des résultats.....	54
Conclusion.....	57
Bibliographie.....	57
Evolution des densités de population (1976-1995).....	59
L'équipement en forages hydrauliques.....	67
L'élevage.....	75
Evolution de la production agricole.....	81
Bloc-notes.....	89
Lieux-dits du Nord-Ouest sénégalais. Données toponymiques, enquêtes-terrain et logiques spatiales.....	91
Traitement de la variable « projets » de développement. Vers une typologie.....	93
La notion de base de données dans le SIG PAMAP.....	94
African-Gaim Modelling Workshop.....	96
Peut-on modéliser l'environnement.....	97
SIG : système ou fourre-tout ?.....	101
La désertification. Mythe ou réalité ?.....	102
La flèche littorale de Joal.....	103

Partenaires et Équipe de suivi du Projet Écossén (An 3, volet-Sénégal)

Partenaire au développement : M. Alioune B. Camara, Administrateur principal de programme, CRDI, Dakar
 Partenaire pour la coopération : Mme Jacqueline Guernier-Puech, Relations extérieures du CNES, Paris
 Co-mandataire du compte bancaire du Projet à Dakar : M. Ismaïla Niang, Agent Comptable de l'Université de Dakar

Partenaire d'Exécution, Chef de Projet (volet-Canada) et Conseiller Scientifique :
 P^r Goze Bertin Bénlé, Directeur du CARTEL, Université de Sherbrooke

Chef de Projet
 Dr. Louis-Albert Lake
 Géographe, IFAN

Chercheur Principal
 Dr. Mame Demba Thiam
 Géographe, FLSH

Chercheurs

Dr. Alioune Bâ, Géographe, FLSH
 Dr. Magatte Ba, Géographe, CSE
 Dr. Honoré Dacosta, Géographe, FLSH
 Dr. Amadou Tahirou Diaw, Géographe, FLSH
 Dr. Médou Lo, Géographe, Consultant, Dakar
 M. Mbaye Diouf Ndiaye, Démographe, DAT
 Dr. Pascal Sagna, Géographe, FLSH
 Dr. Binta Sène Diouf, Géographe, IFAN
 Dr. EH Seydou N. Touré, Historien, Socio-économiste, IFAN

Assistants

Mlle Mame Ndèye Diop, Secrétaire, IFAN
 M. Papa Jean Diouf, Technicien Supérieur, IFAN
 M. Amadou Faye, Technicien Supérieur, Consultant, Dakar
 M. Ngor Ndour, Sciences Naturelles, Etudiant ISE, Dakar
 M. Mandiaye Thlobane, Géographe, Etudiant ESSIC, Dakar
 Mlle Bernadette Touré, Assistante administrative, IFAN

Partenaires au Sénégal

ASRADEC Dr. Abdourahmane Barry
 CSE M. Massar Mbaye
 DAT M. Oumar K. Ndiaye
 Eaux et Forêts M. Cheikh T. Ndiaye
 ISRA M. Madiagne Diagne

MEAVF M. Momar Talla
 PAPEL Dr. Oumar Ndiaye
 SAED M. Adama Fily Bousso
 M. Johans Ceuppens

Partenaires au Sahel

Burkina Faso Mme Séraphine Kaboré
 Mali Dr. Oumar Doumbia
 Mauritanie Dr. Salem O. Merzoug

Partenaires en France

PRODIG P^r Marie-Françoise Courel, Directeur
 M. Sidy Thiam

Sigles

ASRADEC	Ass. (...) et d'Appui (...) Dévelop. Communautaire	FLSH	Faculté des Lettres et Sciences Humaines (Univ. de Dakar)
CARTEL	Centre d'Applications et de Recherche en Télédétection	IFAN	Institut Fondamental d'Afrique Noire Cheikh Anta Diop
CNES	Centre Nat. d'Etudes Spatiales, France	ISE	Institut des Sciences de l'Environnement
CRDI	Centre de Recherche pour le Développement International	ISRA	Institut Sénégalais de Recherche Agricole
CSE	Centre de Suivi Ecologique	MEAVF	Mission d'Et. et d'Amén. des Vallées Fossiles
DAT	Direction de l'Aménagement du Territoire	PAPEL	Projet d'Appui à l'Elevage
ECOSSEN	Ecogéographie du Sénégal Subsaïen	PRODIG	Pôle de Rech. pour l'Organisation et la Diffusion de l'Info. Géo
ESSIC	Ecole Sup. des Sc. de l'Info. et de la Comm.	SAED	Sté Nat. d'Aménagement (...) du fleuve Sénégal

Avant-propos

Ce rapport conclut la première phase de trois ans du projet d'*Écographie du Sénégal Subsaharien* (Écossén). Il comprend notamment l'essentiel des composantes de l'*Atlas cinématique des espaces ruraux* du Nord-Ouest sénégalais.

Il préfigure le résultat final (prévu au terme du Projet, en Juillet 1999) : le *tableau de bord* du Sahel sénégalais, grâce auquel l'Equipe Écossén proposera, par anticipation, une stratégie territoriale d'adaptation prévisionnelle aux probables grandes sécheresses des années 2005.

Les travaux proposés dans ce rapport ne prétendent donc pas constituer un résultat acquis et indiscutable. Au contraire : il s'agit d'une *proposition* que les partenaires du Projet Écossén sont invités à discuter afin qu'elle puisse acquérir une dimension opératoire dans le cadre des outils qu'élus locaux, techniciens nationaux et décideurs pourraient utiliser pour mieux concevoir le développement économique et social des communautés de base du Sahel sénégalais.

Un séminaire devrait permettre d'amorcer ce travail prochainement. Toutefois nous serions heureux qu'avant-même cette rencontre nos partenaires veillent bien nous faire parvenir par écrit leurs remarques.

Programme de recherche-développement appuyé par le Recteur de l'Université de Dakar et par le Directeur de l'IFAN, le Projet Écossén, depuis l'origine, est exécuté au Laboratoire de Géographie de l'IFAN, en collaboration avec le P^r Goze Bertin **Bénié**, Directeur du CARTEL, de l'Université de Sherbrooke (Québec, Canada), Chef de Projet (pour le volet canadien) et Conseiller scientifique.

Ce Projet est financé par le CRDI (Ottawa, Canada). Mais, au-delà du financement, il nous faut exprimer ici la gratitude de l'Equipe Écossén envers les responsables de cet organisme, particulièrement à l'Administrateur principal de programme et à l'Assistante de programme. Depuis trois ans, ils accordent une attention soutenue à nos sollicitations.

Nous devons également remercier chaleureusement M^{me} Jacqueline **Guernier-Puech** de la Délégation des Relations Internationales du CNES. Elle a initié avec le Projet Écossén une coopération qui a permis à l'Equipe de bénéficier gracieusement d'images SPOT et d'une inscription à un stage du GDTA.

Parmi nos partenaires scientifiques nous devons exprimer notre gratitude au P^r Cheikh **Bâ** de l'Université de Dakar, qui, avec une modestie qui force l'admiration, a accepté de rencontrer plusieurs fois l'Equipe et de participer à ses travaux. Le P^r Marie-Françoise **Courel**, Directeur du Laboratoire PRODIG à Paris, a bien voulu mettre au point, avec le Chercheur principal du Projet Écossén, une collaboration scientifique très positive grâce au séjour de trois mois parmi nous de l'un de ses étudiants de doctorat, M. Sidy **Thiam**.

Nous devons enfin dire toute notre reconnaissance envers nos partenaires locaux, et, très particulièrement, au Directeur général du CSE et au Directeur de l'Aménagement du Territoire (DAT). A travers ces personnalités, il nous est agréable de remercier également les experts et techniciens qui nous aident sans réserve depuis le début d'exécution du Projet, singulièrement MM. Kalidou **Touré** (DAT) et Ismaïla **Bâ** (CSE).

Introduction

Projet Écossén : objectifs, bilan et perspectives

par

Louis-Albert Lake

Le sigle ÉCOSSÉN désigne le Projet de recherche-développement intitulé « Écographie du Sénégal Subsaharien. Environnement et Développement Rural, 1954-2015 ».

Le présent rapport rassemble la plupart des travaux produits par l'Équipe Écossén durant la troisième année de réalisation du Projet Écossén (Juillet 1996 à Juillet 1997). Il termine la première phase du Projet, dite CÉDÉS, c'est-à-dire « Crises de l'Environnement et Dynamiques des Espaces ruraux. Nord-Ouest Sénégal, 1954-1994 » (L.-A. Lake, A. T. Diaw, C. B. Bénié, 1994). Il prépare la seconde (qui devrait s'achever en juillet 1999), celle du TABOR (« Tableau de Bord pour le Sénégal subsaharien de 2015 »).

On propose donc ici les éléments essentiels de l'atlas et du modèle d'évolution des espaces ruraux, outils d'analyse spatiale et rétrospective qui doivent fonder la dimension prospective du TABOR (*ib.*, 1994).

Avant de présenter ces résultats il convient de rappeler la signification du Projet Écossén. Le résumé et la description sommaire qui en sont proposés plus avant prennent en compte les modifications mineures qui se sont imposées depuis le début des travaux eu égard à ce qui était prévu selon les termes du document de projet (*ib.* 1994). Les aspects techniques de cette actualisation sont explicités dans le Rapport à 2 ans (Équipe Écossén, 1996). On termine cette introduction en donnant la définition technique de la zone d'étude. Cette définition revêt en effet une certaine importance puisque la diversité des variables en jeu et des données utilisées entraîne une approche nécessairement différentielle de la zone d'étude.

A. Résumé du Projet Écossén

D'ici une à deux décennies l'aridification du Sahel risque d'imposer au Nord du Sénégal une situation caractéristique des régions désertiques. Il importe donc d'en amoindrir les effets en livrant aux décideurs les arguments d'un aménagement préventif des espaces concernés.

Pour cela on propose de réaliser un tableau de bord de diagnostic et de prévision des interactions environnement/développement dans le Nord du Sénégal. Ce Système de Gestion Prévisionnelle du Territoire s'appuie sur trois instruments : un atlas cinématique, un modèle de simulation et une cartographie prospective.

L'atlas présente la dynamique d'évolution des espaces ruraux de 1954 à nos jours. Il permet de fonder les arguments diachroniques grâce auxquels on construit le Modèle de reproduction/mutation des espaces. L'activation prospective de ce modèle doit générer les cartes de simulation de l'évolution des espaces à l'horizon 2015. Ce travail exploite les résultats de l'intégration des données satellitaires et statistiques dans un système d'information géographique (SIG).

L'objectif final est, à l'aide du tableau de bord que constituent l'atlas, le modèle et les prévisions, de proposer une stratégie territoriale d'adaptation au risque de désertification, notamment sous la forme d'un *plan de sauvegarde des oasis* qui devront subsister dans le Nord du Sénégal au-delà des années 2015.

Pour réaliser ce programme dans de bonnes conditions d'adéquation aux normes scientifiques et aux réalités sahéliennes, des chercheurs sénégalais se sont associés à des chercheurs canadiens du Centre d'Applications et de Recherche en Télédétention (CARTEL, Université de Sherbrooke) et ont initié un double réseau de concertation : l'un avec quelques observateurs sahéliens et l'autre avec de nombreuses structures étatiques et ONG du Sénégal. Financé depuis Juillet 1994 par le CRDI, ce programme de 5 ans en est actuellement (Juillet 1997) à la phase de production de l'Atlas et à la mise au point du système de modélisation.

Figure 1 a. Situation de la zone d'étude au Sahel occidental.

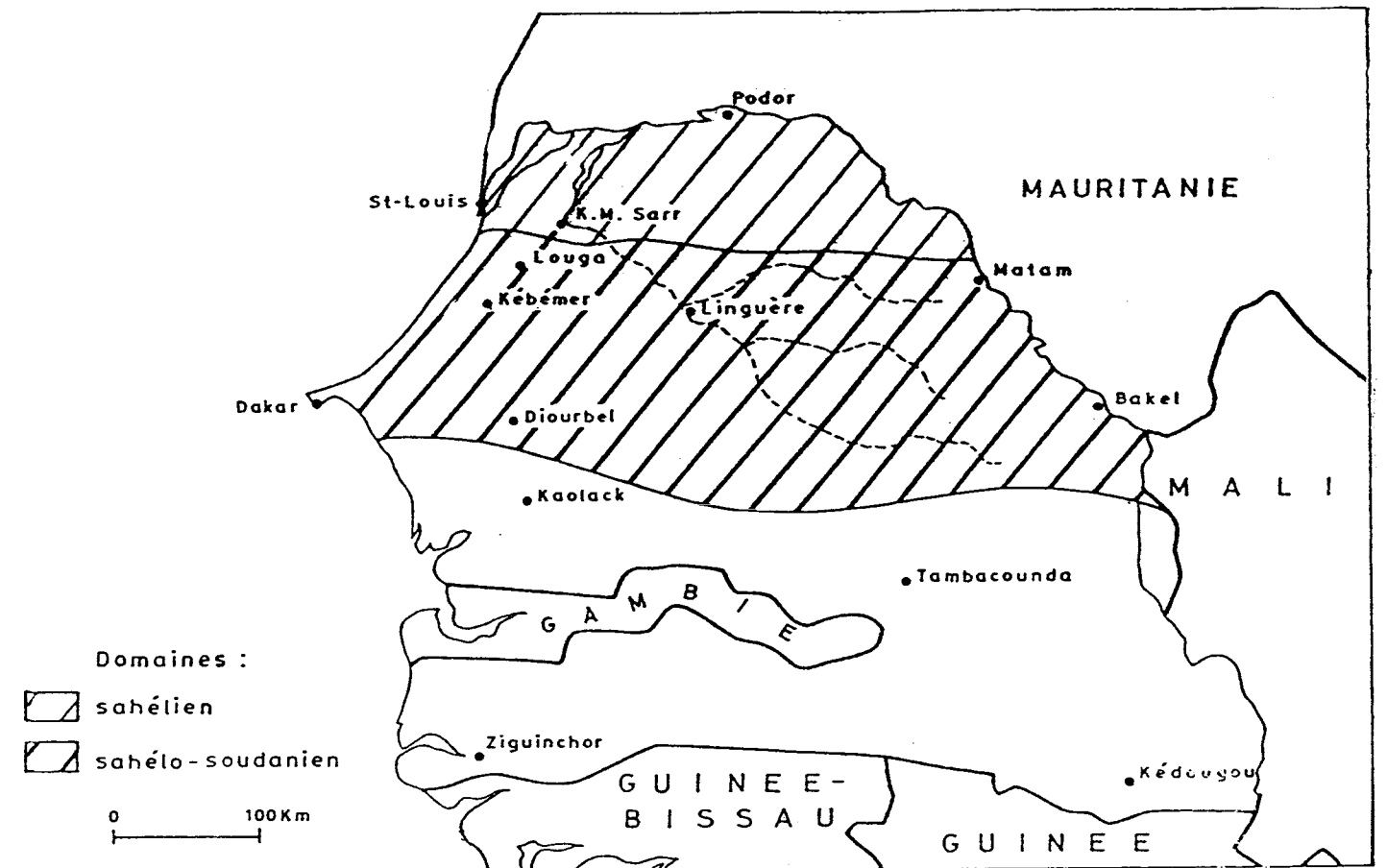
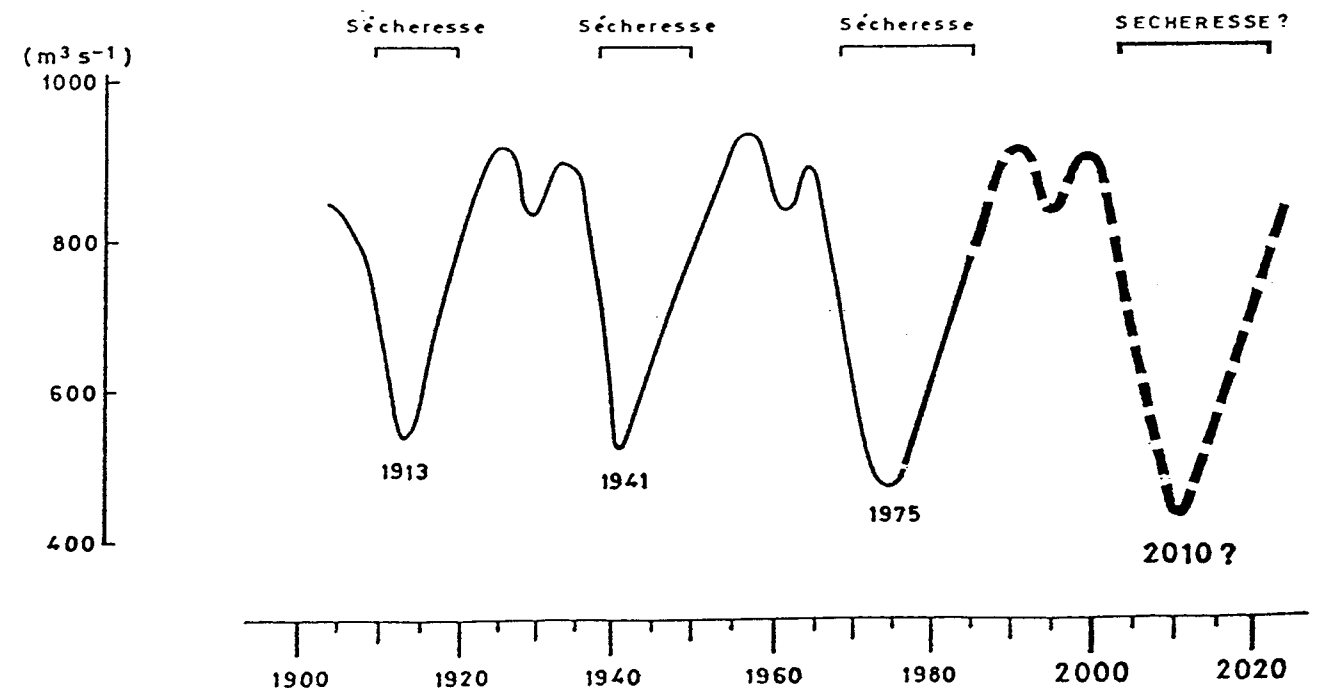


Figure 1 b. Récurrence de la sécheresse.

Débits moyens annuels du Sénégal à Bakel :

- d'après Faure et Gac 1981 (1903-1980 : moyenne glissante sur 7 ans)
- prédiction (Faure et Gac) réalisée
- prévision par extrapolation graphique (Lake)



B. Description du Projet Écossén

écographie (v.1972 ; de *écologie*,
et *graphie*). *Didact.* Étude de
l'évolution de l'environnement (...).
Le Petit Robert 1, éd. de 1990

1 PROBLÉMATIQUE : INTÉRÊT et PRINCIPAUX RÉSULTATS ATTENDUS.

1.1. Finalité.

Dans la perspective d'un Sahel Sénégalais confronté à la forte probabilité d'une sécheresse de grande ampleur, la finalité du projet ECOSSEN est de proposer à des acteurs du développement économique et social un Tableau de Bord (TABOR) du Sénégal au Nord de la Gambie (fig. 1a) dans la lignée des nouveaux dispositifs d'étude diagnostique et prévisionnelle des espaces subsahariens (Observatoire du Sahara et du Sahel, c. 1992).

Le TABOR désigne un outillage d'analyse et de simulation des inter-actions entre monde rural et environnement. Il met en évidence, à l'échelle du Sahel sénégalais, les règles qui régissent le fonctionnement des mécanismes d'interférence entre l'évolution des systèmes de production ruraux, les actions de développement et les conditions environnementales. Concrètement, ces mécanismes interférentiels correspondent aux dures réalités qui caractérisent les crises périodiques du monde rural : déficits hydriques, pénuries alimentaires, déflation éolienne des sédiments, désertification, émigration, conflits sociaux.

Le TABOR a donc pour vocation de proposer aux développeurs, dans le domaine stratégique de l'analyse spatiale, les arguments scientifiques et techniques d'une réforme des systèmes de productions ruraux comme des politiques environnementales et de développement afin de réduire la rigueur des processus interférentiels avant l'installation probable d'une grande sécheresse sahélienne *prévisible* pour la période 2005-2015 (fig. 1b).

1.2. Hypothèses.

Les fondements idéels et les finalités proposés ci-dessus s'appuient sur quatre hypothèses : le caractère insuffisant des connaissances sur les mécanismes interférentiels ; la fragilité du Nord Sénégal en tant que champ d'action du développement économique et social ; la nécessité de concevoir dès maintenant les moyens d'adaptation à la probable sécheresse 2005 - 2015 ; et l'urgence d'une réflexion endogène sur les problèmes du Sahel.

1.2.1. Connaissance des mécanismes interférentiels.

A l'heure actuelle, le poids considérable des connaissances spécialisées sur les différents espaces ruraux n'a d'égal que le retard enregistré en ce qui concerne les connaissances sur la configuration générale de ces espaces - connaissances dérivées de travaux d'inventaire. Les relations entre ces espaces (entre systèmes ruraux, entre zones de développement, entre projets) sont donc mal connues. Il en est de même, *a fortiori*, des mécanismes qui déterminent ces relations et des phénomènes d'interférence qui en résultent.

La prise en compte simultanée des dimensions inter-régionale, multi-temporelle et multi-thématique, dans une perspective spatiale, permet de mieux connaître ces mécanismes et fonde l'originalité du Projet ECOSSEN. En effet, les travaux sur le Nord du Sénégal, se caractérisent de la manière suivante :

- ils se réfèrent, pour la plupart, à un écosystème ou à une zone spécifique, par exemple la vallée du Fleuve Sénégal ou le Ferlo (DAT, NU, 1986) ;
- ils sont limités, soit thématiquement soit sectoriellement, à l'étude d'un nombre restreint de facteurs ;
- l'étude systématique des corrélations entre facteurs physiques et facteurs socio-économiques n'est pas envisagée spatialement et en détail dans la littérature mais nominalement et globalement (Plan et Coopération, 1989 ; M. C. Diop, 1992) ;
- enfin, la prise en compte du temps, sur une longue durée (1954 à 1997), est une tendance récente en analyse spatiale (G. Langran, 1993).

1.2.2. Fragilité d'un développement sans structuration régionale.

Aucune étude scientifique, ni aucune action spécifique ne semble coordonner et structurer l'ensemble des projets de développement implantés dans le Sahel sénégalais. Chaque société d'intervention et chaque ONG opèrent en se fondant quasiment sur les seules données de son contrat et de son champ d'action. Dans ces conditions comment atténuer les distorsions entre zone d'influence des projets, maîtriser l'exportation de leurs effets pervers, et surtout, comment envisager des mesures eu égard à des phénomènes ignorant la zone d'influence propre à chaque projet ? Comment, notamment, comprendre, prévoir et prévenir les effets du risque climatique, en compenser la portée selon le degré de dépendance des espaces vis-à-vis des formes naturelles de l'apport hydrique ?

1.2.3. Probabilité d'une grande sécheresse entre 2005 et 2015.

En 1981, dans un article de la célèbre revue *Nature*, H. Faure et J-Y. Gac prévoyaient, à l'échelle du bassin versant du fleuve Sénégal, le retour pour 1985 d'une crue et donc d'une pluviométrie plus satisfaisante (fig. 1b ; H. Faure et J-Y. Gac, 1981). L'extrapolation graphique de la courbe que proposent ces auteurs nous permet de situer dans la période 2005-2015 la probabilité d'installation d'une phase sèche comparable au moins à celle des années 1970 à 1980 (fig. 1b). S'il devait en être ainsi, l'actuelle zone sahélienne du Sénégal glisserait probablement jusqu'aux environs de la Gambie ; elle serait remplacée au Nord par une frange de type désertique (fig. 1a). On serait alors autorisé, pour la moitié septentrionale du pays, à parler du Sénégal *subsaharien* en tant que territoire soumis, pour au moins 10 ans, aux conditions générales des zones pré-désertiques. Le caractère volontaire du projet ECOSSEN se fonde sur la vraisemblance de ces prévisions.

1.2.4. Problèmes sahéliens : pour une réflexion endogène.

La probable grande sécheresse de 2005-2015 devrait toucher au moins tout ou partie du Sahel occidental, dont les pays voisins du Sénégal comme la Mauritanie, le Mali ou le Burkina Faso. Or chacun de ces pays capitalise une riche expérience dans la plupart des sphères d'investigation proposées ici. La réalisation d'ECOSSEN devrait donc bénéficier de cette expérience tout en proposant la sienne aux pays en question.

1.3. Fondements méthodologiques et techniques.

- **L'ouverture et la concertation.** Elles se pratiquent par les contacts qu'entretient l'équipe d'exécution du projet tant avec les personnalités scientifiques sollicitées qu'avec les représentants des institutions associées au Projet. Leur rôle est de soumettre la réalisation du projet, dans un contexte de créativité soutenue, à la rigueur des critères scientifiques et aux exigences des normes techniques.

- **Le recours aux technologies de pointe et aux méthodes de traitement de la complexité.** Les procédures d'exécution technique du projet se fondent sur l'utilisation systématique des méthodes modernes de l'analyse spatiale et du traitement de l'information. Les principales méthodes et techniques sont : * la *Télétection*, associée aux moyens classiques de collecte de données ; * les *Systèmes d'Information Géographique (SIG)* : instruments de détermination des combinaisons des facteurs d'évolution des espaces ruraux, ils constituent l'outil principal du projet ; * la *Modélisation et la simulation* : elles permettent d'obtenir une information sur les mécanismes d'interférences et de faire des projections ; * la *Cartographie* : la communication est sa fonction essentielle : transcrire l'ensemble des résultats du projet en images aisément lisibles par tout lecteur ; support visuel et d'intégration des procédures mises en oeuvre, elle fait voir une information fondamentalement complexe mais à laquelle la sémiologie de la graphique permet un accès simple et direct.

2. UTILISATEURS ET BÉNÉFICIAIRES.

Les principaux utilisateurs et bénéficiaires des résultats de ce programme, dont certains sont directement associés à l'exécution, sont : a) Les organismes gouvernementaux impliqués dans le développement rural (Aménagement du territoire, Agriculture, Élevage, Eaux et Forêt, etc.) ; b) les instances locales de développement et les services techniques décentralisés ; c) les organisations non gouvernementales, les sociétés d'intervention et les projets de développement concernés par la zone du projet ; d) les institutions de recherche et de formation ; et e) les partenaires sahéliens associés au projet.

3. RÉSULTATS ATTENDUS.

Le Tableau de Bord du Sénégal Subsaharien est constitué de trois principaux produits du Projet ECOSSEN : l'Atlas cinématique, le Modèle d'évolution de l'espace et la Cartographie prévisionnelle des risques à l'horizon 2005 (fig. 2).

3.1. L'Atlas cinématique.

Description. Résultat de l'étude rétrospective (CEDES), l'Atlas cinématique organise l'ensemble des cartes produites, notamment celles des formes de la dynamique des espaces ruraux. Il se présente sous une double forme classique et électronique (ouvrage et disquette). Le commentaire explicatif qui l'accompagne permet d'analyser les changements intervenus dans le territoire étudié entre 1954 et 1997. Cette analyse identifie les facteurs-clés, les corrélations ou la synergie des facteurs déterminant les crises du monde rural. L'Atlas comprend également la cartographie du Constat de Situation arrêté à 1997. **Utilisation.** Le Constat et l'Atlas servent d'outils de production du Modèle décrit plus bas. Ils constituent un document de référence en matière d'utilisation de l'espace rural pour les agents du développement.

3.2. Le Modèle d'évolution des espaces ruraux.

Description. La formalisation numérique et graphique des informations visualisées dans l'Atlas permet de construire un Modèle du processus de production des espaces ruraux. On en tire des remarques fondamentales sur les corrélations de

facteurs environnementaux et socio-économiques, sur la signification de la désertification et de la dynamique des paysages. **Utilisation.** Le Modèle génère une connaissance explicative des mécanismes d'évolution des espaces. Il fournit donc les hypothèses de l'étude prospective et représente le principal opérateur de simulation de l'évolution prévisionnelle des espaces ruraux.

3.3. La Cartographie prévisionnelle.

Description. Le Modèle et le Constat de situation arrêté à 1997 conduisent à la cartographie de simulation de l'évolution des espaces entre 1997 et 2015. On en tire une carte des Risques environnementaux et socio-économiques pour le Sénégal subsaharien durant la période d'installation de la grande sécheresse 2005-2015. Cette carte permet de proposer dès 1999 à l'Aménagement du Territoire les mesures que l'analyse spatiale peut établir pour que l'ordre régional dans le Sénégal subsaharien puisse atteindre vers 2010 un niveau d'adaptation optimal aux effets de la sécheresse. Dans cette perspective un Plan d'"oasisation" des établissements humains du Nord Sénégal est soumis à la critique des développeurs afin d'être intégré, sous forme de projets, à la loi-programme triennale d'investissement et d'actions publiques (ajustement annuel). **Utilisation.** Dans le cadre des séances de travail et séminaires consacrés au transfert des acquis du projet aux institutions bénéficiaires, la carte prévisionnelle ainsi que les autres produits constitutifs et dérivés du Tableau de Bord sont soumis, dans leur conception fonctionnelle et leur élaboration finale, aux normes d'utilisation recensées. Il appartient ensuite aux institutions en question d'utiliser effectivement ces résultats. Ces résultats sont susceptibles d'encourager des décisions majeures en matière de gestion des espaces ruraux.

4. MÉTHODOLOGIE.

4.1. Localisation du domaine d'étude.

Le domaine d'étude concerne le Nord-Ouest du Sénégal, qui correspond aux dimensions d'une fenêtre Landsat de 185 x 185 km, soit environ 10% de la superficie du pays (TECASEN, 1979). Ce territoire comprend cinq régions (L-A. Lake, 1989) : la zone fluvio-deltaïque, spécialisée en hydro-agriculture et agro-industrie, qui représente approximativement 10% de la zone d'étude ; la frange littorale où de nombreuses interdunes abritent de petites exploitations maraîchères (3% de la zone d'étude) ; le domaine septentrional de l'agriculture pluviale, vestige de l'ancien bassin arachidier (18%) ; le domaine pastoral, faiblement structuré autour de quelques forages et évanescents ailleurs (37%) ; et les espaces intermédiaires, continus ou transitions hésitantes et souvent conflictuelles entre des régions à personnalité plus affirmée (32%).

L'analyse de cette zone d'étude est précédée d'un test de consolidation des hypothèses. Ce test s'applique à un petit secteur appelé sous-zone-test. Il est choisi de manière à représenter sur un territoire réduit le maximum de paysages-types de la zone d'étude. La partie méridionale du lac de Guiers répond à cette exigence, particulièrement le périmètre Keur Momar Sarr/Nguer Malal.

4.2. Présentation générale.

L'instrumentation qui sous-tend l'ensemble des procédures de mise en place et de fonctionnement du Tableau de Bord est de nature cartographique. Il s'agit de systèmes d'information géographique (SIG), grâce auxquels *n* cartes de *n* variables considérées sont soumises aux opérations de l'analyse spatiale afin de produire les 3 outils fondamentaux du travail : l'analyse multivariate (1954-1997), le modèle de production des espaces et la cartographie prévisionnelle (1997-2015). Les principales étapes de cette méthodologie sont : la sélection des variables thématiques et la définition des indicateurs, l'acquisition des données, leur traitement et l'exploitation des SIG. Un SIG est un outillage informatisé d'analyse spatiale. Il permet de stocker, animer, superposer et traiter en mode multivarié des données géoréférencées. Le résultat est une information spatiotemporelle exprimée sous la forme de valeurs numériques et/ou de cartes (S. Aronoff, 1989 ; D.J. Maguire *et al.*, 1991).

4.3. Procédures.

4.3.1. Sélection des variables thématiques.

La sélection des variables obéit aux objectifs mais aussi aux contraintes de l'analyse spatiale. Celles-ci appellent des données discrétisables, exhaustives au plan spatial et significatives au plan temporel. Les principales variables souscrivant à ces conditions (directement ou après extrapolation ou généralisation) sont : agroclimatologie, hydrologie, hydraulique, anémométrie, sédimentologie, recouvrement végétal ; population, infrastructures, utilisation du sol, production ; aire d'influence des structures de développement. Au fur et à mesure de l'avancement des travaux les variables redondantes ou peu discriminantes seront éliminées.

4.3.2. Définition des indicateurs.

Lorsqu'une variable thématique se plie aux modalités d'utilisation d'un paramètre, elle permet d'obtenir directement un ou plusieurs zonages du domaine d'étude. Tel est par exemple le cas de la pluviométrie. Par contre la variable utilisation du sol doit être fondée sur la mise au point d'indicateurs indirects qu'on établit par exemple grâce à l'exploitation des signatures spectrales de divers objets, elles-mêmes fondées sur l'analyse des données satellitaires (F. Verger, 1982 ; F. Bonn et G. Rochon, 1992).

Figure 2 a. Schéma méthodologique du Projet Écossén.

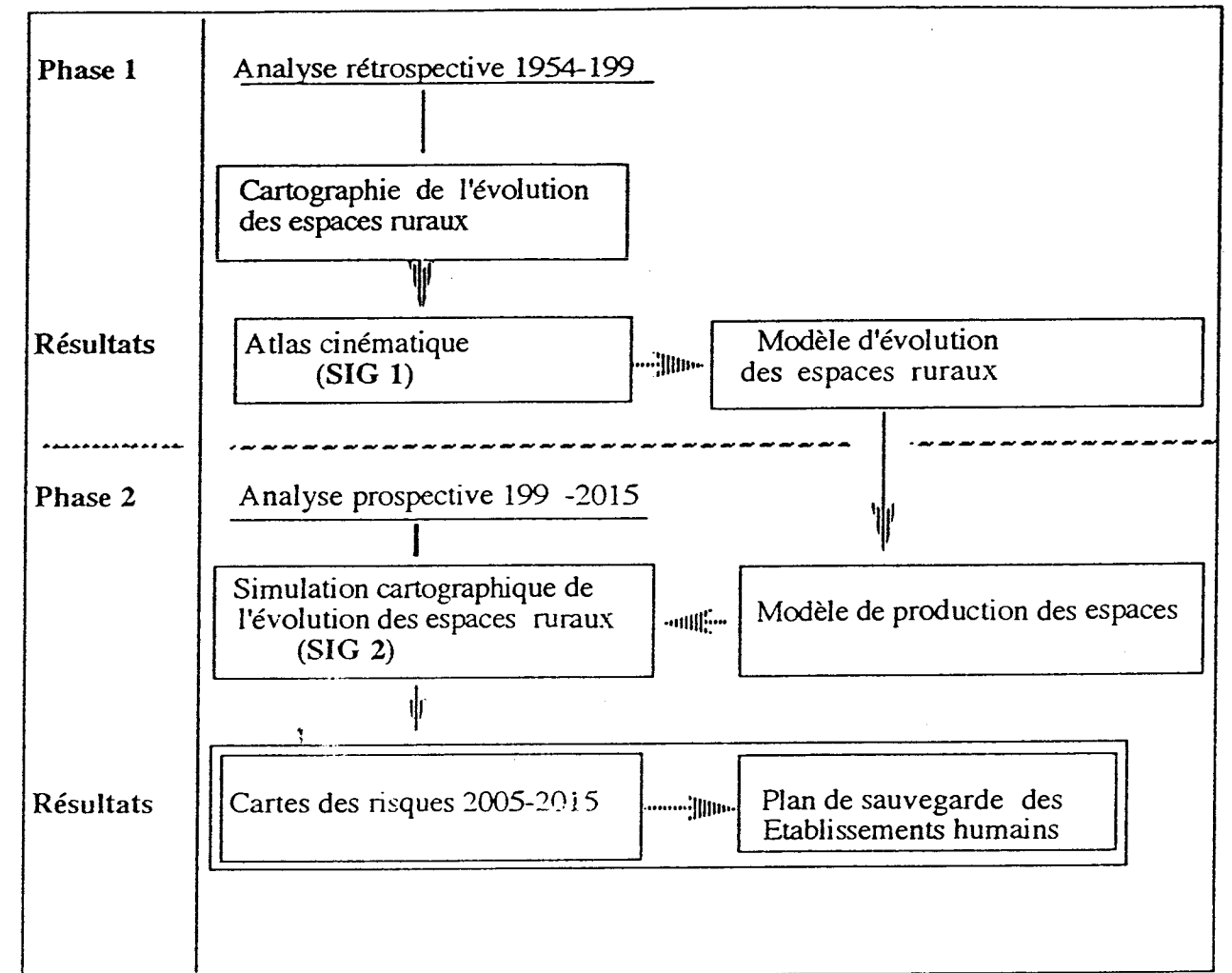
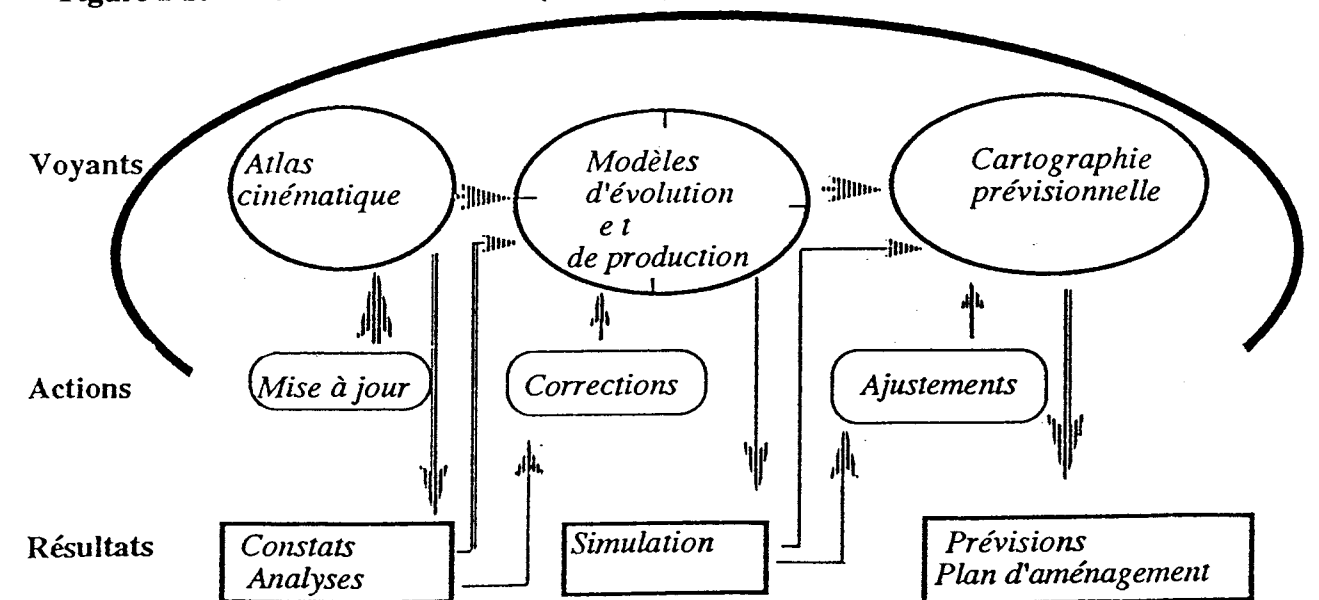


Figure 2 b. Le Tableau de Bord (TABOR)



4.3.3. Acquisitions des données.

- **Types de données.** Deux types de données géoréférencées sont utilisés : les données classiques et les données iconiques. Les données classiques sont constituées des statistiques à référence géographique (pluviométrie, population...), ainsi que des informations extraites des cartes topographiques et thématiques. Les données iconiques ont deux sources (F. Verger, 1982 ; A. Bâ *et al.*, 1989 ; A. T. Diaw *et al.*, 1989 ; L-A. Lake, 1989) : les missions de photos aériennes principalement celles de 1949-1954 (IGN), 1969 (IGN), 1981 (Teledyne Geotronic) et 1989 (SEN/JICA) ; - les enregistrements multispectraux des satellites à haute résolution, notamment ceux de LANDSAT MSS (depuis 1972), de LANDSAT TM (depuis 1982) et de SPOT (depuis 1986).

- **Années de références.** Dans le premier intervalle chronologique d'étude (1954-1997), les années et dates de référence à considérer, notamment pour la sélection des données iconiques, font l'objet d'un choix qui ne sera définitif qu'au terme du projet. En effet, ce choix nécessite, premièrement, une pré-analyse comparative de toutes les catégories de données visées, et, deuxièmement, l'expérimentation d'un grand nombre de dates différentes dans le cadre limité de la sous-zone-test. Au terme de ce travail un choix définitif de dates de référence est appliqué à toute la zone d'étude. En attendant il est possible de déterminer provisoirement les années de référence pour lesquelles il serait souhaitable de collecter les données. Ce choix tient compte des recoupements pertinents entre la date d'apparition des diverses catégories de données sur le marché, l'année des grandes enquêtes de population et la chronologie des récentes phases de la sécheresse sahélienne. Il s'agit des années suivantes : 1954, 69, 71, 73, 81, 89, 91, 94, 95 et 97 pour la sous-zone-test ; 1954, 71, 73, 89, 91 et 1997 pour le domaine d'étude.

4.3.4. Traitements et SIG.

Après la collecte des données, on établit la cartographie primaire ou les cartes primaires (CP) des variables sélectionnées. Pour cela le domaine étudié est successivement segmenté en fonction des classes de chaque indicateur ou variable et pour chaque date considérée afin d'aboutir à une collection de zonages taxonomiques. Ce travail se fait en appliquant des normes strictes tant pour la discrétisation des variables que pour la segmentation territoriale de manière à obtenir des zones comparables et de réduire ainsi les problèmes ultérieurs de congruence des éléments de la CP.

Les principales opérations de pré-traitement et de traitement nécessaires pour l'établissement de ces CP sont donc : - pour la sous-zone-test : les données classiques sont traitées par simple extraction et zonalisation de l'information ciblée ; les données analogiques le sont par calques d'interprétation transformés en zonages ; les données numériques satellitaires sont prétraitées et traitées automatiquement ; pour chaque scène on fait les corrections appropriées puis on génère l'image d'un indice de végétation ou d'une classification dont les résultats simplifiés donnent des zonages. L'ensemble des zonages ainsi établis puis harmonisés constitue la CP de la sous-zone-test ; - pour le domaine d'étude : les données satellitaires étant analogiques, les prétraitements et traitements sont manuels et aboutissent aux mêmes types de zonages qui constituent les CP de la zone d'étude.

Les CP sont géocodées, numérisées et saisies en mode matriciel (raster) pour alimenter la base de données de deux systèmes d'information géographique (SIG) : les CP de la sous-zone-test forment SIG 1 et celles du domaine d'étude, SIG 2.

4.3.5. Exploitation des SIG.

Les SIG permettent de réaliser 3 séries d'opérations majeures : celle de l'analyse multivariée, de l'analyse diachronique et de la synthèse. L'analyse multivariée : elle permet pour une date donnée de trouver les corrélations de facteurs environnementaux et socio-économiques par croisement successifs de CP deux à deux. Elle fournit les cartes de corrélations (CO). - L'analyse diachronique : elle croise les CP de dates différentes pour le même indicateur ou la même corrélation de facteurs. Elle met donc en évidence les changements, et fournit les cartes cinématiques (CI). La synthèse : l'étude des croisements entre CO et CI permet de voir les formes de la dynamique des espaces ruraux depuis 1954 et ainsi d'y comptabiliser le poids des corrélations entre facteurs environnementaux et socio-économiques. Elle livre les cartes de synthèse et la comptabilité globale des phénomènes mis en évidence.

En résumé l'exploitation des SIG correspond à deux niveaux de cartographie : la cartographie analytique (CP, CO, CI) et la cartographie de synthèse. Ces cartographies interviennent à tous les stades du travail, notamment : dans l'analyse rétrospective et le premier constat de situation ; dans la mise en évidence des mécanismes qui seront formalisés pour construire le Modèle de production des espaces ruraux ; dans le second constat de situation et dans l'étude prospective (TABOR).

4.3.6. Mise en oeuvre des procédures et formes d'implication d'acteurs du développement.

Les représentants des institutions sélectionnées et des partenaires du Projet Écossén sont associés à la définition des caractéristiques opératoires des résultats attendus, au suivi de l'exécution du projet et surtout à l'utilisation des acquis du projet. Pour cela, il est prévu des opérations d'ajustement, de normalisation et de transfert. - **L'ajustement** : des demandes d'amendement technique du document de projet et d'ajustement de l'exécution sont formulées par les représentants, discutées avec les chercheurs de l'équipe du projet puis intégrées au travail de réalisation. - **La normalisation** : les représentants et l'équipe d'exécution se concertent afin de réduire les divergences entre représentants ainsi qu'entre ceux-ci et les chercheurs. Ces opérations ont pour but d'établir des normes minimales admises par toutes les parties en matière d'ajustement et de transfert. - **Le transfert** : les représentants déterminent, en collaboration avec l'équipe de réalisation, les contraintes institutionnelles ou organisationnelles du transfert des acquis

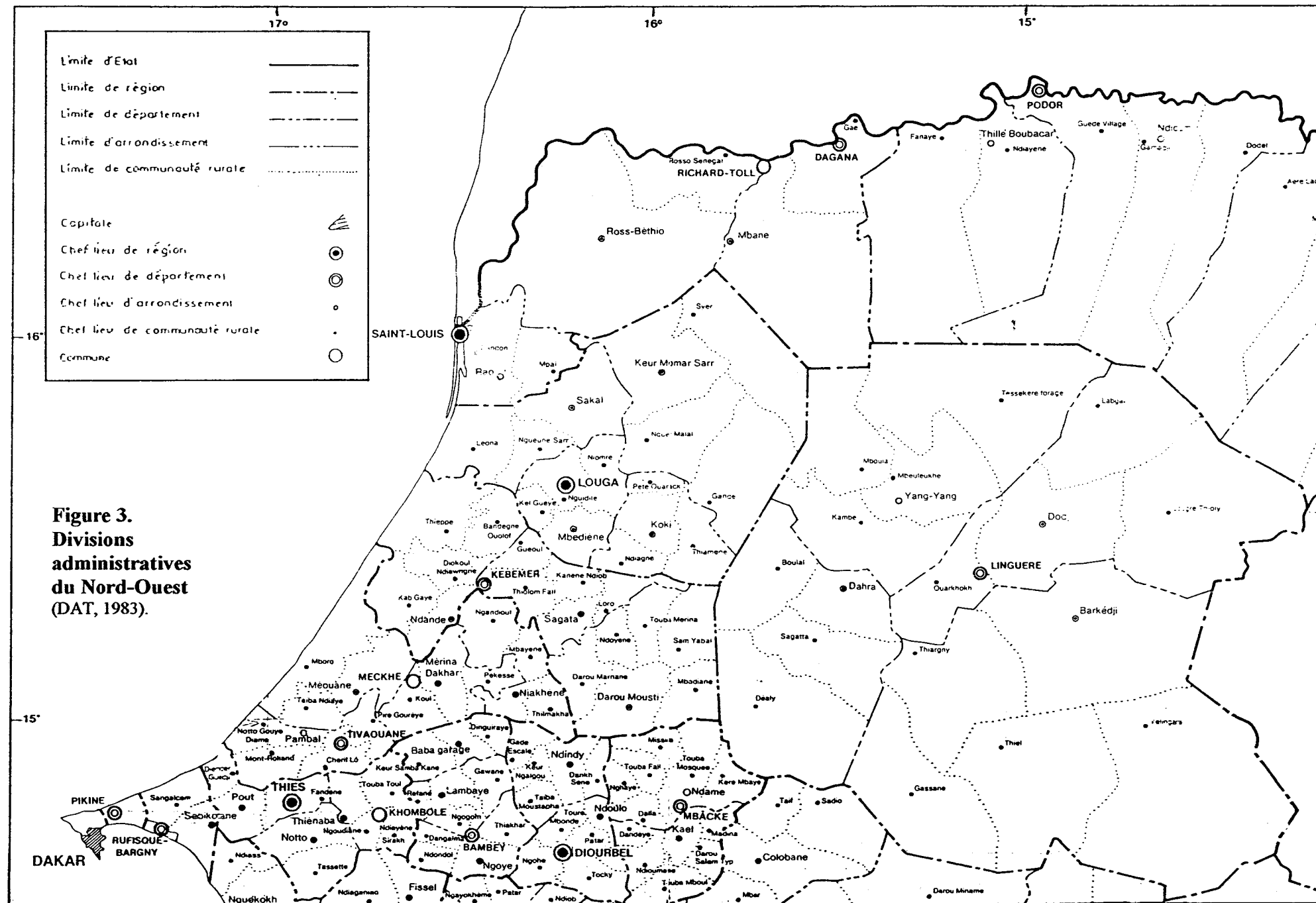
du projet dans le champ d'activité de leur organisme. Représentants et équipe mettent en oeuvre les moyens de lever ces contraintes. La participation des représentants s'effectue d'une part à l'occasion de séances de travail avec les chercheurs du projet, et d'autre part au cours de séminaires élargis à toutes les compétences sollicitées.

5. CALENDRIER D'EXÉCUTION.

	Phase I			Phase II	
	An 1 1994-95	An 2 1995-96	An 3 1996-97	An 4 1997-98	An 5 1998-99
Documentation.....	[Barre continue]				
Méthodologie.....	[Barre continue]			[Barre continue]	
Acquisition des données.....	[Barre continue]			[Barre continue]	
Enquêtes terrain.....		●		●	
Séminaires.....	●		●		●
Prétraitements, numérisation, saisies.....		[Barre continue]		[Barre continue]	
SIG 1.....			[Barre continue]		
SIG 2.....				[Barre continue]	
Atlas cinématique.....			●		
Modèle rétrospectif.....				●	
Modèle prospectif.....					●
Cartes des risques.....					●
Plan d'oasisation.....					●
Rapport et publications.....					●

6. REFERENCES.

- Aronoff S. (1989). *Geographic Information Systems : A Management Perspective*. Ottawa : WDL Publications.
- Bertin J. (1977). *La graphique et le traitement graphique de l'information*. Paris : Flammarion.
- Bonn F., G. Rochon (1992). *Précis de télédétection. Volume 1. Principes et méthodes*. Presse de l'Université du Québec/AUPELF.
- Bonn F., ss. la direct. de, (1996). *Précis de télédétection. Volume 2. Applications thématiques*. Presses de l'Université du Québec/AUPELF.
- Caloz R. (1990). *Système d'information géographique I et II Notes de cours*. École Polytech. Féd. de Lausanne
- Diaw A. T., Y-F. Thomas, M. D. Thiam (1989). Présentation des données du satellite SPOT. *Notes de Biogéographie*, 4, 141-194.
- Diop M. C., ss. la direct. de (1992). *Sénégal. Trajectoire d'un État*. Paris : Khartala.
- DAT, NU (Direct. de l'Amén. du Territ., Nations Unies ; 1986). *Esquisse du Plan National d'Aménagement du Territoire*. Rép. du Sénégal.
- ECOSSEN, Equipe. (1996). *Espaces ruraux du Nord-Ouest Sénégalais. Données et variables d'évolution, 1954-1996. Rapport technique à 2 ans*. IFAN ; CARTEL, Sherbrooke.
- Faure H., J-Y. Gac (1981). Will the sahelian drought end in 1985 ? *Nature*, 291, 475-478.
- Lake L-A. (1989). Typologie des espaces ruraux du Nord-Ouest sénégalais. *Notes de Biogéographie*, 4, 99-132.
- Lake L-A. et E. H. S. N. Touré, présentation par P. Couty (1985). *L'expansion du bassin arachidier. Sénégal, 1954-1979*. Paris : INSEE-Coopération, Réseau AMIRA.
- Langran G. (1993). *Time in Geographic Information Systems*. London ; Washington DC : Taylor & Francis
- Le Borgne J. (1990). La dégradation du climat en Afrique, entre Sahara et Equateur. In : J-F. Richard, *La Dégradation des Paysages en Afrique de l'Ouest*. Paris : Minist. de la Coop. et du Dévelop. ; Dakar Presses Universitaires.
- Maguire D. J., Goodchild M., Rhind D. W., Edited by, (1991). *Geographical Information Systems. Volume 1 : Principes. Volume 2 : Applications*. New York : Longman Scientific & technical/John Willey & sons.
- Observatoire du Sahara et du Sahel (c. 1992). *Inventaire des Dispositifs d'Observation*. Bureau des Nations Unies pour la Région soudano-sahélienne.
- Plan et Coopération, Minist. du, (1989). *Étude prospective Sénégal 2015*. Sénégal
- TECASSEN, Equipe, (1979). *Télédétection de quelques géosystèmes littoraux sénégalais. Rapport 1*. Univ. de Dakar.
- Verger F. (1982). *L'observation de la Terre par les satellites*. Paris : PUF.



C. Résultats de l'An 3 et perspectives

Les résultats des deux premières années d'activité du Projet Écossén sont exposés dans les divers rapports et publications présentés à la fin de cette introduction. Ces résultats se résument à la cartographie multicritère et multitemps proposée pour la sous-zone-test de Keur Momar Sarr d'une part par M.-J. Tousignant grâce au SIG du système PAMAP et, d'autre part, par M. D. Thiam *et al.* à l'aide de données multisources traitées en mode manuel (*in* Équipe Écossén, 1996). Ces travaux ont amplement servi à consolider, durant l'An 3, les procédures, les traitements et la production graphique proposés dans le présent atlas.

Les résultats de l'An 3 concernent essentiellement la cartographie primaire du domaine d'étude, l'analyse diachronique ainsi que le modèle d'évolution qui en découle, et, enfin, des travaux divers rassemblés dans la partie « bloc notes ».

La cartographie primaire des variables environnementales et socio-économiques. Elle est constituée de cartes et de diagrammes multitemps qui montrent l'évolution de la zone d'étude de l'origine des données à nos jours. Cette cartographie est fournie pour les thèmes initialement proposés dans le document de projet (L.-A. Lake *et al.*, 1994, p. 17), à l'exception de quelques questions comme l'agroclimatologie ou l'aménagement des vallées fossiles. Celles-ci devraient être étudiées durant l'An 4. L'Hydrologie du fleuve Sénégal, longuement étudiée par H. Dacosta dans le rapport précédent (Écossén, 1996), n'est pas reprise ici. Les variables retenues sont en générales réduites par sériation ou agrégation (points 1. et 2. du tableau I). Durant la seconde phase de réalisation du Projet ces variables devront être calibrées et normalisées afin qu'elles puissent constituer un ensemble cohérent et significatif eu égard au développement économique et social des populations rurales de la zone d'étude (points 4. à 5. du tableau I). Dans cette perspective l'ordre de présentation des thèmes du présent atlas n'a pas de signification particulière quoiqu'il semble normal de commencer par les variables physiques.

L'analyse diachronique. Elle concerne, chaque fois qu'elle est possible, la variable elle-même mais aussi l'espace. C'est ainsi que, dans plusieurs cas, la lecture numérique et graphique des cartes d'évolution a permis de dresser un tableau d'analyse diachronique. Celui-ci est établi avec les intervalles chronologiques (en X) et des valeurs relatives à l'extension de chères (en Y). Cette étape de transformation ordinale numérique ou/et graphique des cartes d'évolution en données de la cinématique et de la dynamique des espaces constitue le **modèle** empirique qui sera généralisé à l'ensemble des données collectées pour produire le TABOR (points 6. à 13. du tableau I). Ce modèle est décrit en détail plus loin par L.-A. Lake et M. D. Thiam.

Le bloc-notes. Il rassemble des travaux divers, dont, notamment, des analyses bibliographiques critiques sur la modélisation et les systèmes dans les questions environnementales. Ces réflexions ont nourri l'élaboration du modèle.

D. Définition technique de la zone d'étude

Le projet Écossén concerne le nord-ouest du Sénégal tant pour la phase CÉDÉS que pour le TABOR, comme le recommande l'expérience accumulée jusqu'ici contrairement aux prévisions initiales (Équipe Écossén, 1996, p. 19, point 2.6.3. ; et p. 21, R 09). Le nord-ouest du Sénégal est présenté en figure 4.

Cette définition générale de la zone d'étude ne suffit toutefois pas. En effet la diversité des sources de données utilisées entraîne une triple définition technique de la zone d'étude :

- la définition socio-économique fondée sur le découpage administratif de la zone d'étude (fig. 3 et 4);
- la définition de l'espace biophysique (fig. 5 et 6) ;
- et, dans la perspective de l'An 5 du Projet, la définition d'une zone d'intégration de l'ensemble des données, intersection des deux précédents ensembles.

La zone socio-économique (fig. 4) est définie par la région de Louga et une partie de celle de Saint-Louis. Le tracé des unités administratives de cet espace est tiré de la plus récente carte administrative du Sénégal (DAT, 1996). Les 59 communautés rurales en ont été numérotées par B. Sène Diouf et E.H. S. N. Touré en commençant par l'extrême nord et en suivant l'ordre géographique des arrondissements de l'ouest vers l'est et du nord vers le sud (fig. 4).

Les données tirées de l'imagerie satellitaire définissent un espace bio-physique continu, compact, mais plus restreint comme le montre, par exemple, la scène Landsat reproduite en figure 5. La position modale des fenêtres de cette imagerie est indiquée en figure 6. La fenêtre de l'imagerie Spot utilisée est donnée ici à titre indicatif car elle ne relève pas de l'ensemble des données à intégrer *in fine* mais des moyens de vérification de la photo-interprétation d'autres images.

A ces deux grandes définitions techniques de la zone d'étude, il faut ajouter quelques autres définitions particulières, liées à la nature spécifiquement zonale et macro-géographique des variables. Il s'agit principalement du thème de la pluviométrie qui implique un réseau de stations d'observations disséminés sur l'ensemble du nord Sénégal.

Cette inévitable définition plurielle de la zone d'étude doit être compensée par la détermination d'une zone d'intégration cohérente et unique. On se fondera sur celle-ci pour structurer la base de données de production des cartes de synthèse et du TABOR. Cette zone d'intégration, présentée en figure 7, résulte de l'intersection des ensembles précédents, avec la communauté rurale comme unité élémentaire d'affectation et d'agrégation des résultats finaux.

E. Références bibliographiques

La liste ci-après présente dans l'ordre chronologique les références des principaux documents et travaux produits dans la phase préparatoire du Projet Écossén et dans le cadre des deux premières années de sa réalisation. Le présent rapport constitue la suite logique de ces travaux.

Lake L.-A., Diaw A. T., Béné G. B., 1994. Projet Écossén. Écographie du Sénégal Subsaharien. Environnement et Développement Rural, 1954-2015. Dakar, IFAN, 37 p.

Lake L.-A., 1995. L'An I du Projet Écossén. Rapport technique et financier. Dakar, IFAN, 30 p.

Écossén (Burkina Faso, Mali, Mauritanie, Sénégal et Équipe Écossén), 1995. Séminaire I. Dakar, CRDI, 16 et 17 Mai 1995, 69 p.

Lake L.-A., Diouf P. S., Diaw A. T., Thiam M. D., Touré E.S.N., Béné G. B., 1995. « Projet Écossén et problématique de la désertification dans le nord Sénégal ». in *Travaux d'Africagis'95, Travaux, Documents*, Abidjan, 6-10 Mars 1995. Geneva, UNITAR/95/11, p. 671-679.

Écossén (Equipe), 1996. Espaces ruraux du nord-ouest sénégalais. Données et variables d'évolution, 1954-1996. Rapport technique à 2 ans. IFAN ; CARTEL, 244 p.

Écossén (Equipe), 1996. An 2 du Projet Écossén. Rapport d'activité et rapport financier. IFAN ; CARTEL, 49 p.

Béné G. B., Kaboré S., Yergeau M., Tousignant M.-J., 1996. Rapport n° 2. CRDI, ÉCOSSÉN, CARTEL, 50 p. + ann.

Figure 4.
Numérotation des communautés rurales
de la zone d'étude socio-économique.

Source (limites administratives) : DAT, 1996.
 Fond de carte : P. J. Diouf sur système PAMAP.
 Numérotation : Binta Sène Diouf et EH. Seydou N. Touré.

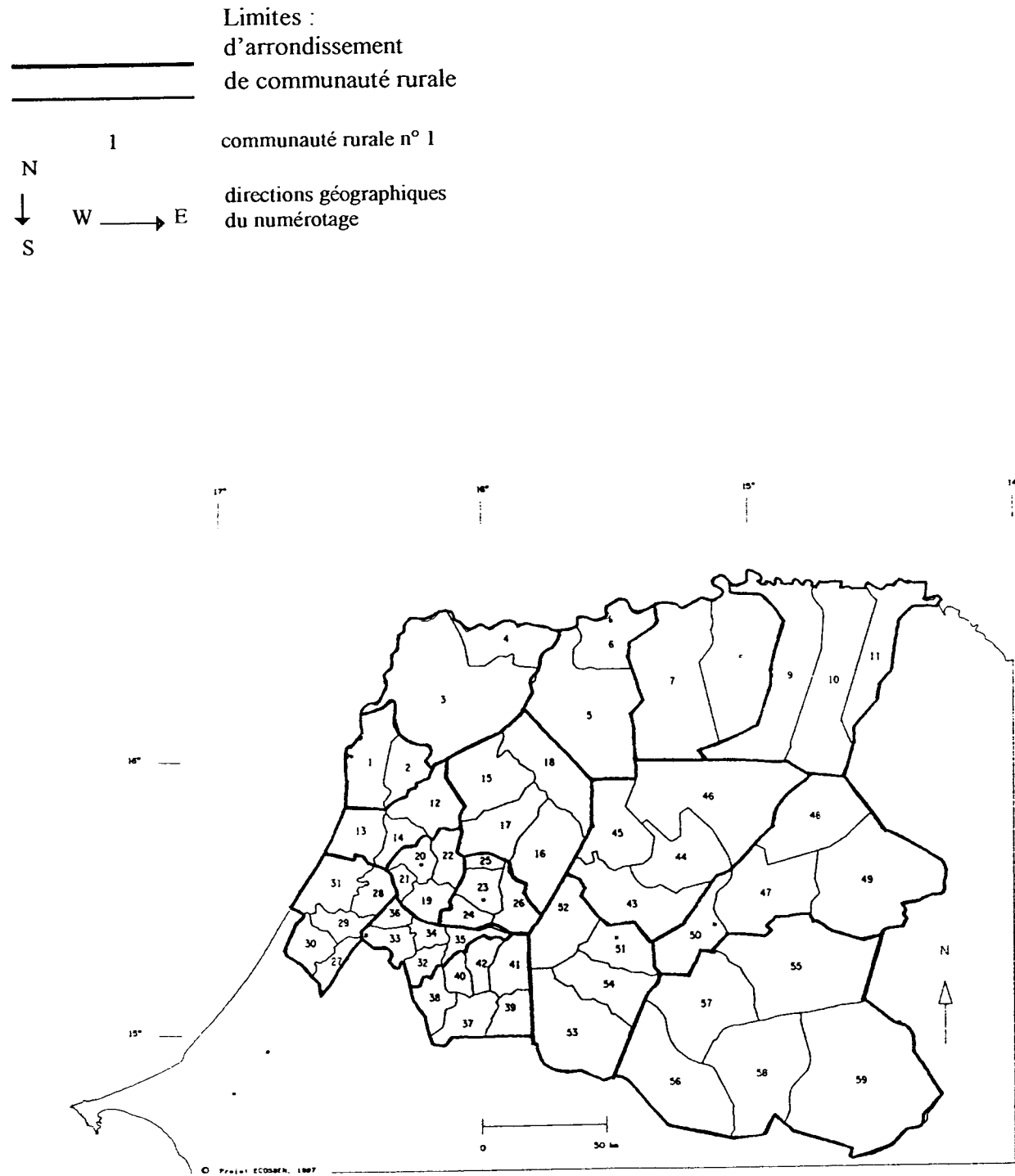


Figure 5.
Exemple de données satellitaires analogiques :
 image Landsat MSS 1 du 06 Février 1985 (fenêtre 205/049).

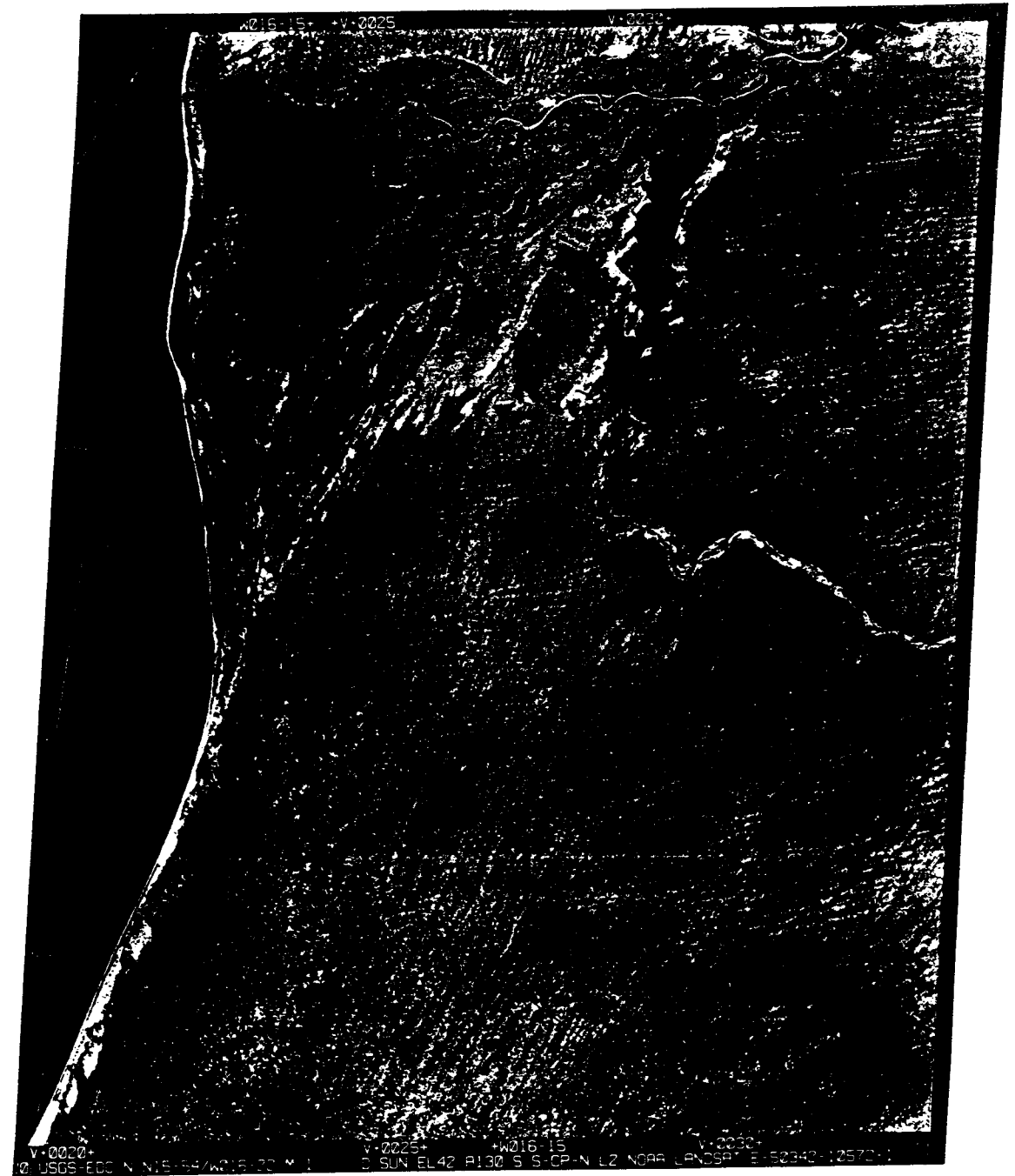


Tableau I. Traitements et modèles graphiques du Projet ÉCOSSÉN.

V : Variable (pluviométrique, physiographique, démographique,...).
 e : espace (polygone, chore ou unité spatiale élémentaire) d'une V à une date donnée.
 d1 : date n° 1.
 A : intervalle 1954-1997.
 B : intervalle 1997-2015.
 CR : communautés rurales.

Entrées	Transformations	Résultats												
<p>1. Données thématiques géoréférencées avec <i>n</i> variables V pour l'intervalle A et pour le nord-ouest du Sénégal</p>	<p>2. Définition technique de chaque V</p> <p>2.1. Réduction de chaque variable V par segmentation, sériation ou agrégation = zones, classes, types</p> <p>2.2. Formalisation et interprétation</p>													
<p>4. Problématique et postulat(s) sur le développement économique et social du Sahel Sénégalais</p>	<p>3. Calibration indiciaire et scalaire entre toutes les variables V</p> <p>5. Normalisation sémantique entre toutes les variables V</p>													
	<p>6. Analyse diachronique V par V pour l'intervalle A</p> <p>6.1. Cartographie multodate des espaces</p> <p>6.2. Tableau d'analyse et fichier-image diachroniques</p> <p>6.3. Cartographie et typologie des espaces.</p>	<p>Cartes d'évolution</p> <p>Tableau diachronique</p> <table border="1"> <tr> <td>V1</td> <td>d1/d2</td> <td>d2/d3</td> </tr> <tr> <td>e1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>e2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>e3</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>Cartes cinématiques et de la dynamique</p>	V1	d1/d2	d2/d3	e1			e2			e3		
V1	d1/d2	d2/d3												
e1														
e2														
e3														

Entrées	Transformations	Résultats
<p>7.2. Hypothèse sur la récurrence de V pour B ?</p> <p>7.3. Hypothèse(s) probabiliste(s) socio-économique(s)</p>	<p>7. Projection V par V pour l'intervalle B (Extension assistée des tabl. 6.3.)</p> <p>7.1. Tableau de simulation prospective de la dynamique des espaces</p> <p>- avec opérateur(s) endogène(s)</p> <p>- plus opérateur(s) exogène(s)</p>	<p>Mêmes types de résultats qu'au point précédent 6, mais pour l'intervalle B</p>
<p>8. Hypothèse sur la pertinence socio-économique et spatiale des communautés rurales CR</p>	<p>9. Intégrations des variables V dans le cadre des communautés rurales CR</p>	<p>Superposition cartes des V et carte des CR</p> <p>Cartes des V intégrées aux CR</p>
	<p>10. Dynamique multivariée des CR pour A et B</p> <p>10.1. Normalisation sémantique du champ des V</p> <p>10.2. Fichier-image des dynamiques</p> <p>10.3. Typologie ou tendance dominante de la dynamique d'évolution des CR</p>	<p>Cartes des CR</p> <p>Dynamiques pour A</p> <p>Dynamiques pour B</p>
<p>11. Postulats sur le risque et sa prévention</p>	<p>12. Typologie des risques par variable V et par facteur de V</p>	<p>Cartes des risques à l'horizon 2015</p> <p>Cartes d'aménagement préventif</p>
	<p>13. Interprétation et conclusion</p>	<p>Ensemble des cartes avec texte d'accompagnement</p>

Figure 6. Localisation approximative des fenêtres de l'imagerie satellitaire utilisée.

- Limites des fenêtres :
- Landsat MSS (220 ou 205/049)
 - ==== Landsat TM
 - ==== Spot (noeud J 319-K22)
- Limites des communautés rurales de la zone d'étude socio-économique (DAT, 1996)
- ville
 - == route

Fond de carte : P.J. Diouf sur système PAMAP

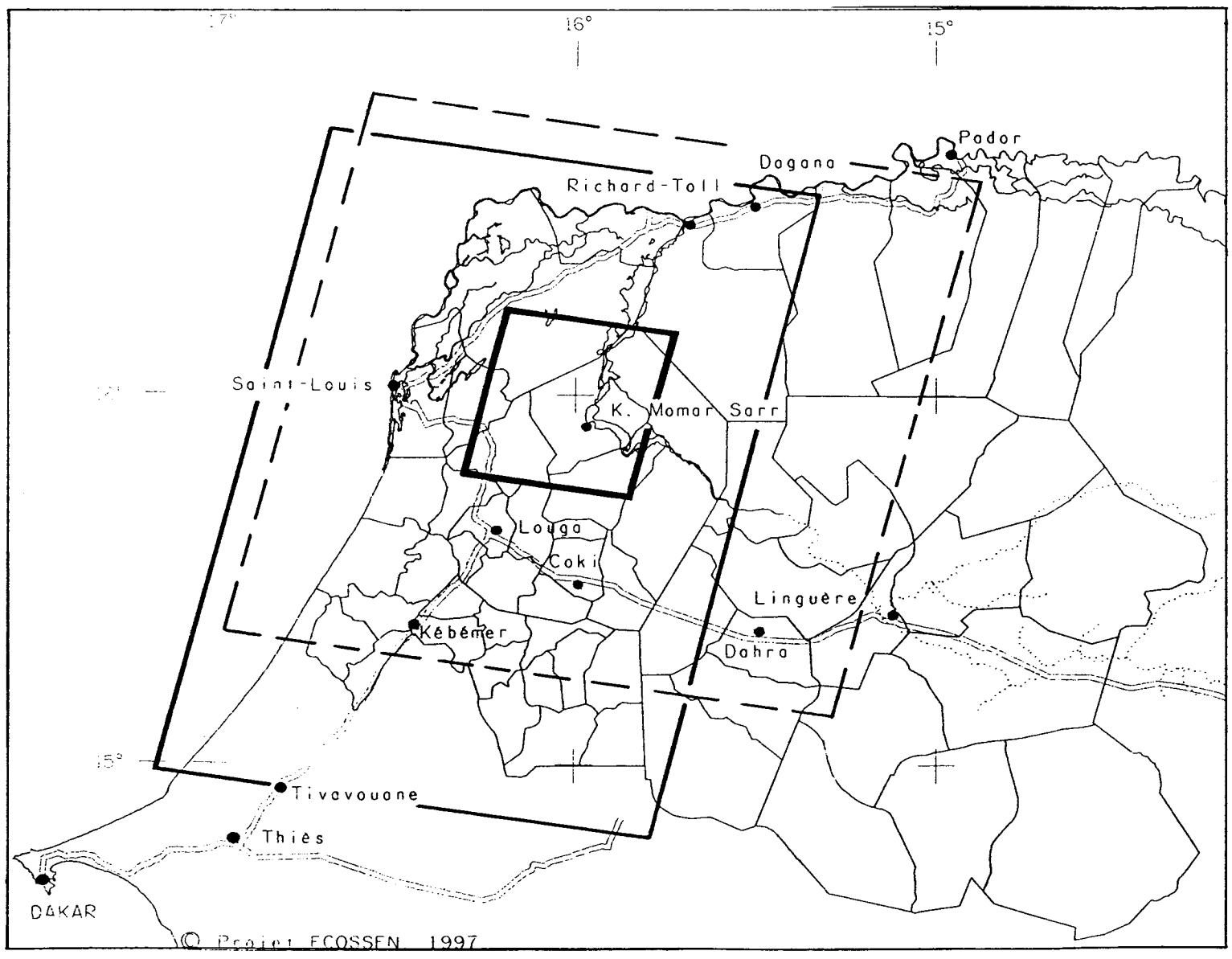
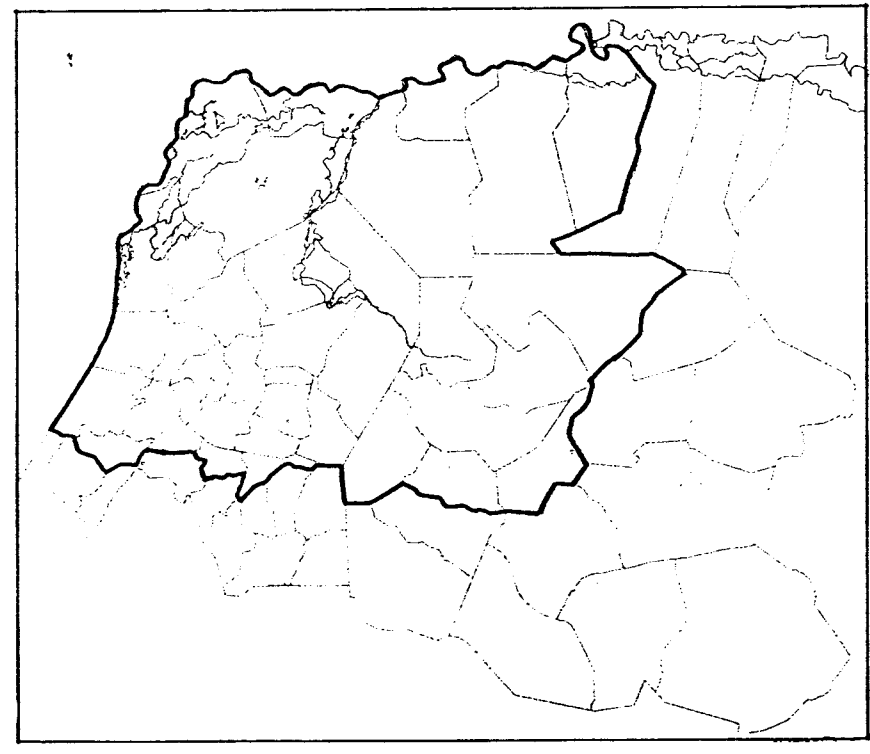


Figure 7. Cadre d'intégration des données CEDES et TABOR.

- ==== Limite de la zone d'intégration
- Limite de communauté rurale



Evolution des espaces ruraux

Evolution de la pluviométrie (1921-1995)

par

Pascal Sagna

1. Les données.

Cette étude intègre et élargit celle que nous avons proposée dans le dernier rapport du Projet Écossén (P. Sagna, 1996). En effet :

- 12 stations sont analysées (au lieu de 8), pour mieux caractériser l'évolution de l'espace pluviométrique du Sahel sénégalais, (fig. 1) ;
- la limite rétrospective des années 50, pour certaines stations, a été repoussée jusqu'à 1921, et les inévitables données lacunaires ont donc été complétées par extrapolation (une donnée manquante est estimée et générée grâce à un algorithme de prise en compte des données existantes voisines) ;
- en plus de la cartographie normative (fig. 2 et 3), et de celle des écarts (fig. 4 et 5), on a dressé le tableau synoptique de l'ensemble des données (fig. 6 et 7).

Le lecteur retrouvera dans l'étude précitée les conditions de production de ces résultats.

2. La variabilité pluviométrique.

Les figures 2 à 4 permettent de mesurer l'ampleur de la variabilité pluviométrique au cours du siècle. Par exemple les écarts entre l'année la plus sèche (1983) et la plus humide (1950) varient de -40 à -80% de l'Est à l'Ouest du Sahel sénégalais (fig. 4, image 1) .

3. La migration des isohyètes.

La figure 5 illustre bien la migration méridionale des isohyètes au cours de ce siècle. L'isohyète 300 mm se trouve en Mauritanie si l'on considère la normale 1931/1960, mais descend jusqu'au centre du Sahel sénégalais durant la normale 1961/1990. L'isohyète 400 mm migre ainsi de la latitude de Louga à celle de Mékhé, soit sur près de 70 km en moyenne (fig. 5).

4. La récurrence de la sécheresse.

Le tableau synoptique des figures 6 et 7 offre une vue d'ensemble de l'évolution de la pluviométrie dans le nord du Sénégal depuis 1921.

Par rapport à la moyenne 1921-1995, il apparaît 4 périodes (fig. 6) :

- une période pluvieuse de 1921 à 1940 ;
- une courte période sèche de deux années (1941 et 1942) ;
- une période pluvieuse de 1943 à 1969 ;
- une période sèche depuis 1970.

De manière beaucoup plus nuancée, et sur la base d'une sériation par quintiles, on observe le schéma suivant (fig. 7) :

- 1921/1926 (6 ans) : période moyennement pluvieuse
- 1927/1929 (3 ans) : très pluvieuse
- 1930/1940 (11 ans) : moyennement pluvieuse
- 1941 et 1942 (2 ans) : sèche
- 1943/1949 (7 ans) : moyennement pluvieuse
- 1950/1958 (9 ans) : très pluvieuse
- 1959/1969 (11 ans) : moyennement pluvieuse
- 1970/1973 (4 ans) : sèche
- 1974/1981 (8 ans) : peu pluvieuse
- 1982/1986 (5 ans) : sèche
- 1987/1989 (3 ans) : moyennement pluvieuse
- 1990/1992 (3 ans) : sèche
- 1993/1995 (3 ans) : peu à moyennement pluvieuse

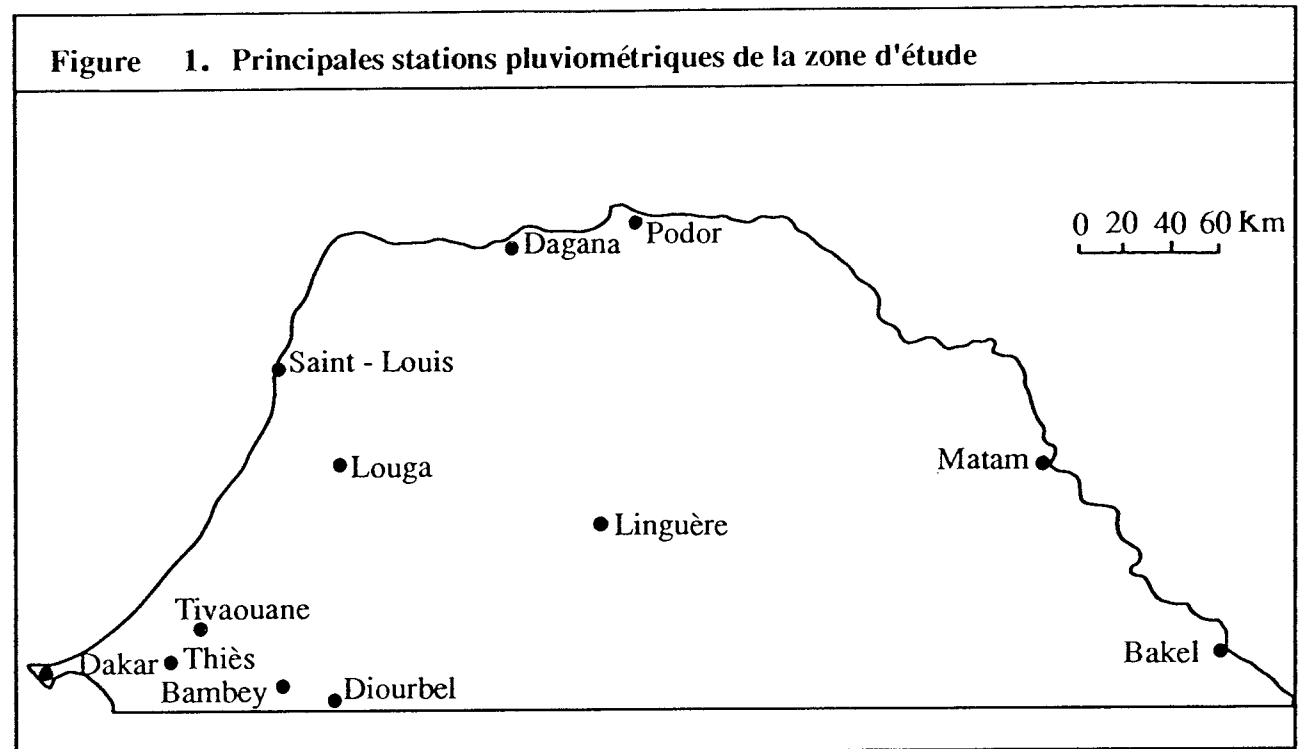
En simplifiant cette périodisation on obtient la même que celle esquissée à partir de la figure 6, avec seulement une nuance à partir de 1970 :

- 1970/1986 (17 ans) : sèche à peu pluvieuse :
- 1987/1995 (9 ans) : sèche à moyennement pluvieuse.

Somme toute, la variabilité de la pluviométrie, l'indéniable augmentation des déficits depuis le début du siècle et le caractère aléatoire de la récurrence des phases sèches constituent les manifestations les plus évidentes du climat et de la péjoration du climat des domaines sahélien et sahalo-soudanien de la zone d'étude. La prise en compte globale de ces manifestations dans une perspective de modélisation d'une part et de simulation prospective d'autre part représente un défi méthodologique difficile que l'Equipe Écossén doit relever dans les prochains mois.

Référence.

Sagna P. (1996). « Situation pluviométrique au Sahel sénégalais ». in Rapport technique à 2 ans, Projet Écossén, p. 110-121.



Photographie (hors-texte) n° 1.
Village de Ndiayène, près de
Thillé Boubacar. A l'arrière-plan :
champ de dunes vives.
Au premier plan : un *Balanites*
aegyptiaca déchaussé.

Cliché P. J. Diouf



Figure 2. Pluviométrie du Sahel sénégalais selon trois années

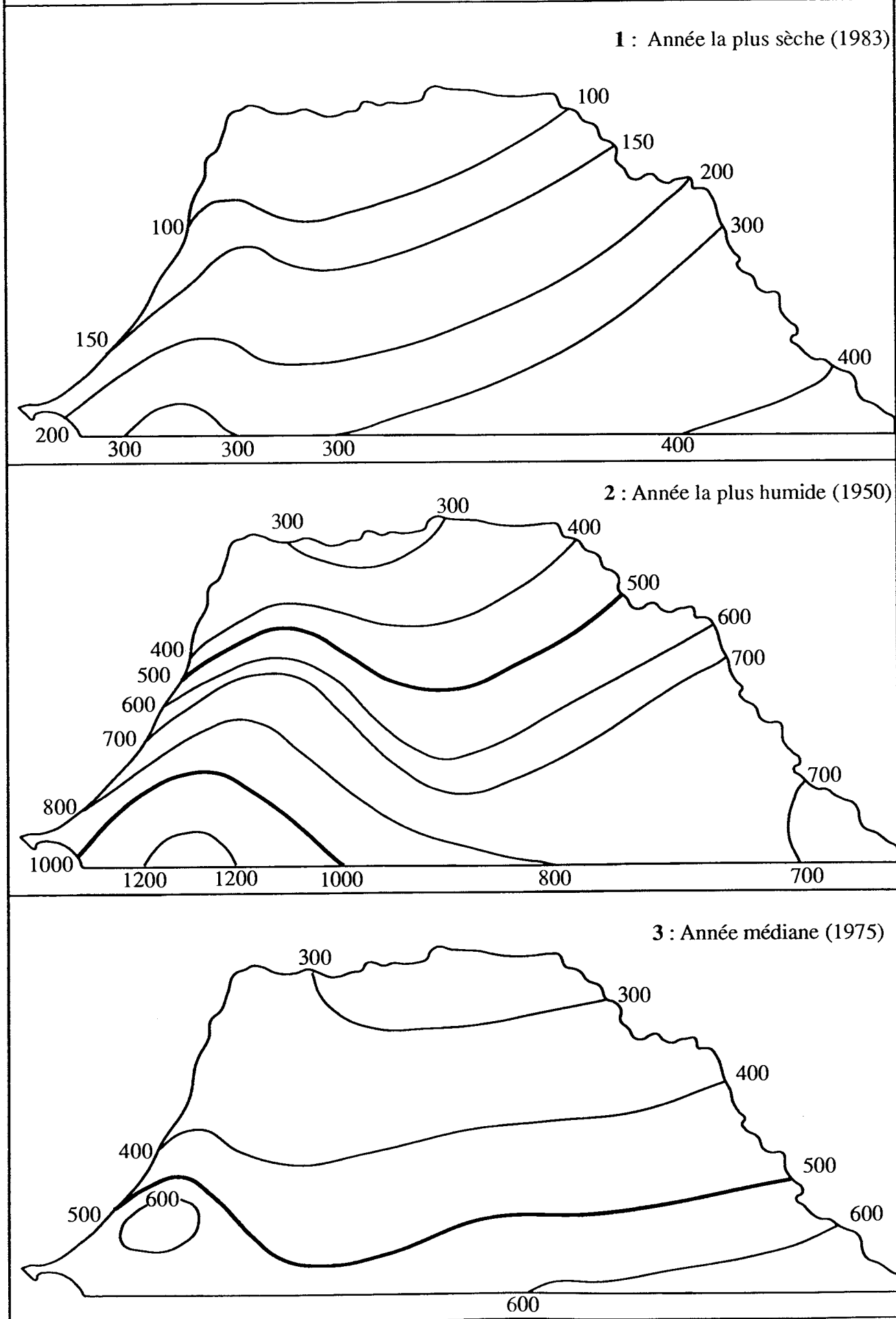


Figure 3. Pluviométrie minimale, maximale et moyenne de 1921 à 1995

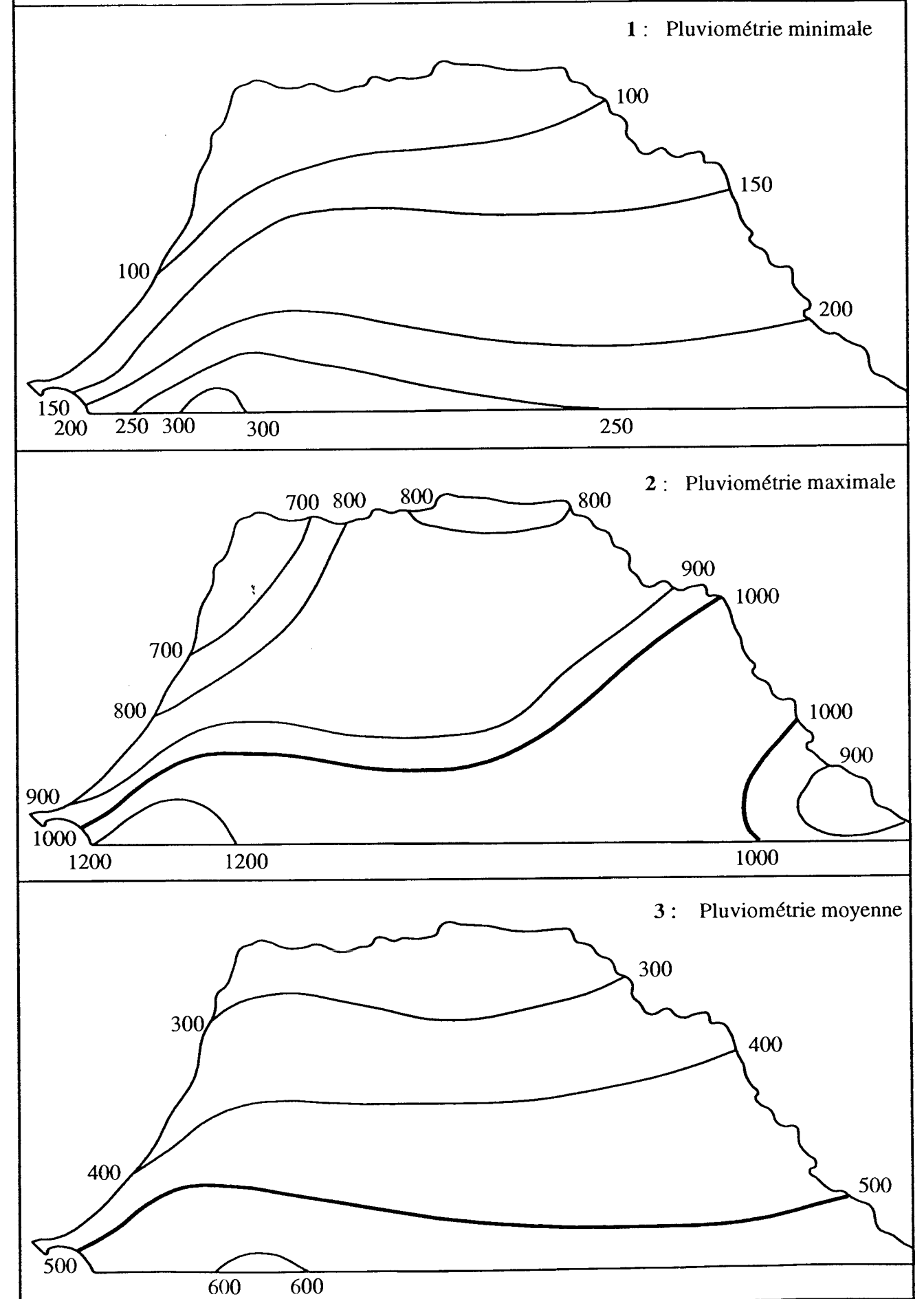


Figure 4. Ecartis pluviométriques en pourcentage

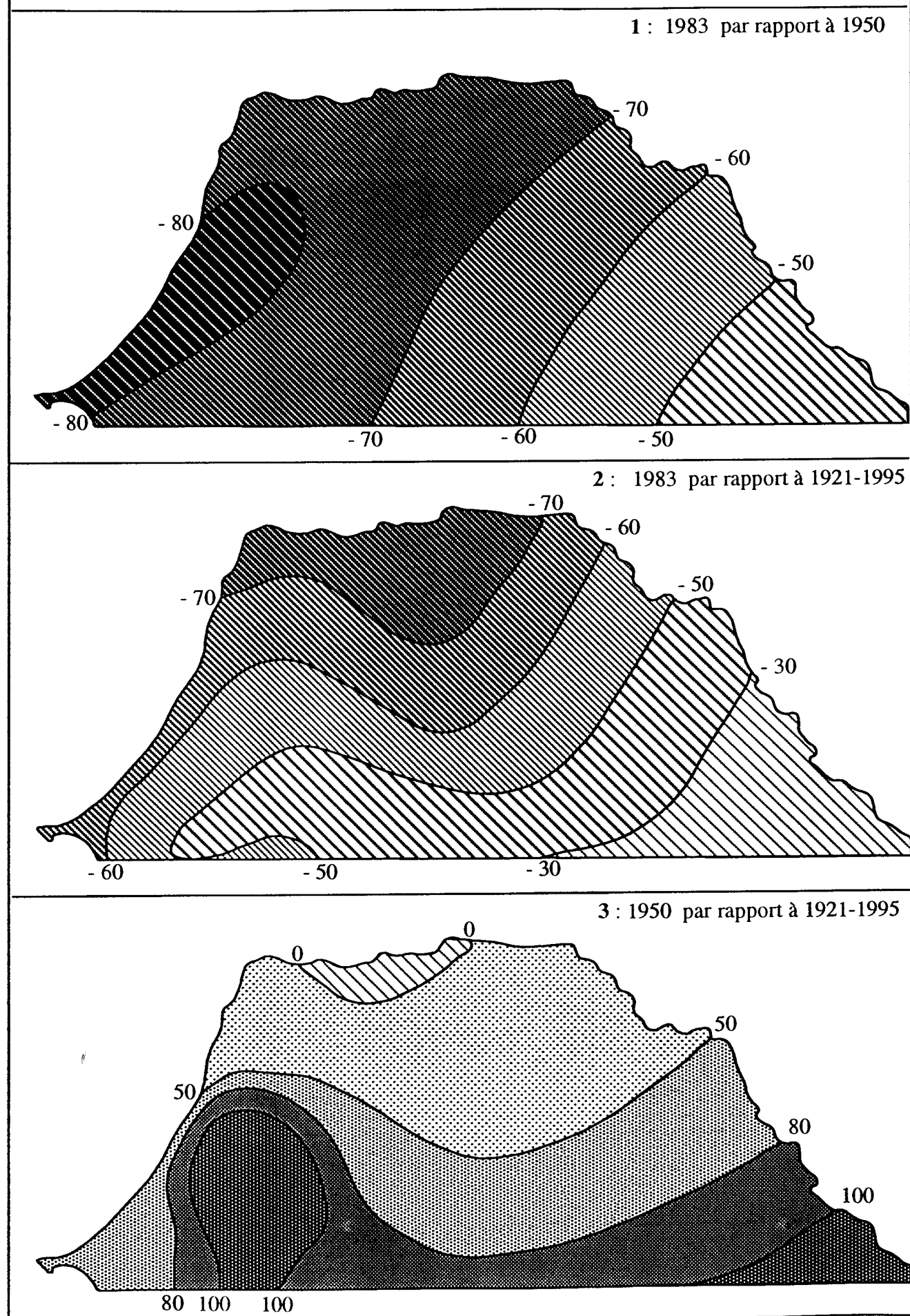


Figure 5. Isohyètes par rapport aux normales 1931/60 (1) 1951/80 (2) 1961/90 (3)

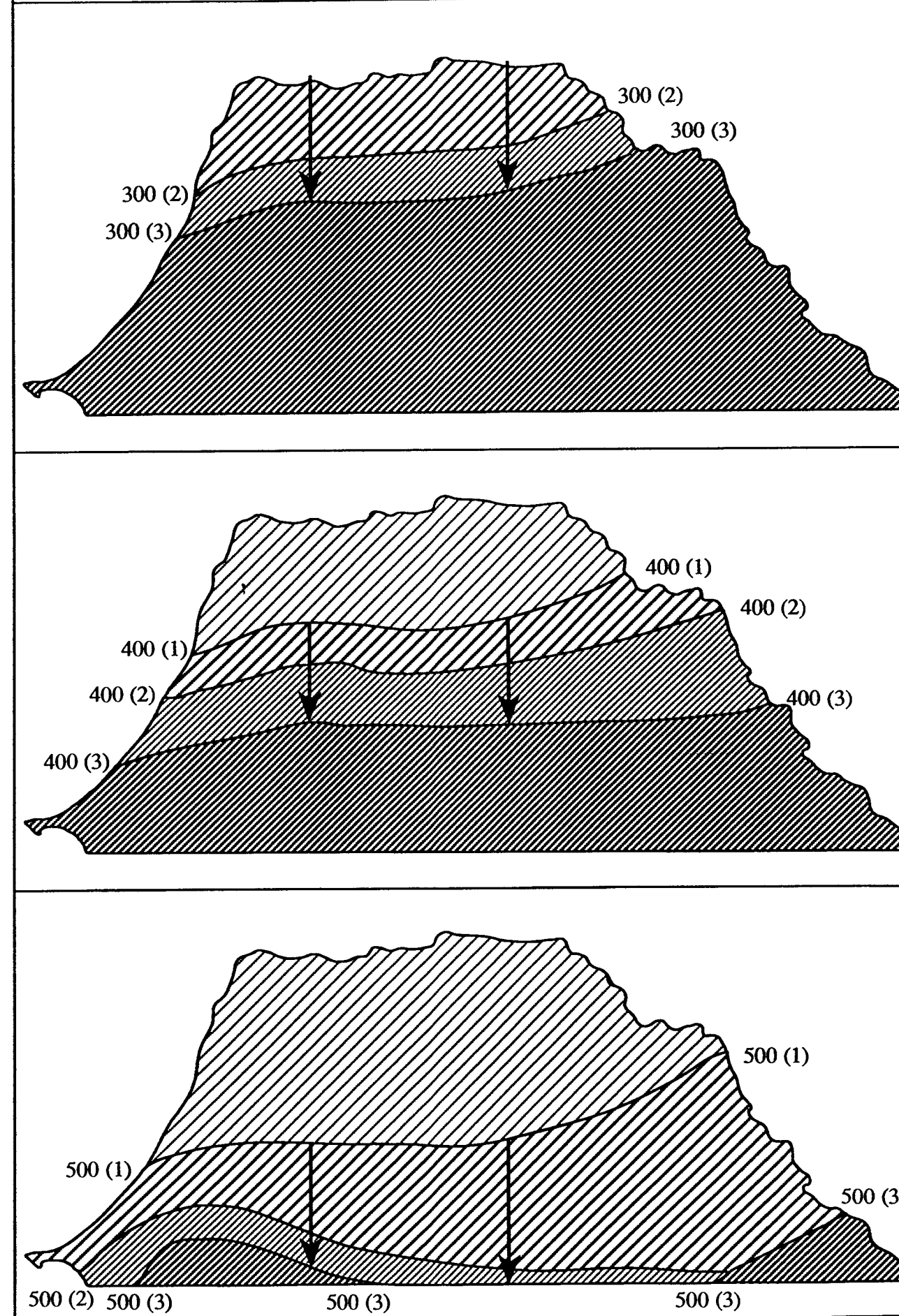
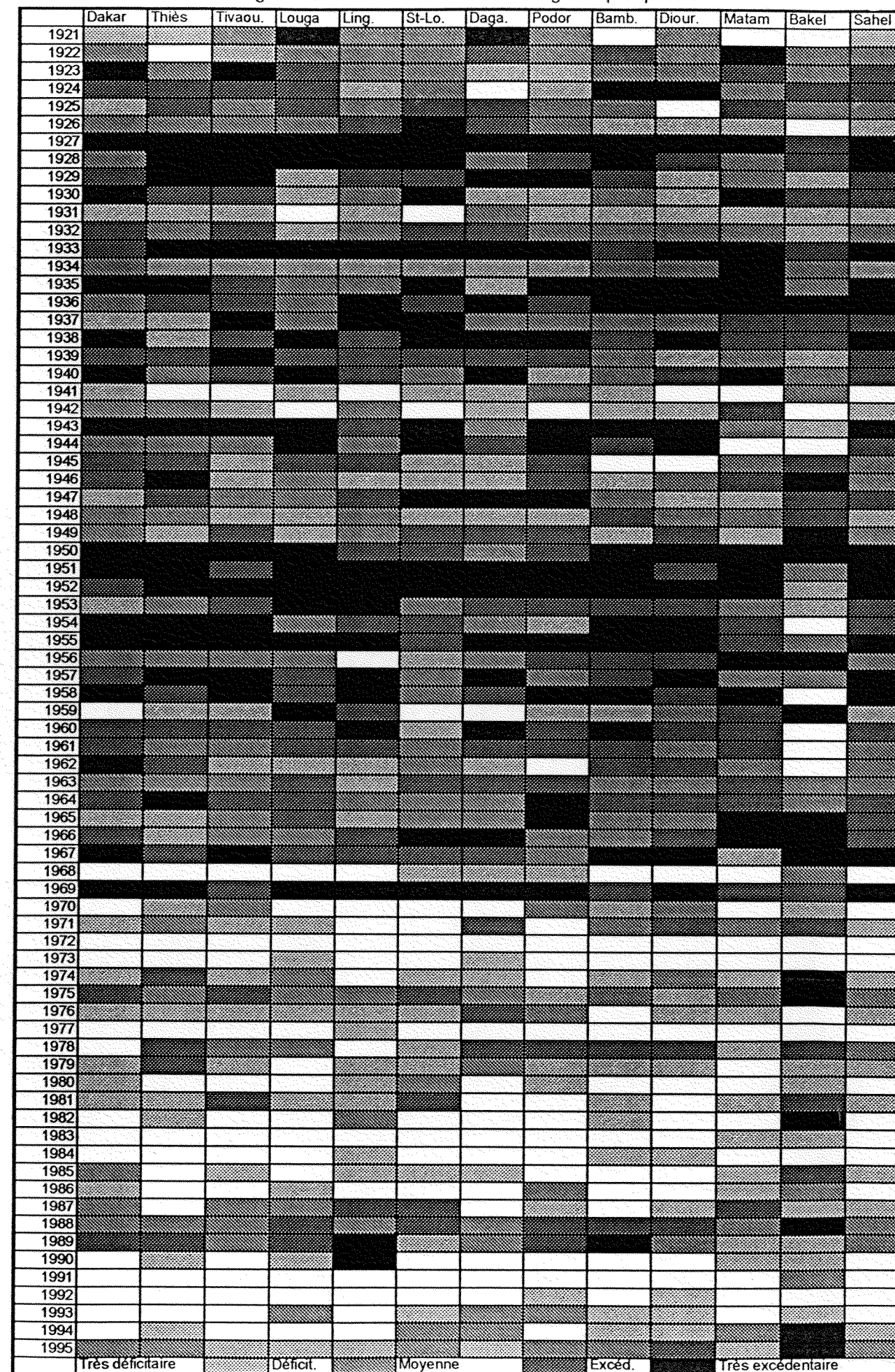


Figure 6. Pluviométrie du Sahel sénégalais par rapport à la moyenne 1921-1995



Figure 7. Pluviométrie du Sahel sénégalais par quintile



Evolution de la répartition des paysages agraires 1954-1995

par

Louis-Albert Lake
Mame Demba Thiam
Mandiaye Thiobane

Introduction.

La principale variable thématique concernant l'évolution des espaces ruraux du nord-ouest sénégalais est le territoire rural lui-même, c'est-à-dire les espaces ou les paysages produits par les activités rurales.

Comment différencier ces paysages sur près d'un demi-siècle, à partir de sources d'information de nature et de qualité différentes ? En se fondant sur un indicateur minimal, commun à toutes ces sources : la trace au sol de l'agriculture pluviale (jachères récentes, sols nus post-culturels et formes plus ou moins géométriques des limites insérant ces marques de l'action productive de l'homme).

L'inconvénient de cet indicateur est son caractère excessivement globalisant. Il ignore par exemple l'agriculture non-pluviale (notamment les périmètres irrigués) et n'évoque qu'indirectement les espaces agro-pastoraux et pastoraux (élevages intégrés, semi-intensif et extensif). Toutefois un tel indicateur est conforme aux dimensions temporelles et spatiales du Projet Écossien. Il s'agit en effet, dans cette première phase du travail, de dégager des tendances générales sur près d'un demi-siècle afin de mieux comprendre l'évolution de l'utilisation du sol au Sahel sénégalais. Ce domaine est indirectement analysé, grâce à l'imagerie satellitaire, en sa partie nord-ouest (soit environ 10 % de la superficie du Sénégal). Un tel recul temporel pour un territoire si vaste n'est ainsi possible qu'au prix d'un objectif taxonomique modeste.

Les questions auxquelles cette approche doit permettre de répondre ne sont donc pas celles, précises, de la socio-économie classique (évolution comparative des productions de mil et d'arachide, par exemple), mais les questions d'ordre stratégique qui interpellent l'équilibre régional : par exemple le tissu des paysages agraires de l'ancien bassin arachidier progresse-t-il, se maintient-il ou se désintègre-t-il depuis la fin de la période coloniale ? L'implantation des forages profonds dans le Ferlo sylvo-pastoral (qui a précisément commencé durant cette période) a-t-elle structuré cette région et stoppé l'avancée des cultures pluviales ? Existe-t-il une ou des tendances claires dans ces évolutions, c'est-à-dire peut-on en tirer un modèle d'évolution et une cinématique des espaces ruraux du milieu à la fin du XX^e siècle ?

L'objectif du présent atlas est de fournir les moyens cartographiques pour répondre à ces questions avec une précision plus spatiale que celle fournie jusqu'ici dans la littérature disponible. Cette précision est nécessaire pour fonder le modèle rétrospectif et, de ce fait, pour transformer celui-ci en opérateur de prospective afin de répondre à l'ultime question de l'aménageur : l'agriculture pluviale et l'élevage extensif pourront-ils se maintenir au Sahel sénégalais durant la probable grande sécheresse des années 2005 à 2015 ?

1. Procédure générale.

Le tableau I indique la démarche suivie pour produire les cartes d'évolution de l'espace agricole (les points 13 à 17 concerneront surtout les prochains rapports du Projet Écossien).

La démarche générale s'appuie :

- sur l'extraction visuelle de l'information recherchée à partir des données utilisées (cartes et imagerie),
- sur trois démarches parallèles de production de la cartographie de l'évolution :
 - a. la démarche manuelle pour la production des zonages et des cartes primaires (CP) ;
 - b. l'utilisation du SIG du système PAMAP pour le croisement des CP et la production de la comptabilité liée à ces croisements ;
 - c. l'approche numérique et graphique pour comptabiliser puis visualiser les tendances majeures de l'évolution.

Tableau I: Démarche générale de détermination de l'évolution des espaces agricoles

Données et information	Transformations	Résultats
01. cartes IGN depuis 1954	02. extraction d'informations	03. carte primaire pour 1954
04. images satellitaires depuis 1973	05. rectification, extraction et zonages	06. cartes primaires 1973-1995
	07. juxtaposition de cartes primaires (CP)	08. cartographie de l'évolution
	09. croisement 2 à 2 des CP	10. cartes cinématiques
	11. analyse des cinématiques	12. cartes de la dynamique
	13. Analyse des tendances majeures	14. Modèle d'évolution rétrospective
15. opérateur(s) prospectif(s)	16. Analyse des tendances probables	17. modèle de simulation prospective

Dans le présent atlas l'accent est mis sur les démarches a et b. Le point c est largement abordé dans l'étude de L-A. Lake et M. D. Thiam, plus bas, mais seulement pour le secteur-test de Keur Momar Sarr. La consolidation du modèle développé dans ce travail et sa généralisation à l'ensemble de la zone d'étude puis aux autres variables constituent l'objet principal des années 4 et 5 de réalisation du Projet Écossien.

2. Les données utilisées.

2.1. Sources et utilisation.

La source et le mode de production des cartes primaires sont indiqués sur chacune de celles-ci (fig. 6 à 14).

- Les cartes IGN.

Pour la date de référence initiale de 1954 on a utilisé les cartes topographiques ou routières de l'IGN au 1/200 000. On en a extrait les classes "zone de cultures", "avec" ou "sans arbre". Le fondement sémantique de cette procédure est détaillé par M-J. Tousignant (page 87) puis testée directement sur les photos aériennes de 1954 et confrontées à d'autres dates par M. D. Thiam *et al*, in Équipe Écossien, 1996. Ces travaux permettent de conclure que "zone de cultures" correspond assez bien aux espaces pré- et post-culturels déterminables à la fois sur les photos aériennes et sur l'imagerie satellitaire, qu'on appelle "espace agricole".

Les calques d'extraction ont été ensuite réduits au Bouzard (appareil optique de changement de focale) successivement au 1/500 000 et au 1/1 000 000, avec un niveau de généralisation très faible (quasiment égale aux seuls effets induits des contraintes visuelles et graphiques de réalisation des tracés).

- L'imagerie Landsat MSS.

Elle fournit la source des données les plus difficiles à utiliser dans le présent travail : faible résolution des capteurs (100 X 100 m approximativement) ; qualité très variable des enregistrements et des rendus sur tirage papier ; distorsions géométriques, faible visibilité des structures du parcellaire agricole. C'est ainsi que plusieurs scènes MSS acquises ont dû être écartées.

L'expérience montre que, pour les objectifs de ce travail, les meilleures possibilités de détection des espaces agraires tels que définis ici se situent au moment où les contrastes d'occupation du sol et du développement des plantes sont les plus forts, notamment au mois de novembre.

- L'imagerie Landsat TM.

On a utilisé des compositions colorées sur films transparents. Ceux-ci ont été analysés sous PROCOM 2 ou soit sur table lumineuse soit à partir d'agrandissement sur tirage papier. La résolution des TM offre une bonne vision des grandes structures de différenciation de l'espace rural (sols nus, sols plus ou moins végétalisés et, surtout, formes géométriques délimitant ces paysages).

- L'imagerie Spot.

Plusieurs facteurs ont conduit à utiliser l'imagerie Spot pour des objectifs méthodologiques plutôt que pour produire des cartes primaires d'évolution. Ces facteurs sont : la plus petite dimension des scènes Spot ; l'exceptionnelle qualité de la détection des structures majeures des paysages ruraux ; l'impossibilité d'acquérir une longue série multirate d'enregistrements du fait de leur coût élevé.

Les objectifs méthodologiques poursuivis sont essentiellement des opérations de contrôle de la vraisemblance des zonages obtenus par ailleurs. Les images Spot ont également été utilisées pour les zonages de la sous-zone-test de Keur Momar Sarr (M. D. Thiam *et al.*, in Écossén 1996).

- La connaissance du terrain.

Dans une étude multitemporelle la validité des résultats taxonomiques pourrait difficilement se fonder sur un protocole de vérité-terrain puisqu'il n'est pas possible de vérifier par le contrôle-terrain l'exactitude de l'interprétation d'images, celles-ci étant enregistrées à des dates antérieures à celles de l'étude et donc à une possibilité de contrôle-terrain. Il faut donc substituer la notion de **vraisemblance** des résultats à celle d'exactitude ou de validité. Dans ce cadre la connaissance du terrain (Équipe Écossén, 1996) reste un complément essentiel de l'imagerie Spot pour examiner la valeur et la **vraisemblance** des zonages obtenus. Tel est le sens du terme vérification indiqué en figure 1.

2.2. Dates et intervalles chronologiques.

Au total 13 dates différentes jalonnent la période étudiée (1954 à 1995). Le tableau II en récapitule les années (en colonne B) et montre les écarts par rapport à ce qui était prévu (colonne A).

Ces écarts s'expliquent :

- pour le vide de la période 1954-1973, par la grande difficulté qu'il y aurait eu à vouloir utiliser les sources disponibles (photos aériennes et monographies diverses) pour l'étude d'un territoire aussi vaste que celui de la zone d'étude ;

- pour la période 1973-1995, par les aléas de l'acquisition des données satellitaires, notamment l'inexistence ou la mauvaise qualité d'images prévues ou, au contraire, la disponibilité et la bonne qualité de données non-prévues.

Les dates retenues déterminent des intervalles chronologiques différents. La figure 2 en montre les différentes significations pour la variabilité de l'espace agraire : saisonnière, inter-saisonnière, inter-annuelle, etc. Ces significations sont indissociables d'une lecture comparative correcte des cartes primaires.

2.3. Qualité des données. Rectification d'image.

Tous les zonages de définition multitemporelle de l'espace agraire résultent soit de compilation cartographique (1954) soit de la photo-interprétation directe de l'imagerie satellitaire. Cette dernière approche, visuelle, se fonde essentiellement sur une analyse texturale des images. De ce fait l'impact de l'atmosphère et des brumes sur le travail est négligeable. Par contre deux problèmes subsistent, qui concernent surtout quelques images Landsat MSS : celui de la couverture nuageuse et celui des distorsions géométriques.

- La couverture nuageuse. Le secteur à nuages est délimité sur chacune des cartes concernées (fig. 6 à 14). Ce secteur n'est renseigné que lorsque la discontinuité de la couverture nuageuse permettait d'extrapoler les tracés de la photo-interprétation.

- Les distorsions géométriques. Les zonages tirés de la photo-interprétation doivent se superposer entre eux et en référence aux systèmes cartographiques utilisés (cartes routières IGN au 1/500 000 et au 1/1 000 000). Dans les quelques cas où cette congruence n'était pas assurée, il a fallu redresser les zonages selon la procédure indiquée en figure 3. Cette rectification se fait en trois étapes : choix d'amers sur la carte et identification des points homologues sur le zonage (routes, villages, etc) ; découpage du zonage en puzzle adapté aux besoins de la rectification ; et remontage réajusté des pièces du puzzle de manière à annuler ou à réduire les écarts entre amers et points homologues (fig. 3). L'inexactitude résiduelle atteint rarement $\pm 1,5$ mm au 1/500 000 (soit ± 750 m). Cette marge d'erreur est négligeable eu égard aux dimensions de la zone d'étude et à ses objectifs.

3. La photo-interprétation.

3.1. La notion d'espace agraire.

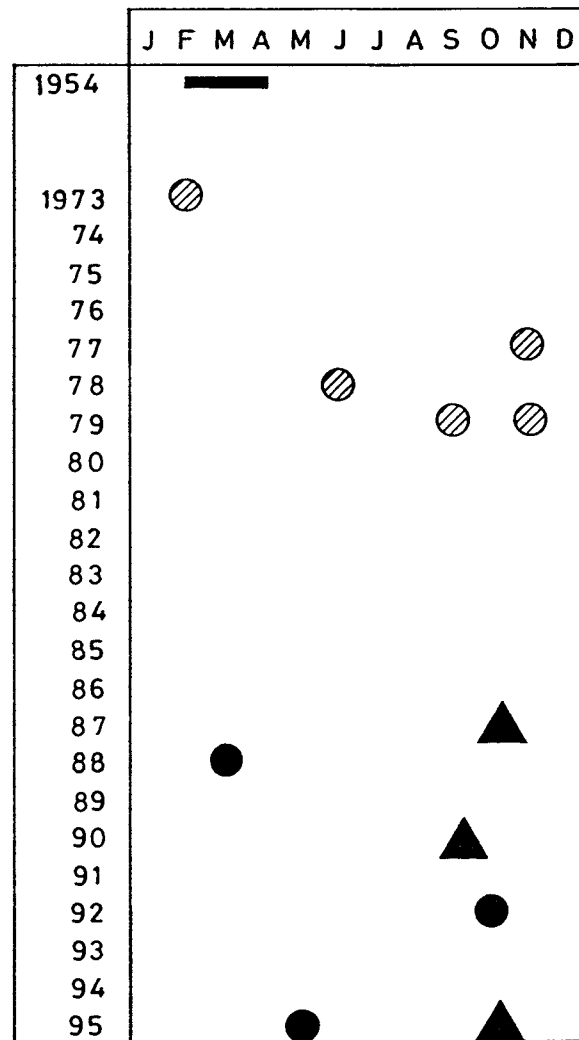
La plus grande difficulté méthodologique de la production des cartes primaires est de fonder leur contenu taxonomique sur un seul concept puisque les sources de données sont multiples et diverses.

L'objectif est de différencier, dans le domaine pluvial et pour chaque date, les paysages résultant des activités agricoles des autres paysages (pastoraux et sylvo-pastoraux).

L'apparente simplicité de cet objectif masque des difficultés conceptuelles quasi insurmontables. Par exemple, le "paysage agraire" de l'imagerie satellitaire correspond-il à un objet (sol nu, ou sol peu végétalisé) et à une signature spectrale spécifique ? Non, car ce type d'objet d'ailleurs variable dans le temps, existe partout ailleurs. Alors comment fonder une correspondance valide entre les données tirées des cartes, c'est-à-dire des photos aériennes de 1954 et celles de l'imagerie satellitaire ? Entre cette correspondance et la réalité (passée et présente) du terrain ?

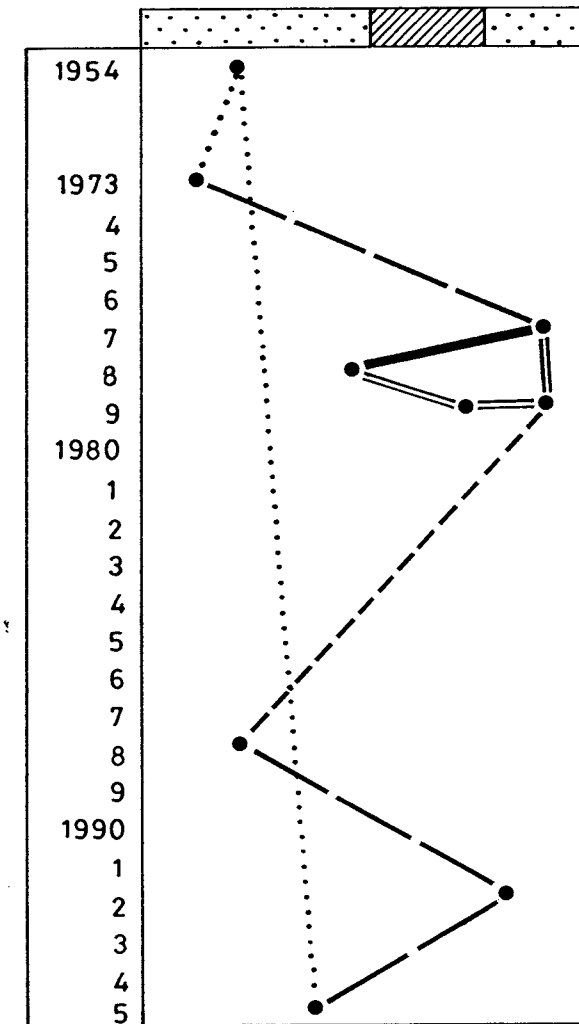
Pour dépasser ces obstacles on se fonde *a priori* sur une représentation globalisante de l'espace agraire et on cherche ensuite à lui trouver sa ou ses signatures iconiques ou sa cartographie antérieure. A l'échelle de la présente étude on définit l'espace agraire comme l'ensemble des paysages marqués par une utilisation du sol essentiellement culturelle, qu'elle soit récente ou en cours. Sur le terrain mais surtout sur les images la signature la moins saisonnière de ces paysages est la configuration de leur parcellaire contrasté et pseudo-géométrique (champs actuels ou récents contre jachères récentes ; taches claires contre taches sombres). C'est donc une signature texturale. Sur les cartes établies par des levés datant des années 50, les "sols nus" (avec ou sans arbres) correspondent à des photographies et à des observations faites en saison sèche. La carte de 1954 sous-estime donc probablement la superficie de l'«espace agraire» tel que défini ici puisque les jachères récentes n'y sont pas différenciées des anciennes. On voit donc que les comparaisons inter-dates doivent être faites avec d'autant plus de prudence qu'il est impossible de valider la correspondance entre d'une part 1954 et d'autre part les autres dates. Les traitements faits jusqu'ici permettent seulement d'affirmer qu'elle est vraisemblable.

Figure 1. Sources des données iconiques utilisées .



	Sources	Utilisation
—	Carte IGN	zonages
⊗	image Landsat MSS	
●	image Landsat TM	
▲	image Spot	vérification

Figure 2. Principaux intervalles chronologiques induits par les données utilisées.



- ⊗ saison sèche
- ⊗ saison des pluies
- données iconiques

intervalles chronologiques	continus		discrets		Total
	intra-saisonnier	interannuel	pluri-annuel	décennal	
	—	—	—	—	2
					2
					3
					1
					1
					1
					1
					10

Source : fig. 1.

Au total le concept à la base de la cartographie de l'espace agricole se résume à l'équivalence empirique ci-après :

zone de cultures (IGN, 1954)	=	parcellaire et îlots agricoles et post- agricoles (imagerie, 1973-95)	=	espace agricole
---------------------------------	---	--	---	-----------------

3.2. L'analyse texturale. Incertitude.

L'imagerie satellitaire Landsat a donc été traitée par photo-interprétation visuelle et extraction de la structure iconique de l'espace agricole.

Celle-ci, en général, se définit par des percepts hétérogènes, ponctiformes et/ou géométriques, visiblement anthropogènes. Cette texture spécifique ne peut se confondre avec aucune autre (ni avec celle, tentaculaire, des systèmes fluviaux ; ni avec celle, linéaire et alternée, des systèmes dunaires).

La pertinence de cette approche texturale est indirectement vérifiée grâce à l'imagerie Spot que la haute résolution permet d'assimiler, dans ce travail, à un complément de la reconnaissance terrain. Cependant on n'a pas trouvé de correspondance d'enregistrement de données synchrone entre Landsat et Spot. En figure 4 on compare deux zonages de dates différentes qui donnent donc des contours différents. Mais on constate que la position globale de l'espace agricole aux 2 dates est la même et que les différences périphériques *ne peuvent s'expliquer que par la variabilité inter-annuelle de l'utilisation des terroirs*. On en conclut donc que dans le présent atlas les résultats de la photo-interprétation des images Landsat par l'approche texturale sont vraisemblables.

3.3. Les moyens techniques de la détermination.

L'incertitude de la photo-interprétation doit en fait se mesurer en fonction d'autres facteurs que ceux de la méthode. Il s'agit, principalement, des moyens techniques de la détermination de l'espace agricole et de ceux de l'extraction de l'information correspondante à partir des images (agrandissement optique, lecture, analyse, tracés, transfert, réduction).

Le principal obstacle à la détermination par analyse texturale est que celle-ci n'est tout à fait applicable que lorsque l'hétérogénéité des percepts est franchement marquée, par un bon contraste des valeurs de gris ou des couleurs, et que ce contraste n'est pas oblitéré par un phénomène tiers dominant (tels que des sols très réfléchants). Ces conditions visuelles entraînent les faits suivants :

- les meilleures dates de détermination de l'espace agricole se situent en fin d'hivernage et durant la période des récoltes (Octobre à Décembre) ; c'est en effet à ce moment que les contrastes champs de plantes matures/sols nus de post-récolte sont à leur maximum ; *a contrario* les images Landsat MSS de milieu de saison sèche ne sont quasiment pas analysables et ont été le plus souvent écartées ;

- le quart sud-ouest de la zone d'étude (espace agricole subcontinu = texture quasiment en damier) s'analyse aisément alors que les secteurs orientaux demandent plus d'attention (sols très réfléchants pour d'autres raisons qu'agricoles et interférence des faibles réfléchances des affleurements ferrugineux localement). La solution générale à ces problèmes est que les clés d'extraction et de discrimination par analyse texturale restent constantes sur toute la zone à condition d'identifier clairement variantes et significations de l'hétérogénéité :

- . espace agricole subcontinu = taches sombres sur fond clair (jachères isolées et sols nus) ;

- . espace agricole discontinu = taches claires sur fond très sombre (zones post-culturelles et jachères très anciennes) ;

- . boqueteaux d'interdunes = signature iconique inverse de la précédente : taches noires ou sombres sur fond sombre ou clair en bandes alternées.

- . affleurements ferrugineux = *idem* que précédentes mais taches non-alignées, etc ;

- sur les cartes produites la continuité de l'espace agricole est surestimée à l'ouest (sauf pour 1954) et la discontinuité en est sous-estimée à l'Est (les petits blocs isolés de cultures sont minimisés) ; de plus le traitement des continuums correspondants (paysages de l'espace agricole subcontinu à ceux de l'espace pastoral) varient d'une image à une autre et d'un photo-interprète à l'autre ;

- les conditions techniques d'analyse varient également selon les caractéristiques des images (échelle petite ou grande, transparents ou tirage papier, monospectrale ou multispectrale, noir et blanc ou couleur, etc).

D'une manière générale les cartes sont produites d'une analyse directe (sur tirage papier ou sur table lumineuse) alors que les photo-interprétations de vérification tirées des images Spot sont produites sous PROCOM 2 (appareil canadien d'agrandissement-réduction et d'analyse optique d'images sur support transparent). Tous les zonages ont été réduits au 1/1 000 000 grâce au Bouzard (appareil identique au précédent dans le principe mais plus ancien et spécialisé pour le dessin).

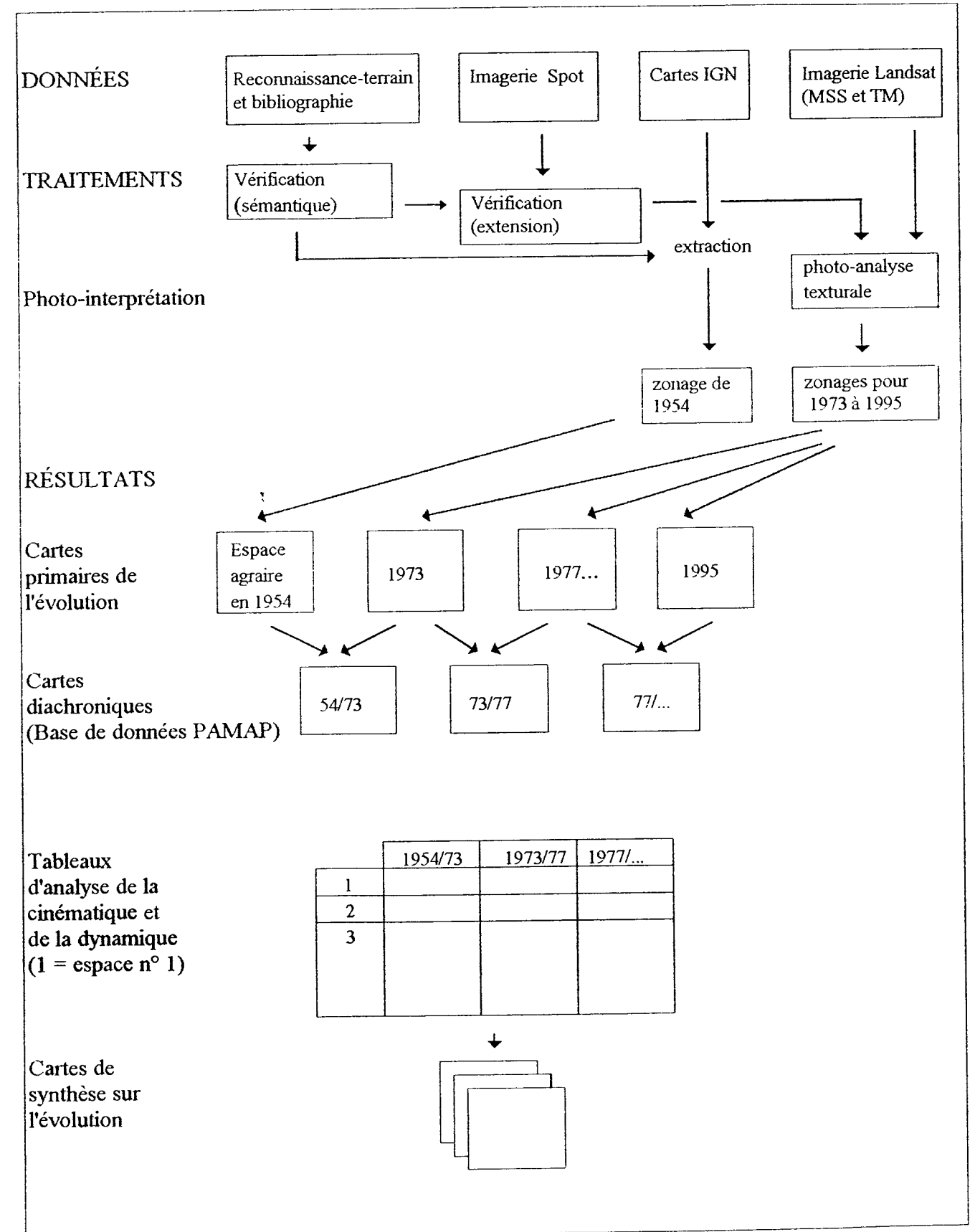
Pour mesurer l'incertitude globale liée aux inexactitudes qu'entraînent la plupart des contraintes que l'on vient d'évoquer, on a comparé les calques d'interprétation de plusieurs photos-interprètes pour les mêmes zones. On reproduit en figure 5 le cas le plus difficile (zone du continuum entre le Sud-Ouest et le Sud-Est) traité par deux photos-interprètes de formation très différente (en rappelant qu'environ cinq personnes ont participé à la photo-interprétation de l'imagerie depuis le début d'exécution du Projet Écossien : 3 chercheurs et 2 étudiants). Il en résulte que la divergence de détermination de l'espace agricole entre les deux photo-interprètes en question représente 16% de la superficie du secteur-test, 8% de la région administrative de Louga et 1% de la superficie de la zone d'étude (fig. 5). On en conclut que les aléas techniques de la détermination de l'espace agricole aboutissent à une cartographie peu précise au niveau local, mais satisfaisante à l'échelle intermédiaire (plusieurs communautés rurales) et à l'échelle régionale de la zone d'étude (environ les 2/3 des 59 communautés rurales de la zone d'étude socio-économique de l'atlas). Une telle cartographie est donc satisfaisante pour l'analyse diachronique dans la mesure où celle-ci recherche non pas des tendances d'évolution locales mais intermédiaires et régionales-types. On notera enfin, en comparant la variabilité diachronique de l'espace agricole présentée en figure 4 et la divergence entre photo-interprètes indiquée en figure 5, qu'il s'agit de phénomènes différents dont les inexactitudes et l'incertitude ne peuvent être confondues. Le premier résulte d'une différence de localisation diachronique et le deuxième d'une différence de tracés synchrone. C'est pour cela que l'inexactitude de localisation (± 750 m au maximum pour les cartes produites) ne doit pas être confondue avec l'incertitude de la multi-photo-interprétation (± 16 % des superficies au maximum dans les continuums périphériques).

Tableau II. Références multitemporelles.

- A Références proposées dans le document de projet, pour la sous-zone-test ou/et pour la phase CEDES (Doc. de projet, page 18, paragraphe 68)
- B Références traitées dans la présente étude
- d Nombre de dates différentes

	A	B
	1954	1954
	1969	
	1971	
	1973	1973
		1977
		1978
		1979 (2 dates)
	1981	
		1987
		1988
	1989	
		1990
	1991	
		1992
	1994	
		1995 (2 dates)
d	7	12

Tableau III. Schéma de la production des cartes primaires et de l'analyse de l'évolution de l'espace agricole.



4. La cartographie primaire de l'évolution de l'espace agraire.

Le tableau III récapitule la démarche générale de l'analyse de l'évolution de l'espace agraire d'abord cartographique puis numérique et graphique, manuelle en amont et informatisée en aval (SIG et base de données PAMAP).

Les figures 6 à 14 montrent, date par date, la répartition des espaces agraires dans le Nord-Ouest du Sénégal. Cette collection de cartes permet de voir, depuis 1954, d'une année à l'autre, d'une saison à l'autre et/ou d'une décennie à une autre, que la répartition de l'espace agraire varie constamment.

Cette variation comporte trois aspects :

- un aspect géographique (différence de localisation des tentacules périphériques de l'espace agraire d'une année à une autre) ;
- un aspect morphologique (différences de forme des tentacules et blocs) ;
- un aspect quantitatif (différence de superficie).

Le présent rapport s'intéresse surtout au premier et au dernier de ces aspects.

Les figures qui seront produites ultérieurement par le SIG mis en place à l'aide du système PAMAP, permettront d'appréhender l'évolution de l'espace agraire par visualisation des changements d'une date à une autre. La connaissance de cette évolution fondera le modèle d'analyse diachronique proposé.

5. Vers un modèle d'analyse diachronique.

Pour analyser et visualiser de manière exhaustive l'évolution de l'espace agraire (cinématique et dynamique des espaces) de 1954 à nos jours, on prévoit un modèle graphique fondé sur les étapes suivantes (tabl. III).

- lecture numérique (visuelle) ou analyse numérique (base de données PAMAP) des cartes diachroniques et obtention d'un unique tableau d'analyse diachronique de toutes les cartes ;
- exploitation du tableau d'analyse diachronique par mise en évidence :
 - . des types de changements chorologiques et morphologiques (= cinématique) ;
 - . des niveaux de force et de vitesse de ces changements (= dynamique) ;
- cartographie finale de synthèse : typologie de l'évolution des espaces représentatifs des communautés rurales actuelles selon la cinématique et la dynamique de leurs espaces agraires depuis 1954.

La première approche de ce modèle est testée pour le secteur de Keur Momar Sarr, dans l'étude présentée plus bas, et sur une grille d'analyse spatiale uniforme. Il sera aisé de remplacer cette grille par des limites administratives lorsque l'application du modèle sera étendue à toute la zone d'étude. Cette généralisation devrait se faire rapidement dans les prochains mois en interrogeant la base de données PAMAP, c'est-à-dire en sortant les valeurs ordinales de l'évolution pour chaque unité administrative puis en classant ces unités selon les types de cinématique et de dynamique obtenus.

Référence bibliographique.

Ecossen (Équipe), 1996. Espaces ruraux du nord-ouest sénégalais. Données et variables d'évolution, 1954-1996. Rapport technique à 2 ans. CARTEL ; IFAN, Dakar, 244 p.

Figure 3.
Déformation et rectification manuelle d'image Landsat MSS.

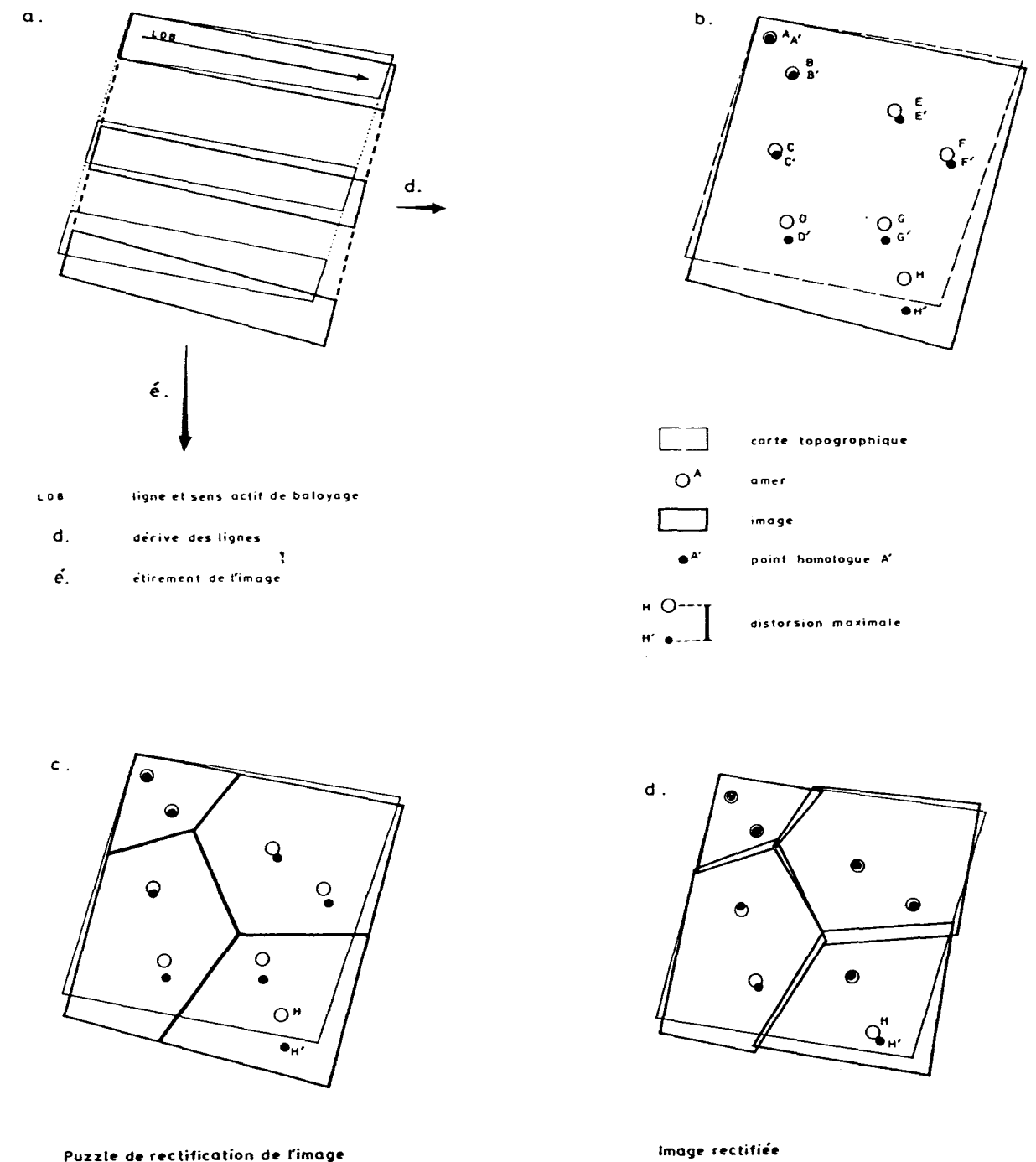


Figure 4.

Variabilité de la signature diachronique et multisource des espaces agraires périphériques.

Sources :

- Landsat TM 5, composition colorée (2, 5, 7) du 9 Mai 1995.
- Spot 3, composition colorée (X3, 2, 1) du 22 Octobre 1995.

Photo-interprétation : L-A. Lake, M. Thiobane, M. D. Thiam.

Réductions au Bouzard : M. Thiobane, P. J. Diouf.

Dessin : A. Faye

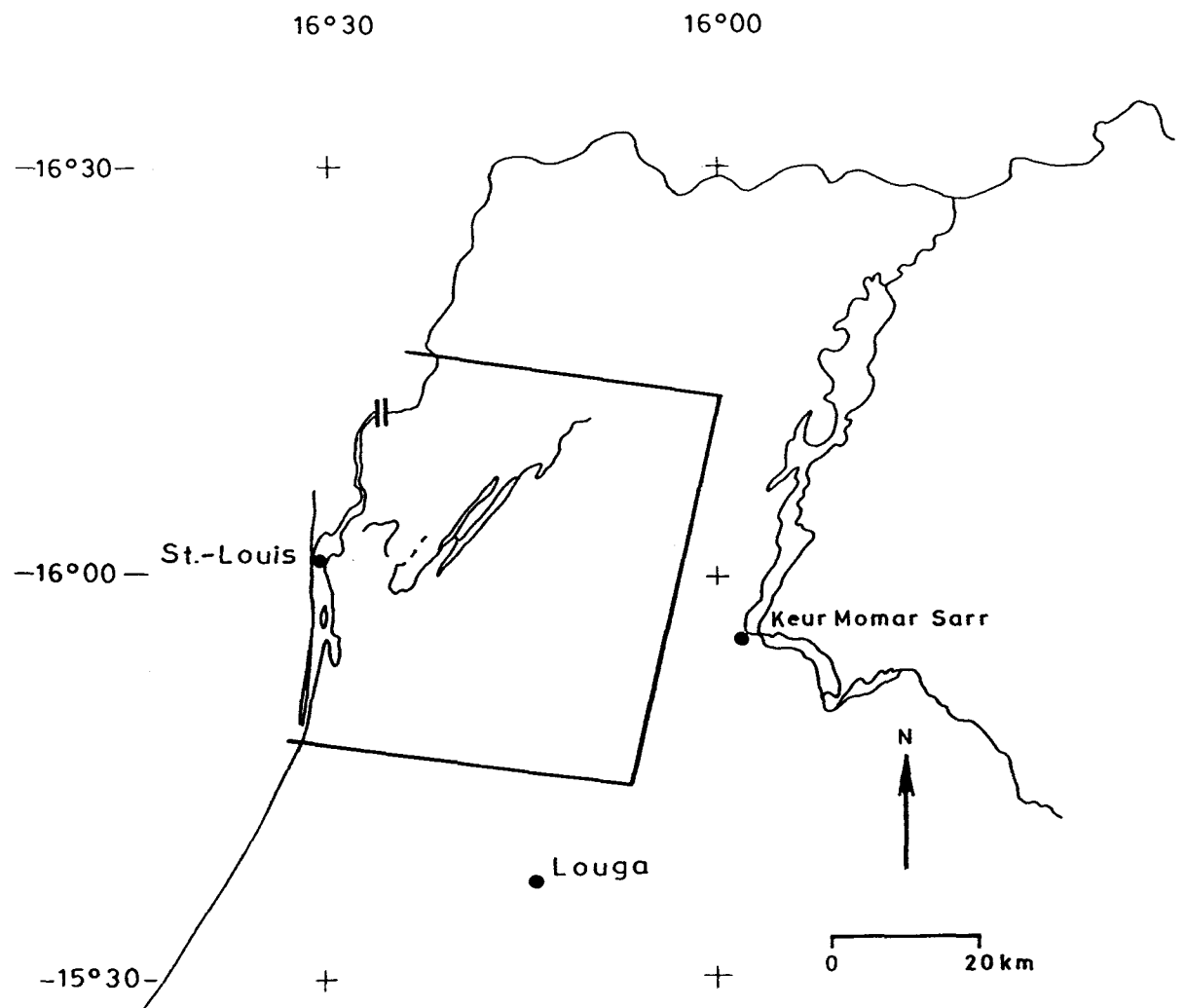
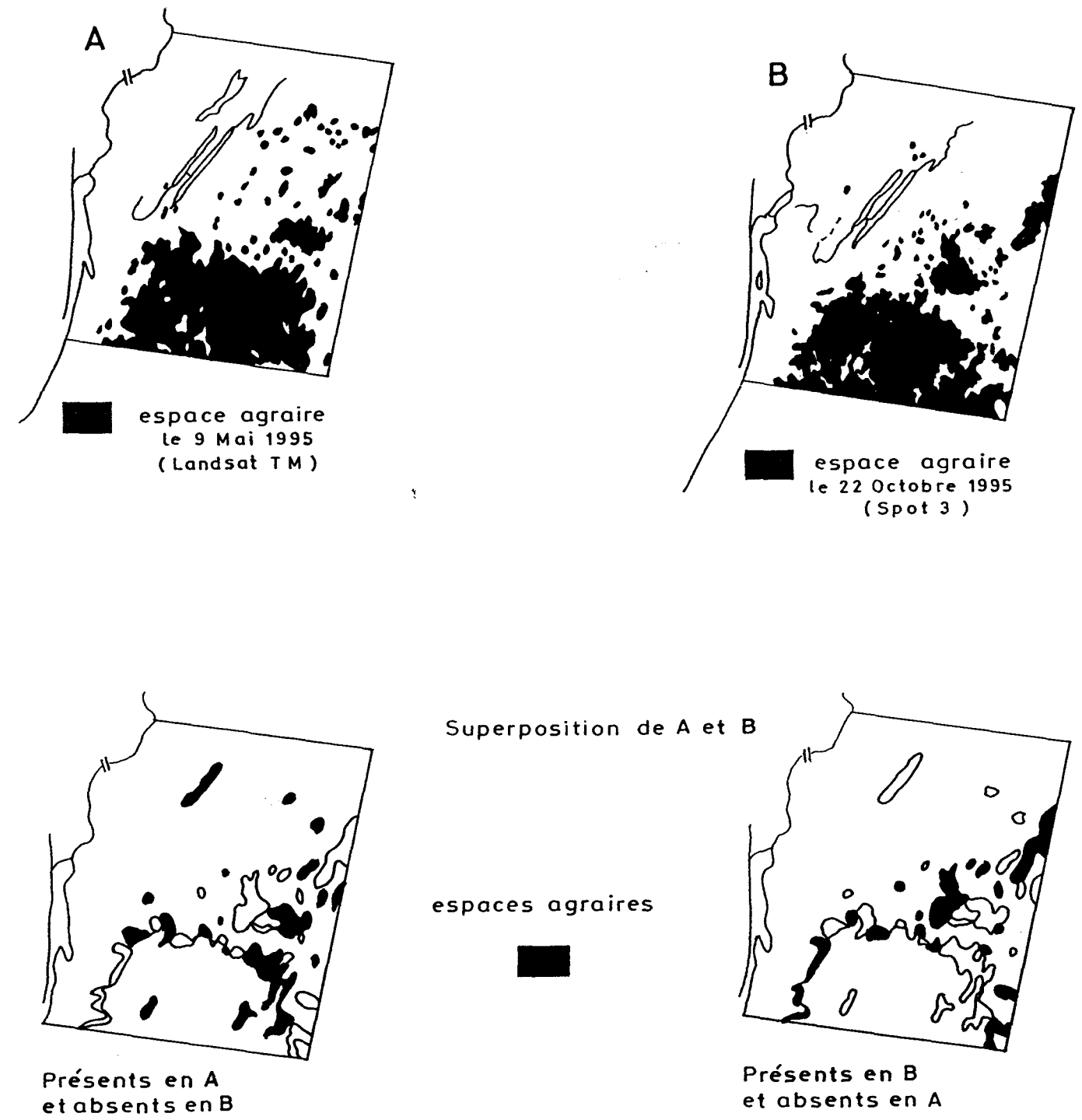


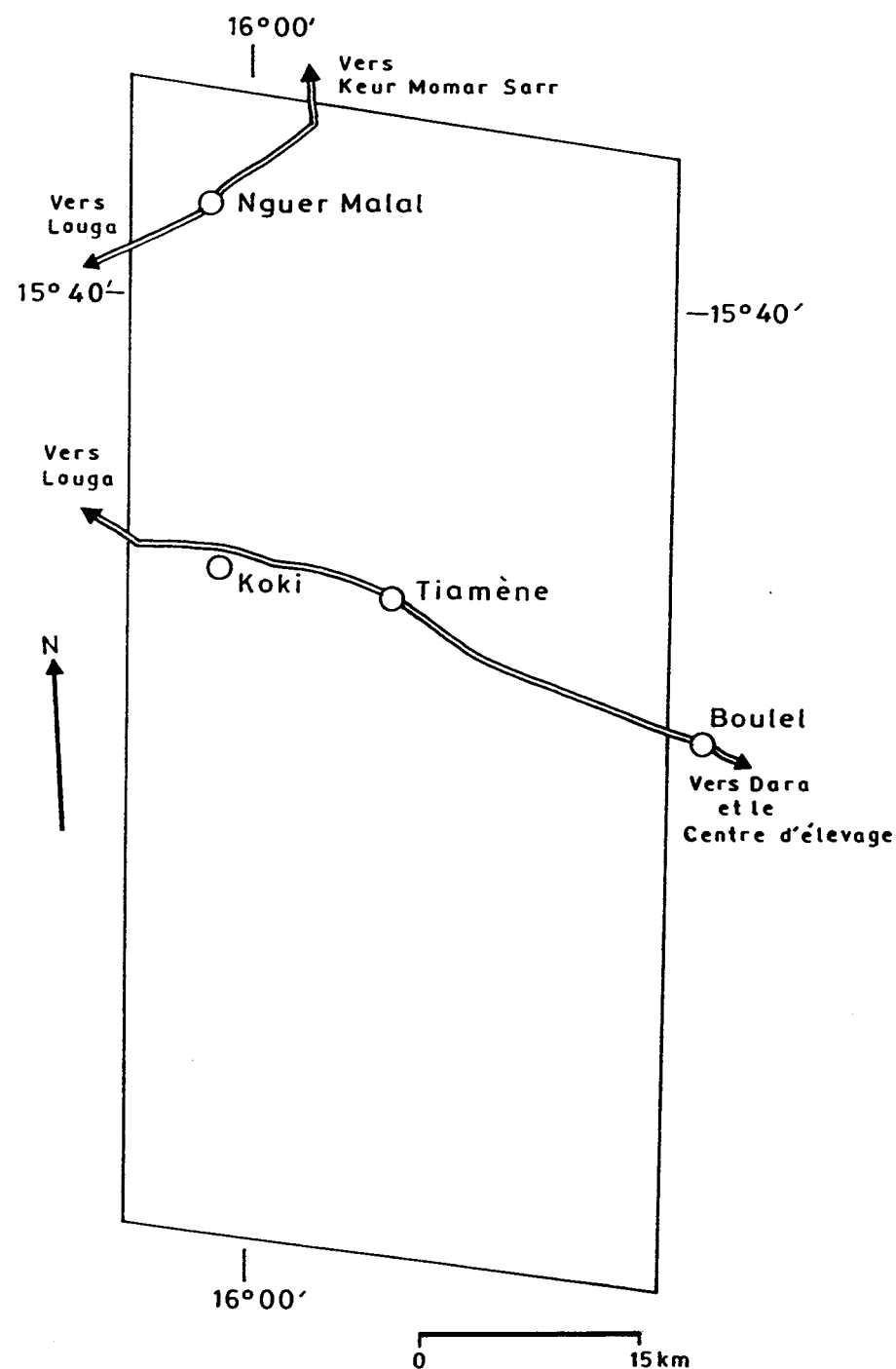
Figure 5.



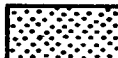
Impact maximal de la multiplicité des photo-interprètes.

Sources : Cartes IGN au 1/200 000. Image Landsat MSS 5 du 23 Nov. 1979.

Relevés cartographiques et cartographie :
L-A. Lake, M. D. Thiam, M. Thiobane.

Réductions au Bouzard : M. Thiobane.
Dessin : A. Faye



Limites et Zones	Superficies		
	km ²	%	
identiques	 espaces agraires	1095	40
	 autres espaces	1210	44
différentes	 (agaires ?)	440	16
Ensemble du secteur		2745	100

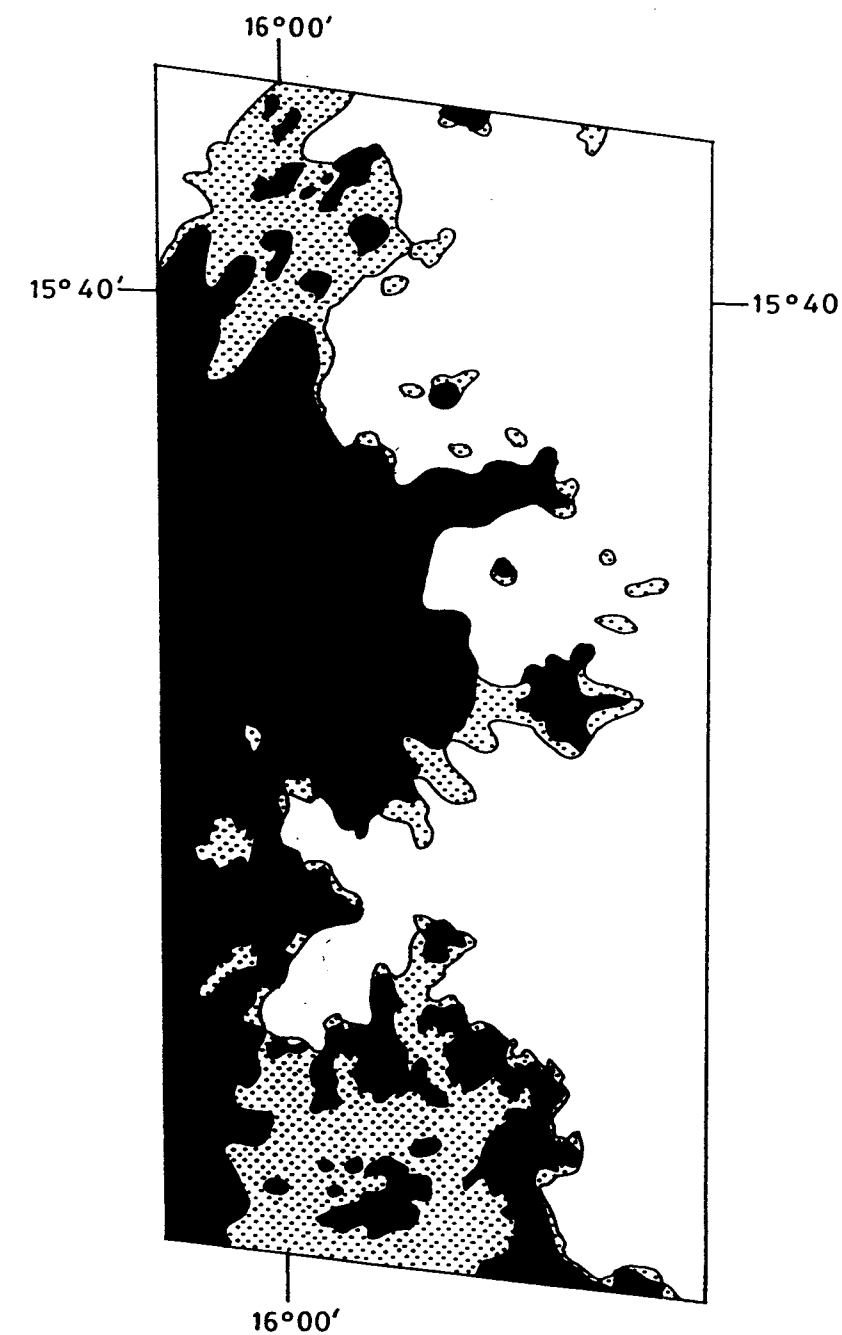


Figure 6.

Espaces agraires en 1954

Sources : Cartes IGN au 1/200 000.

Relevés cartographiques et cartographie :
L-A. Lake, M. D. Thiam, M. Thiobane

Réductions au Bouzard : M. Thiobane.
Dessin : A. Faye

- | | | | |
|----|----------------------|----|-------------|
| ○ | Etablissement humain | L | Linguère |
| D | Dagana | LO | Louga |
| DR | Dahra | P | Podor |
| K | Kébémér | S | Saint-Louis |
| KE | Keur Momar Sarr | T | Tatki |
| KK | Koki | | |

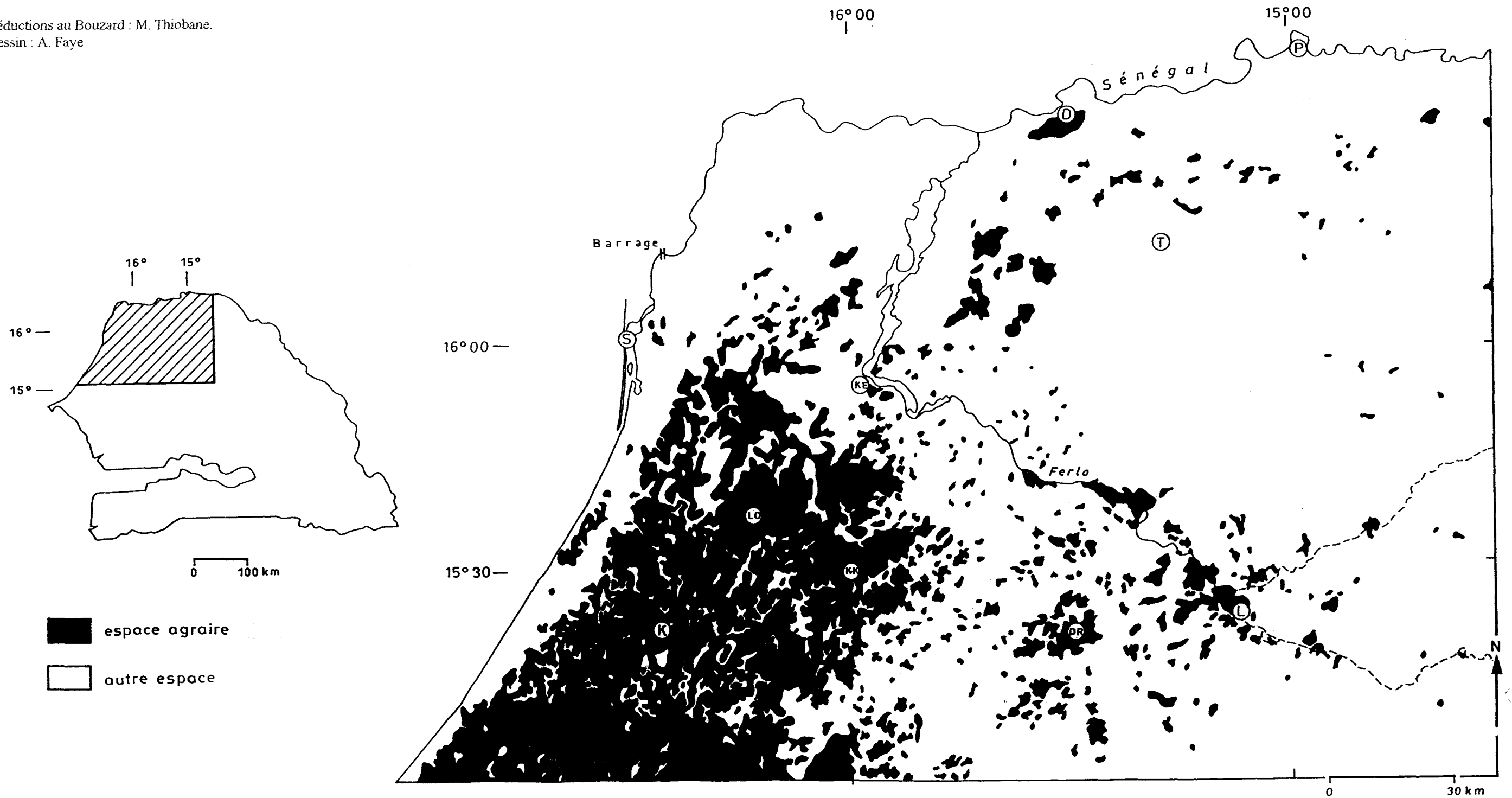


Figure 7.

Espaces agraires le 21 Février 1973

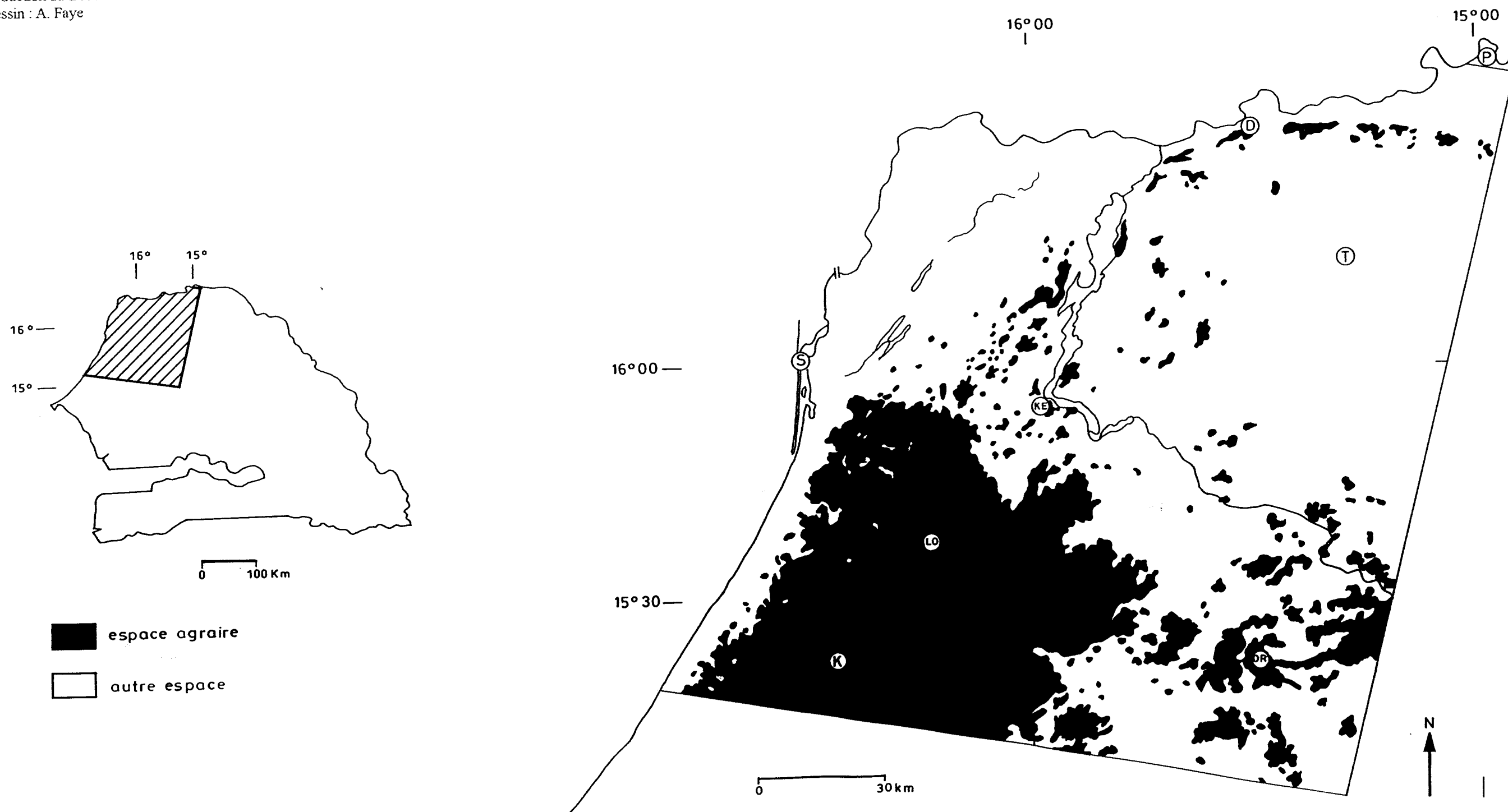
Sources : Landsat MSS 5 et 7

Photo-interprétation : L-A. Lake.

Réduction au Bouzard : M. Thiobane

Dessin : A. Faye

- Etablissement humain
- D Dagana
- DR Dahra
- K Kébémér
- KE Keur Momar Sarr
- LO Louga
- S Saint-Louis
- T Tatki



■ espace agricole
 □ autre espace

Figure 8.

Espaces agraires le 06 Novembre 1977

1977

Source : Landsat MSS 5.

Photo-interprétation et rectification (12 pièces) : L-A. Lake.
 Erreur maximale de la localisation du zonage : ± 0,7 km.

Réduction au Bouzard : M. Thiobane
 Dessin : A. Faye

- | | | | |
|----|----------------------|----|-------------|
| ○ | Etablissement humain | LO | Louga |
| D | Dagana | S | Saint-Louis |
| DR | Dahra | T | Tatki |
| K | Kébémér | | |
| KE | Keur Momar Sarr | | |
| KK | Koki | | |

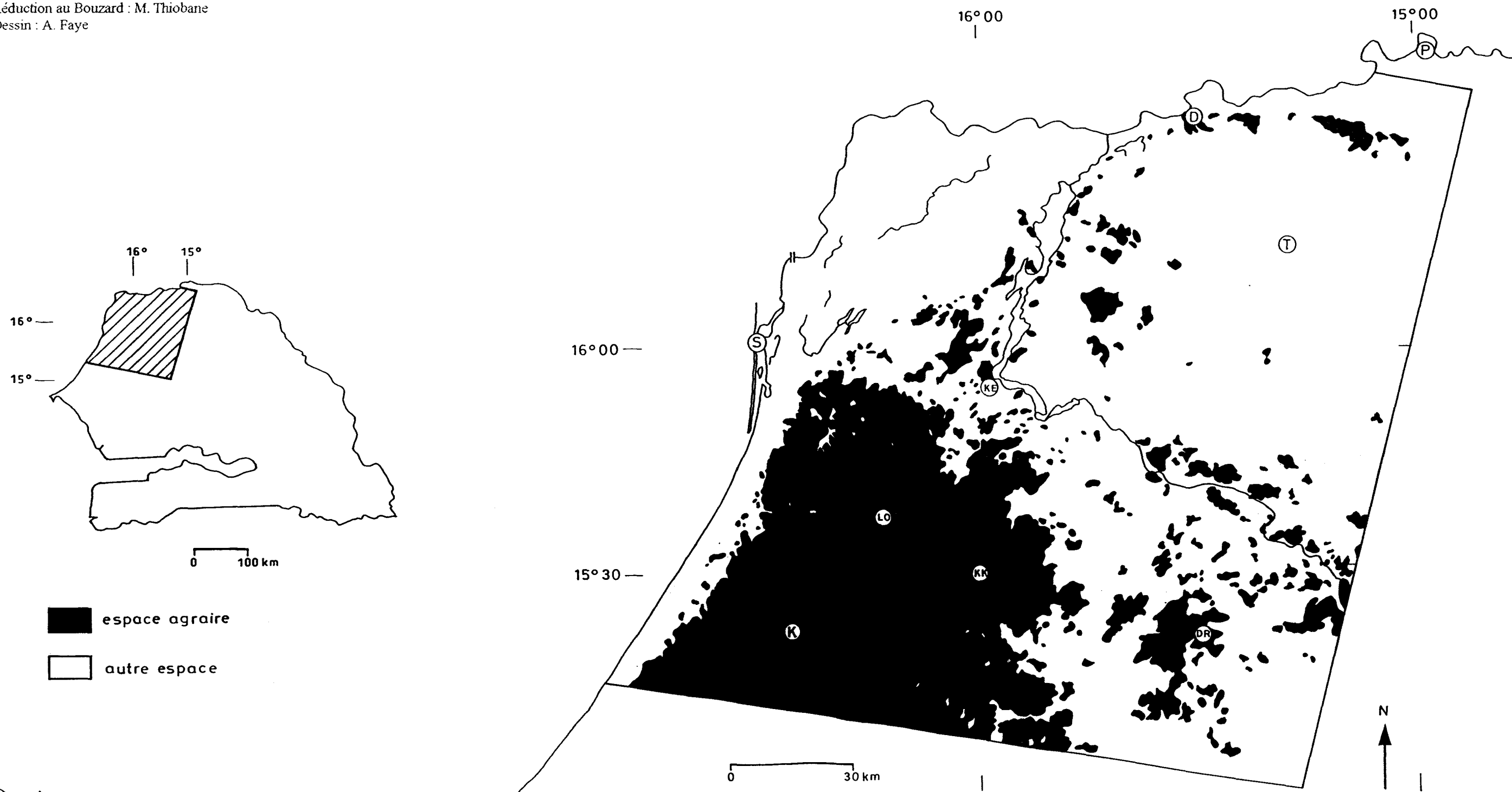


Figure 9.

Espaces agraires le 19 Juin 1978

Sources : Landsat MSS 4,5,7 (composition colorée).

Photo-interprétation : L-A. Lake, M.D. Thiam.

Rectification (13 pièces) : L-A. Lake.

Réduction au Bouzard : M. Thiobane.

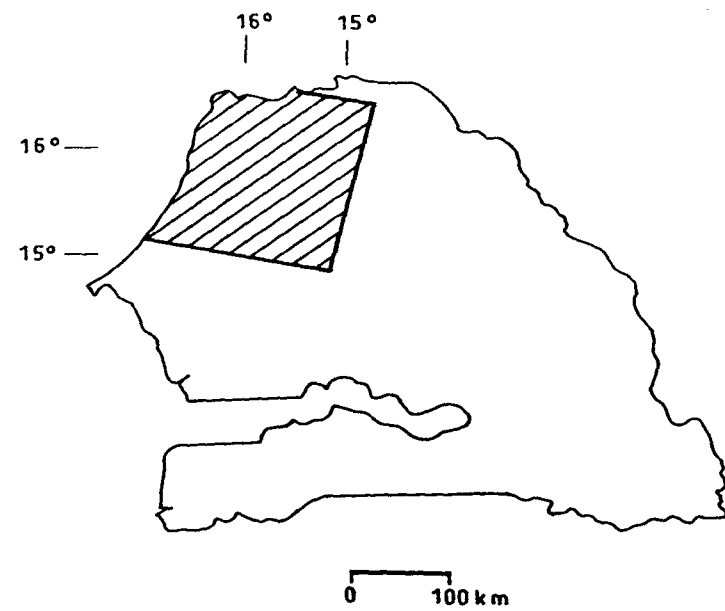
Dessin : A. Faye

1978

- | | | | |
|----|----------------------|----|-------------|
| ○ | Etablissement humain | L | Linguère |
| D | Dagana | LO | Louga |
| DR | Dahra | S | Saint-Louis |
| K | Kébémér | T | Tatki |
| KE | Keur Momar Sarr | | |
| KK | Koki | | |

16° 00

15° 00



- espace agricole
- autre espace

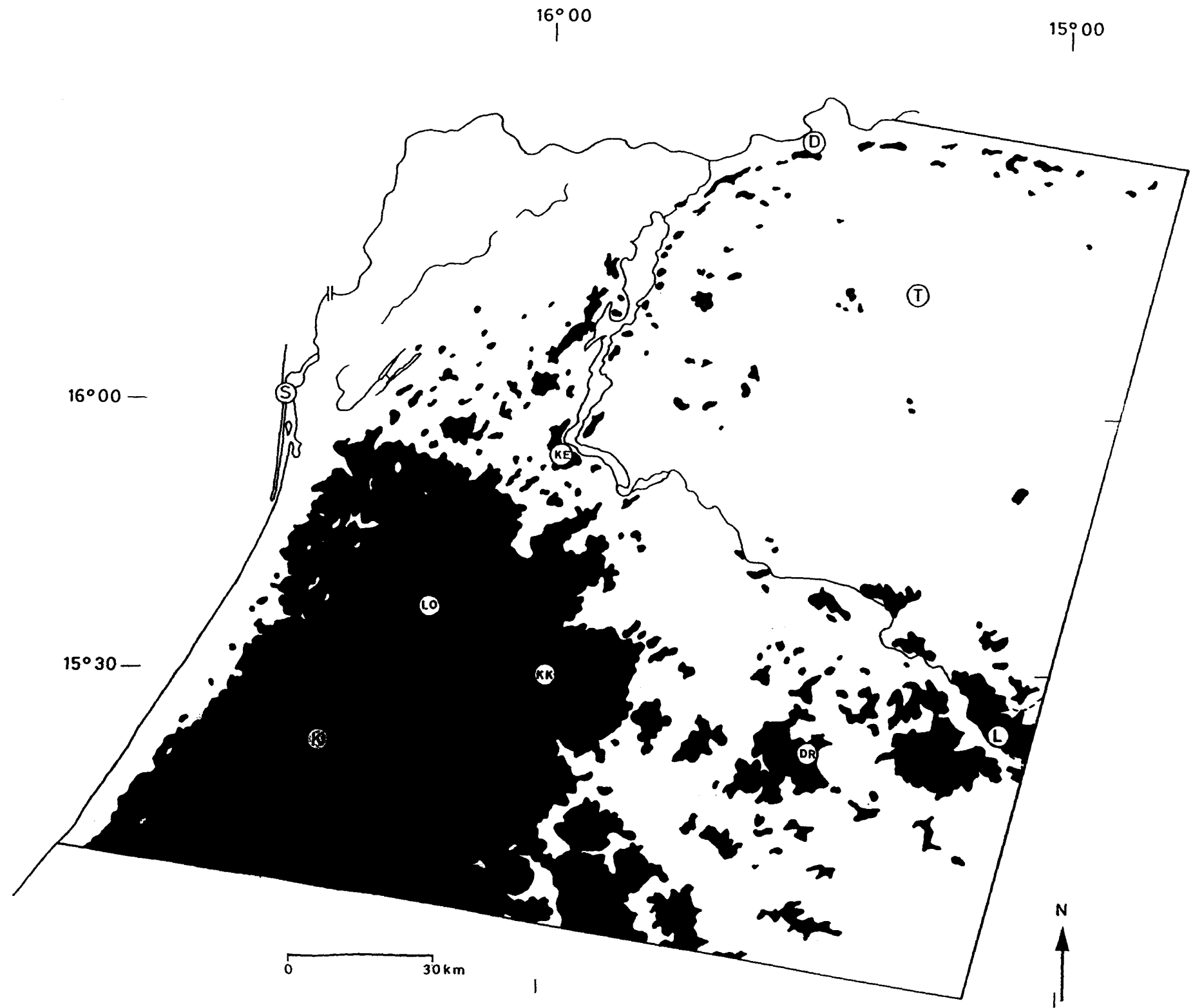


Figure 10.

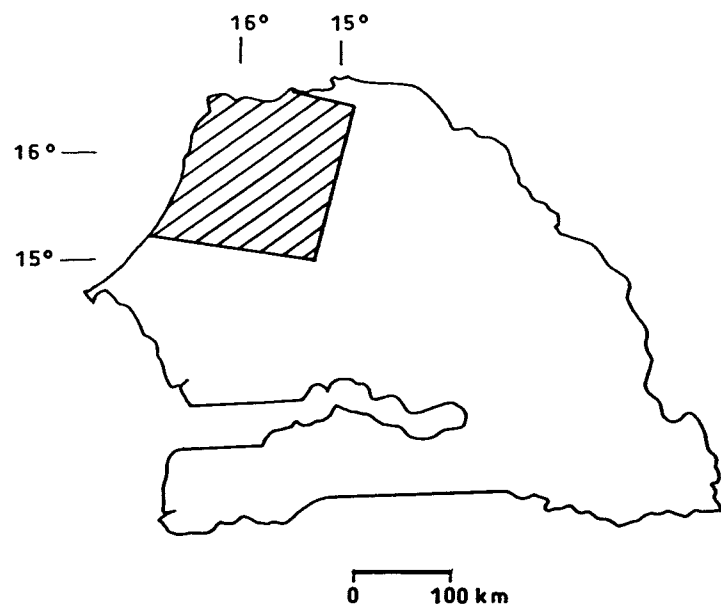
Espaces agraires le 30 Septembre 1979

Sources : Landsat MSS 4, 5, 7 (Composition colorée).

Photo-interprétation : M. Thiobane, M. D. Thiam.
Rectification géométrique (6 pièces) et zonage de synthèse : L-A. Lake
Erreur résiduelle maximale : ± 1,5 km.

Réduction au Bouzard : P. J. Diouf.
Dessin A. Faye.

- Etablissement humain
- D Dagana
- DR Dahra
- K Kébémér
- KE Keur Momar Sarr
- KK Koki
- LO Louga
- S Saint-Louis
- T Tatki



■ espace agricole
□ autre espace

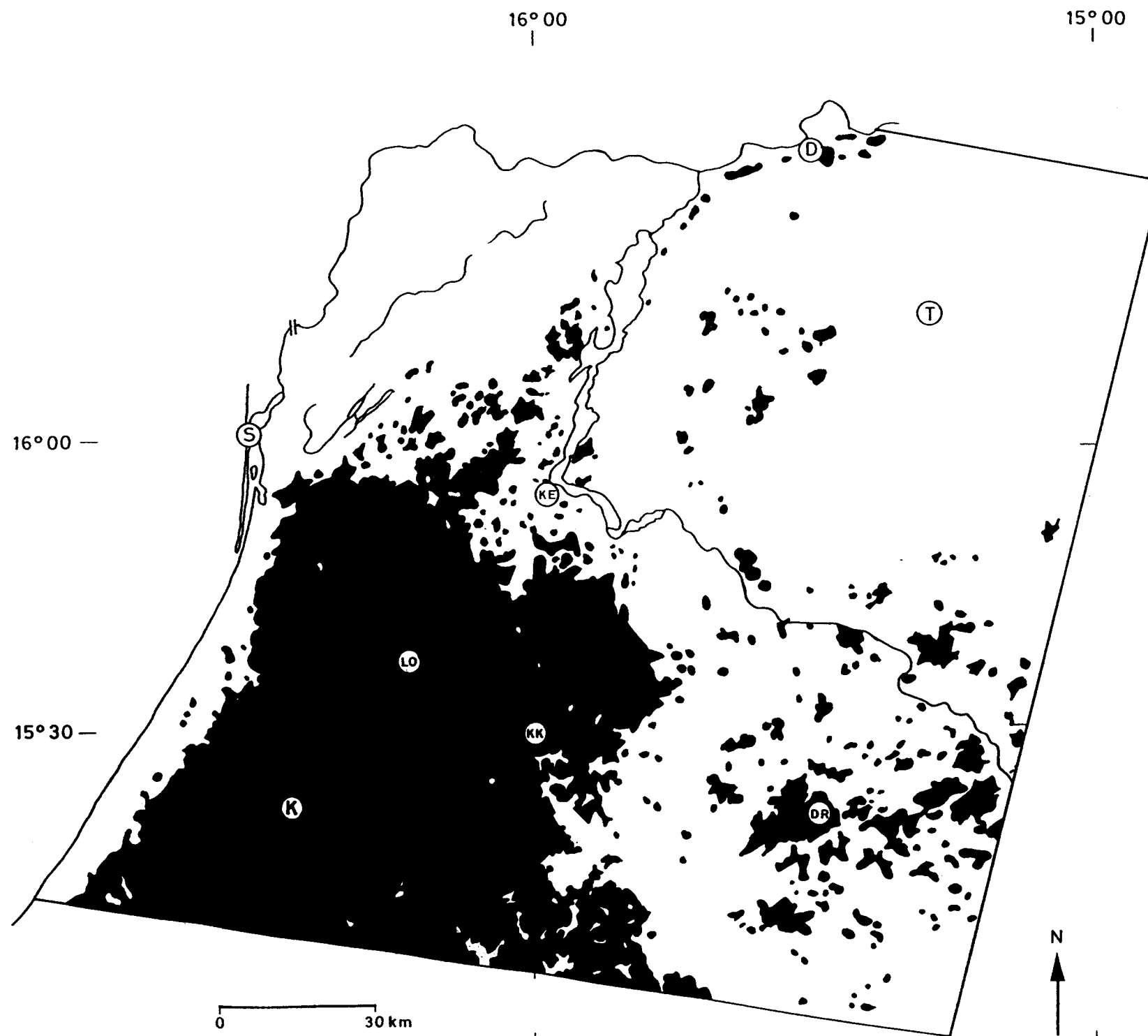


Figure 11.

Espaces agraires le 23 Novembre 1979

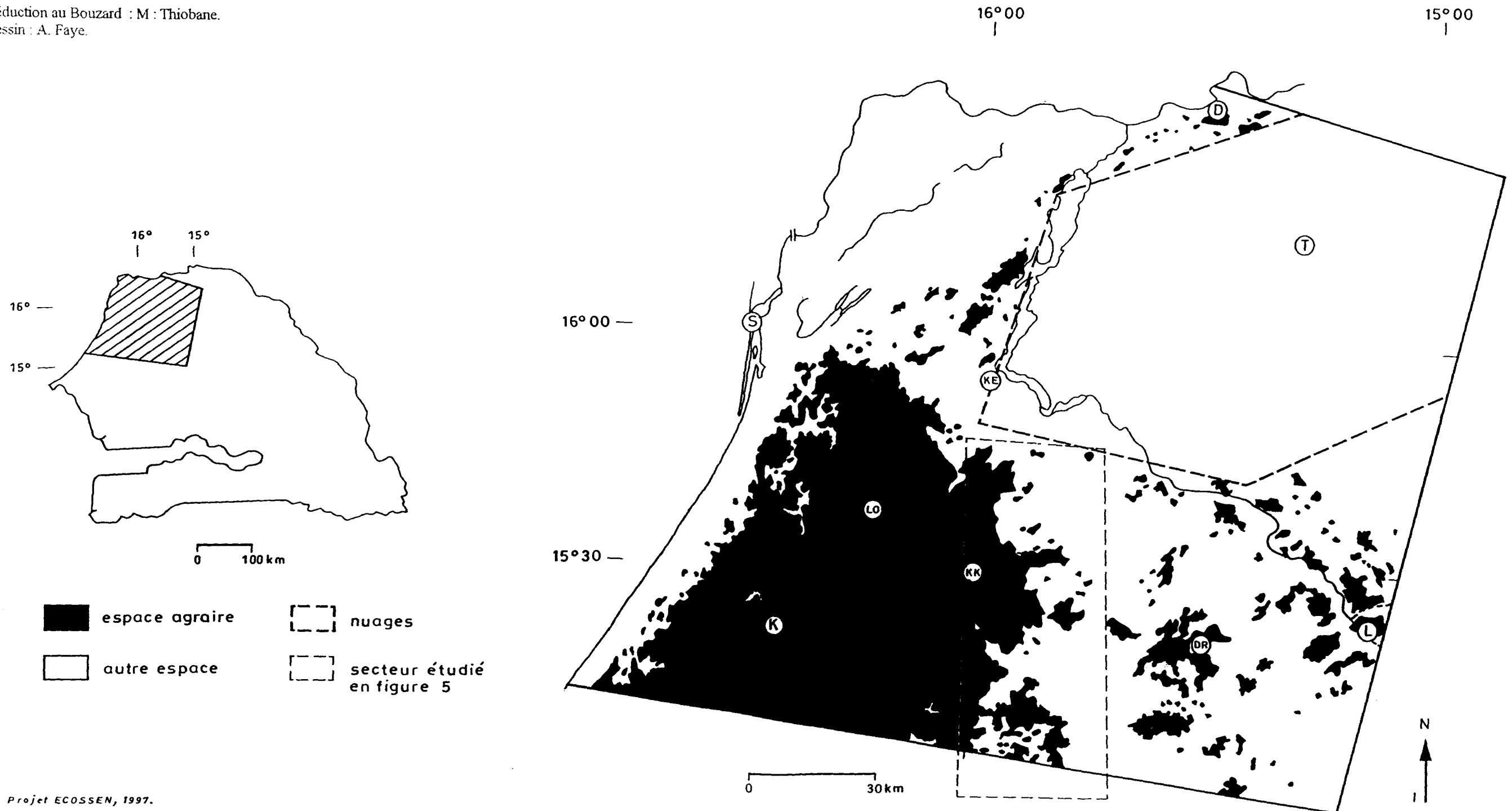
1979

Source : Landsat MSS 5.

Photo-interprétation : L.-A. Lake, M. Thiobane.
 Rectification géométrique (7 pièces) : L.-A. Lake.
 Inexactitude de la localisation : ± 0,5 km.

Réduction au Bouzard : M. Thiobane.
 Dessin : A. Faye.

- | | | | |
|----|----------------------|----|-------------|
| ○ | Etablissement humain | L | Linguère |
| D | Dagana | LO | Louga |
| DR | Dahra | S | Saint-Louis |
| K | Kébémér | T | Tatki |
| KE | Keur Momar Sarr | | |
| KK | Koki | | |



- | | | | |
|---|-----------------|---|----------------------------|
| ■ | espace agricole | ⋮ | nuages |
| □ | autre espace | ⋮ | secteur étudié en figure 5 |

Figure 12.

Espaces agraires le 10 Mars 1988

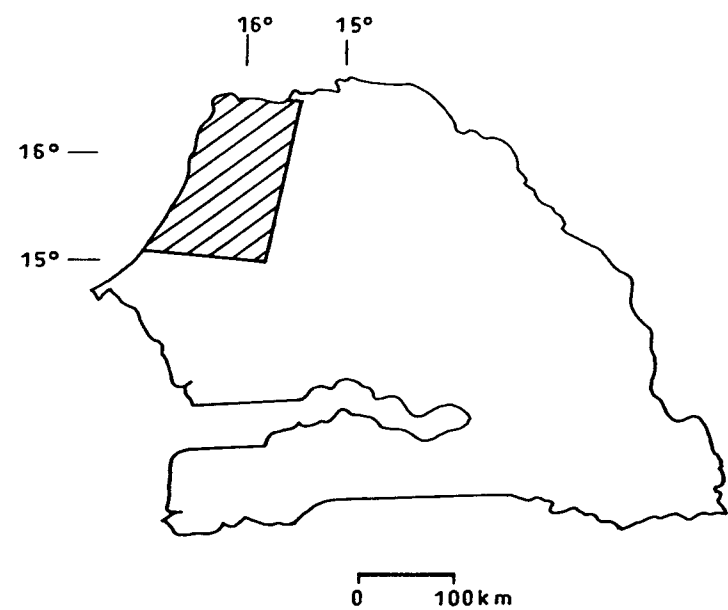
1988

Source : Landsat TM-4 ; 7, 5, 2 (composition colorée).

Photo-interprétation : L-A. Lake.

Réduction : P. J. Diouf.
Dessin : A. Faye.

- | | | | |
|----|----------------------|----|-------------|
| ○ | Etablissement humain | KK | Koki |
| D | Dagana | LO | Louga |
| K | Kébémér | S | Saint-Louis |
| KE | Keur Momar Sarr | | |



- espace agricole
- autre espace
- tracés d'incendies d'herbe

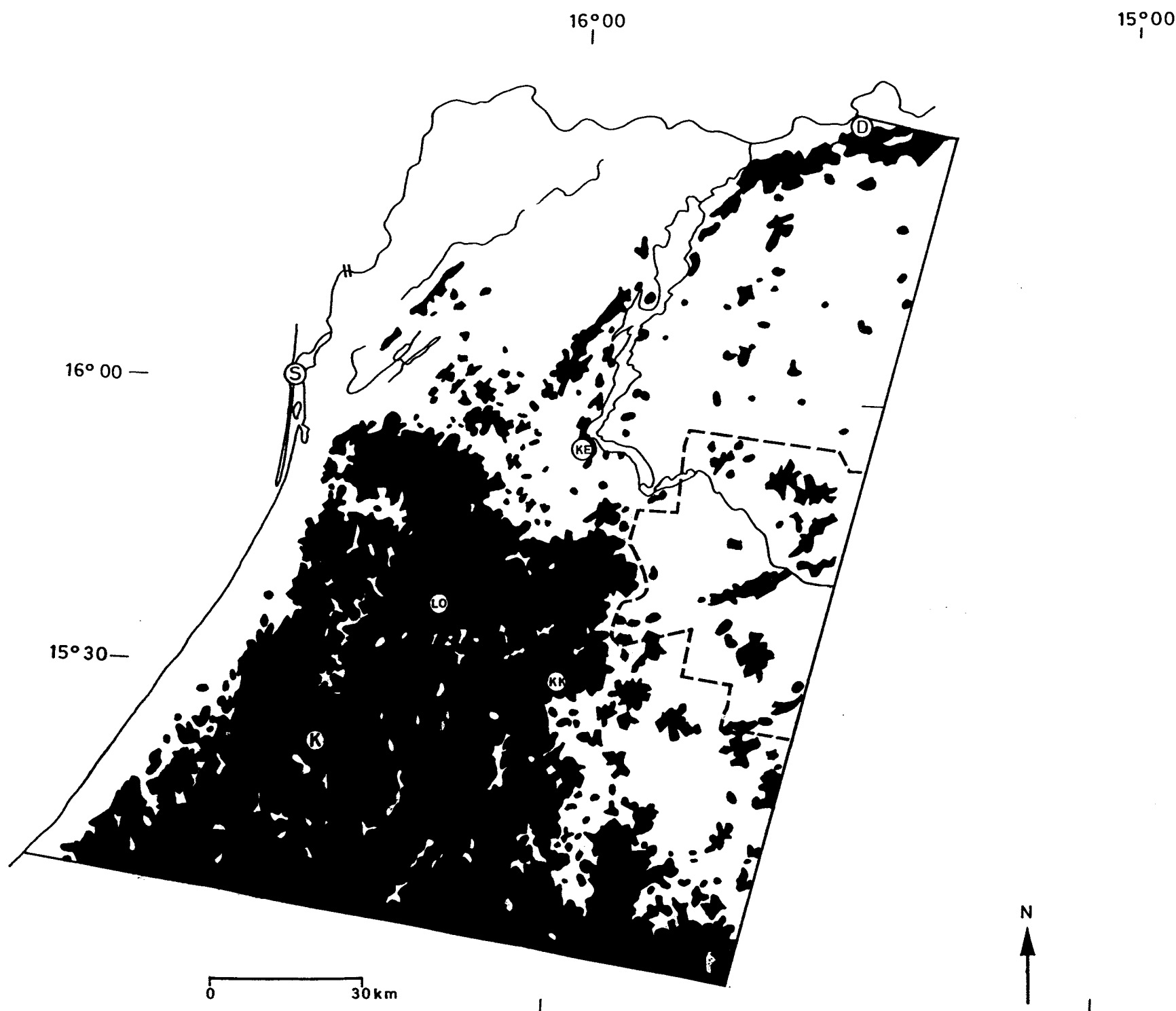


Figure 13.

Espaces agraires le 31 Octobre 1992

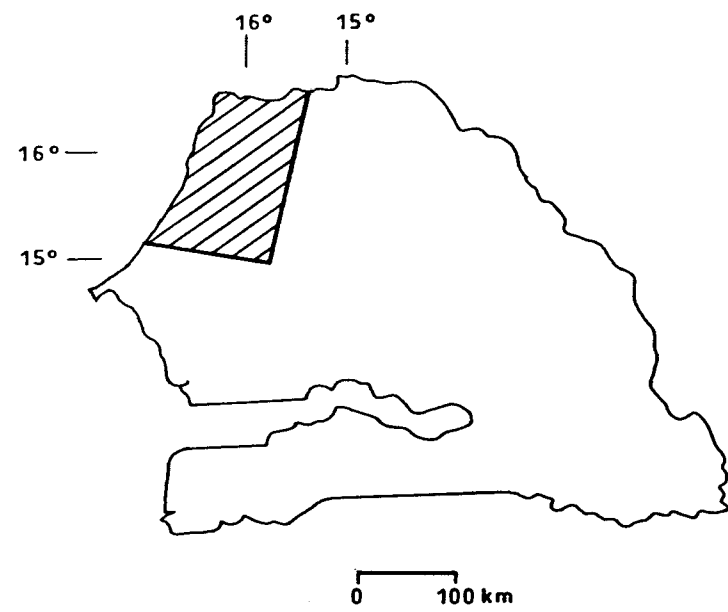
1992

Source : EOSAT TM4 ; 7, 5, 2 (composition colorée).

Photo-interprétation : L-A. Lake.

Réduction : M. Thiobane.
Dessin : A. Faye

- | | | | |
|----|----------------------|----|-------------|
| ○ | Etablissement humain | KK | Koki |
| D | Dagana | LO | Louga |
| K | Kébémér | S | Saint-Louis |
| KE | Keur Momar Sarr | | |



- espace agricole
- autre espace
- nuages

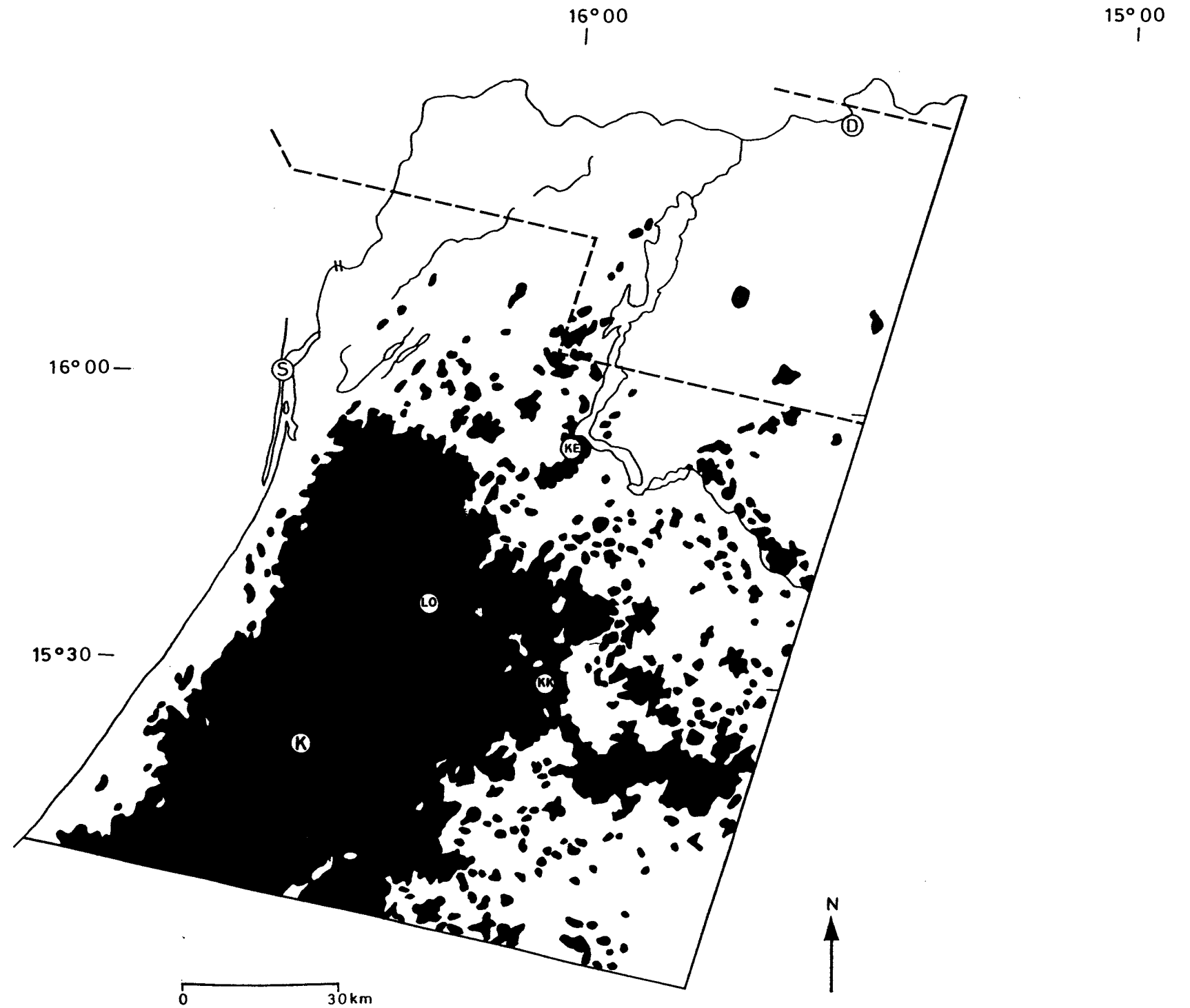


Figure 14.

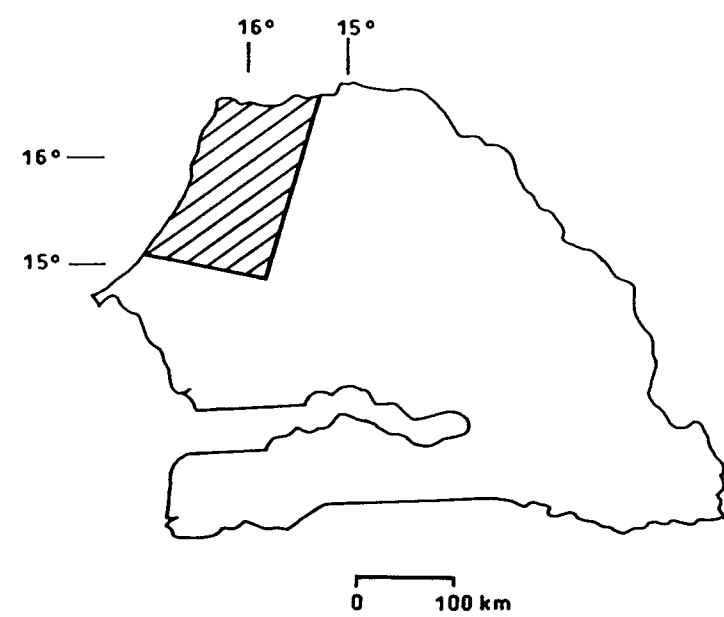
Espaces agraires le 09 Mai 1995

1995

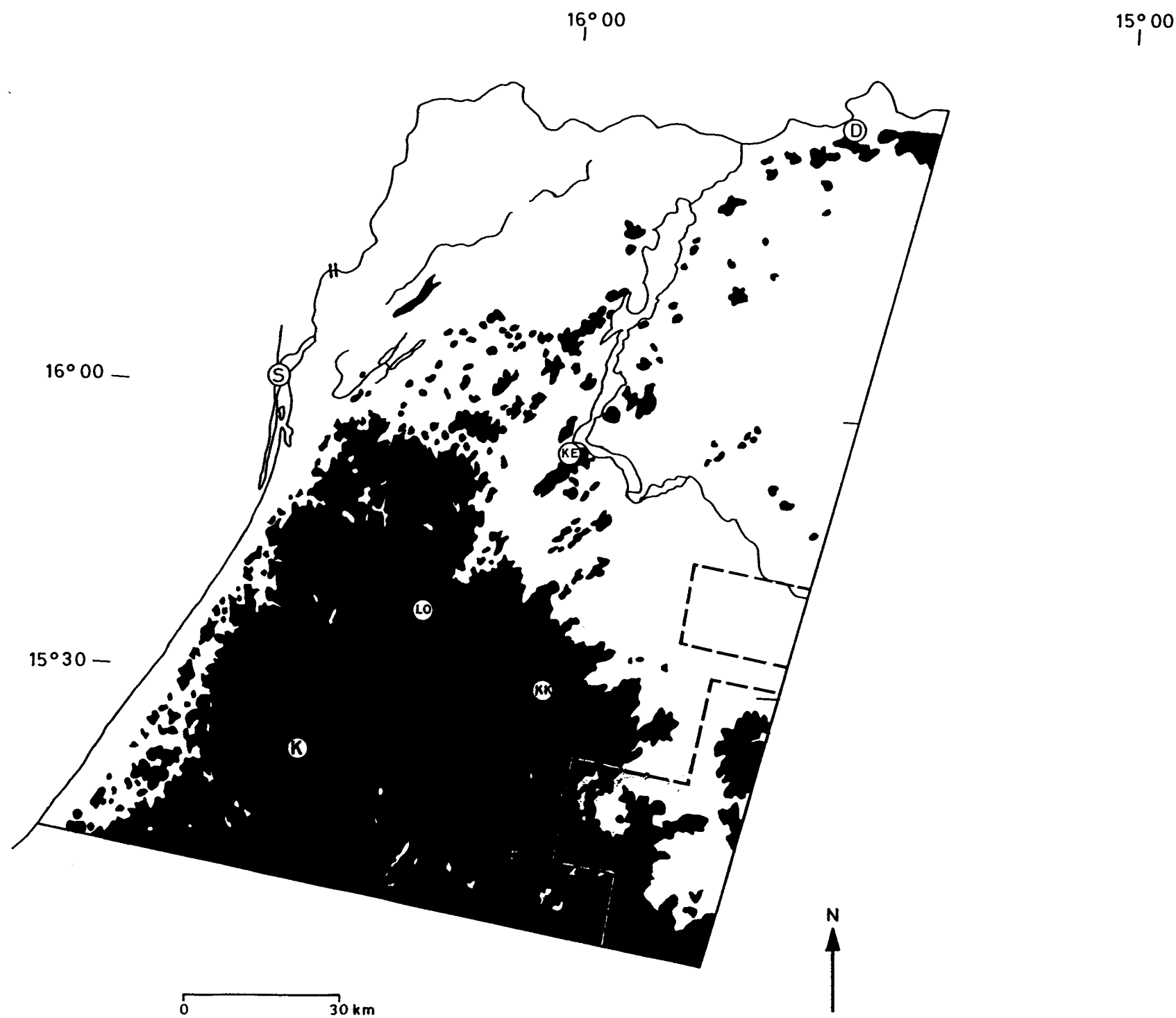
Source : Landsat 5 TM ; 2, 5, 7 (fausse couleur).

Photo-interprétation : L-A. Lake.
Réduction au Bouzard : M. Thiobane.
Dessin : A. Faye.

- Etablissement humain
- D Dagana
- K Kébémér
- KE Keur Momar Sarr
- KK Koki
- LO Louga
- S Saint-Louis



- espace agraire
- autre espace
- nuages



Modèle graphique et analyse diachronique des espaces ruraux

par

Louis-Albert Lake
Mame Demba Thiam

Introduction.

Le traitement de la question du temps en analyse spatiale et plus précisément en cartographie ou dans les SIG pose trois problèmes principaux. Il s'agit :

- de la nécessité de prendre en compte toutes les facettes de l'évolution, c'est-à-dire d'en percevoir et d'en analyser toute la substance; c'est un problème conceptuel;
- de choisir une méthode de travail compatible avec les critères de la rigueur scientifique et les contraintes de l'informatique; c'est le problème du modèle d'analyse ;
- de produire un discours et des résultats aisément compréhensibles par les bénéficiaires du travail ; c'est là une question de communication relevant d'un choix de modèle d'expression.

Les deux premières questions semblent aujourd'hui en bonne voie de résolution. Gail Langran en particulier (1993), synthétise plusieurs années de recherche sur ces problèmes et montre par exemple que grâce aux cartes diachroniques ("*space-time composite*", p. 41) il est possible de transcrire une évolution à la fois dans son mouvement vers la transformation et dans son effet, le changement.

Mais l'inconvénient des approches fondées sur la production directe de ce type de carte n'est pas négligeable. D'une part la carte diachronique, complexe, est peu lisible, et, d'autre part les procédures numériques qui lui sont associées semblent également complexes et lourdes. Cet inconvénient est directement lié au choix du modèle adopté qui, d'une manière générale, doit être rattaché à la sphère des modèles quantitatifs pour lesquels la carte elle-même doit se soumettre aux contraintes spécifiques des mathématiques ou de la statistique informatisée.

Or la complexité fondamentale des phénomènes livrés à l'analyse géographique remet en cause cette tendance. Non seulement la compétence des modèles quantitatifs souffre de limites certaines mais ils sont mêmes de plus en plus contestés au profit de modèles qualitatifs souvent mieux adaptés pour représenter simplement certains phénomènes complexes (voir, par exemples, le concept de "système non formalisable " de R. Duroure et C. Duroure, 1996, ou celui de "calcul symbolique" de F. Guarnieri et J-L. Wybo, 1996).

On propose de mieux résoudre le troisième problème, celui de la communication, grâce à un modèle qualitatif. Ce modèle exploite les complémentarités entre diagrammes et cartes, systématiquement démontrées par J. Bertin (1977).

L'évolution d'une unité spatiale est transcrite par une courbe d'évolution. Une collection de courbes transcrit complètement et laisse à voir aisément tous les aspects de l'évolution, contrairement à une collection de cartes d'évolution ou à une carte diachronique. Il suffit donc de cartographier le résultat de l'analyse des courbes pour obtenir des cartes d'évolution simples, allégées de toutes procédures algorithmiques antérieures. De telles cartes ne visualisent plus les seuls changements taxonomiques de l'espace mais leur forme et leur puissance. Elles ouvrent la voie à la cartographie cinétique.

Photographie (hors-texte) n° 2.
Champ de mil en bordure
du lac de Guiers, vers Ganket,
en septembre 1995. Noter l'état
de flétrissement des plants.
Cliché M. D. Thiam



Fig. 1 : EVOLUTION D'UNE ZONE D'ETUDE : CARTOGRAPHIE

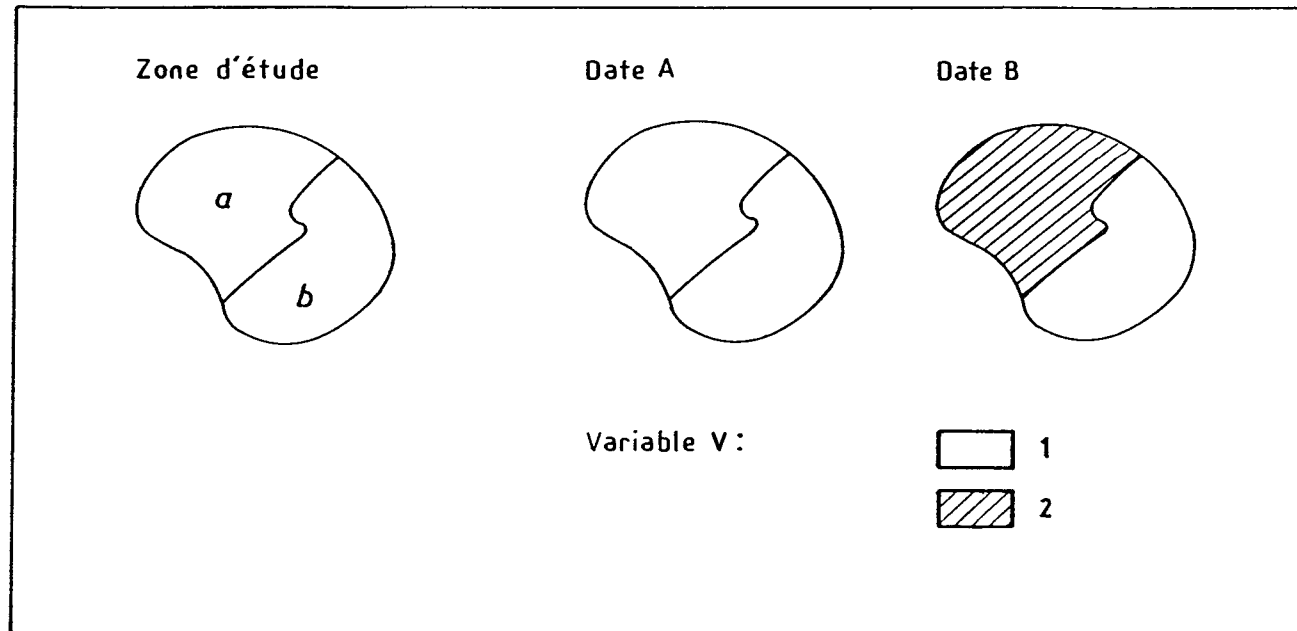


Fig. 2 : TABLEAU D'ANALYSE DIACHRONIQUE

		A	B
a	1	2	
b	1	1	

Evolutions:
de a = 1,2
de b = 1,1

1. Les composantes de l'évolution : états et dates.

Soit une zone d'étude dont les unités territoriales élémentaires sont a et b. On étudie l'évolution de ces unités aux dates A et B pour la variable V dont la longueur différentielle est de deux modalités, 1 et 2 (fig. 1). Entre les deux dates, a et b passent respectivement de la modalité 1 à la 2, et de la 1 à la 1 (fig. 1).

Outre la cartographie de ces données (en fig. 1), on peut également considérer le tableau qu'elles fondent (fig. 2) ainsi que les courbes qu'elles permettent de construire (fig. 3).

Si l'on s'en tient à l'observation de la seule évolution, le diagramme des courbes d'évolution apparaît comme la forme d'expression la plus efficace : on y voit instantanément qu'entre les dates A et B, l'aire a change d'état alors que la zone b reste inchangée (fig. 3).

On appelle **évolution** d'un territoire donné et pour un phénomène considéré l'ensemble des caractéristiques de pérennité ou de changement d'état des unités spatiales de ce territoire dans un intervalle de temps donné. L'analyse diachronique est l'étude systématique de ces caractéristiques dans un tableau des rangs d'état ou / et grâce à l'éventail de courbes de ces unités spatiales.

Toutefois l'information sur l'évolution apparaît plus riche si les données sont plus longues, en considérant par exemple trois dates A, B et C au lieu de deux, et trois états 1, 2 et 3 au lieu de deux (fig. 4). Si les zones connaissent globalement la même évolution (1 à la date A et 3 à la date B), il apparaît que l'évolution est brutale pour a, lente pour c et régulière pour b (fig. 4). Ces données et leurs courbes permettent donc de voir la forme et le rythme ou la puissance différentielles de l'évolution des trois unités spatiales.

2. Les unités diachroniques.

Le nombre et la qualité des combinaisons théoriques différentielles entre états et dates, qu'on appelle diachronies, dépendent donc de la longueur et des croisements de ces deux composantes de l'évolution (états et dates). On aurait ainsi :

- 2 états et 2 dates : $2^2 = 4$ diachronies,
- 3 états et 3 dates : $3^3 = 27$ diachronies,
- 3 états et 4 dates : $3^4 = 81$ diachronies,
- 4 états et 3 dates : $4^3 = 256$ diachronies,
- 5 états et 4 dates : $5^4 = 625$ diachronies.

En considérant que la combinaison 3^4 est déjà trop complexe (81 diachronies), on fait l'hypothèse que la combinaison 3^3 devrait suffire à mettre en évidence les formes élémentaires et les principaux ordres de puissance de l'évolution. Cela revient à considérer les 27 diachronies de la combinaison 3^3 comme des modèles simples appelés unités diachroniques (UD). Ces UD préfigurent le cadre descriptif général des structures diachroniques élémentaires dont les associations différentielles définissent l'Ensemble infini des évolutions.

Une unité diachronique est donc l'une des 27 structures élémentaires de l'évolution des unités spatiales d'un territoire dont la variable étudiée, de longueur 3, est définie par 3 états possibles à 3 dates données. Ces UD se définissent numériquement par l'indicatif ordinal de leur diachronie ; par exemple et successivement par (133), (123) et (113) pour les évolutions des espaces a, b et c en figure 4. Graphiquement elles se visualisent par leur courbe diachronique (fig. 4).

La liste complète des indicatifs diachroniques de la combinaison de dimension 3^3 s'obtient empiriquement en générant systématiquement chaque diachronie nouvelle de la modification ordinaire de la précédente en commençant par la (111). Cette liste est donnée en figure 5 ainsi que celle des courbes correspondantes.

Fig. 3 : COURBES D'EVOLUTION (2 Etats et 2 Dates)

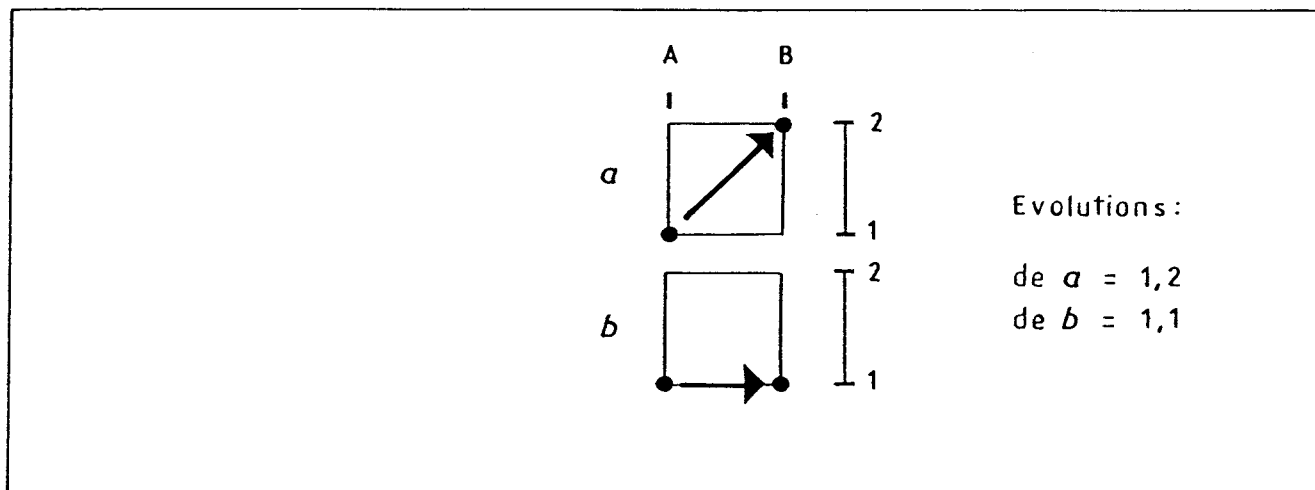


Fig. 4 : COURBES D'EVOLUTION (3 Etats, et 3 Dates)

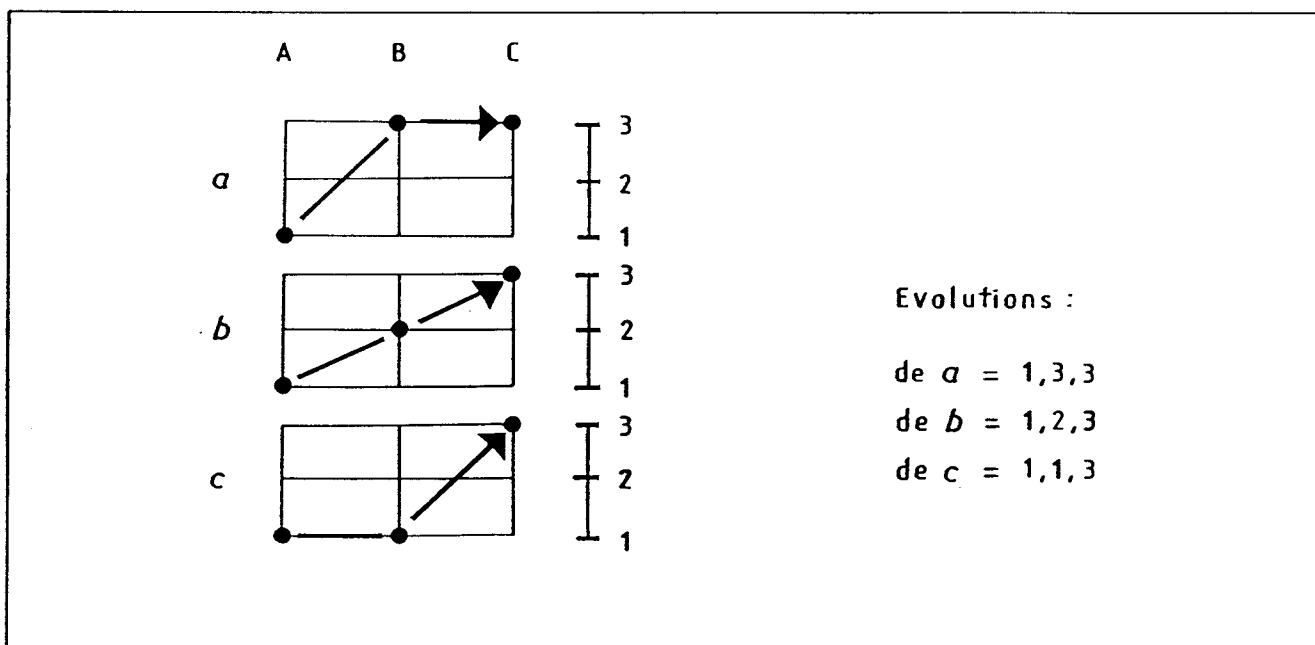
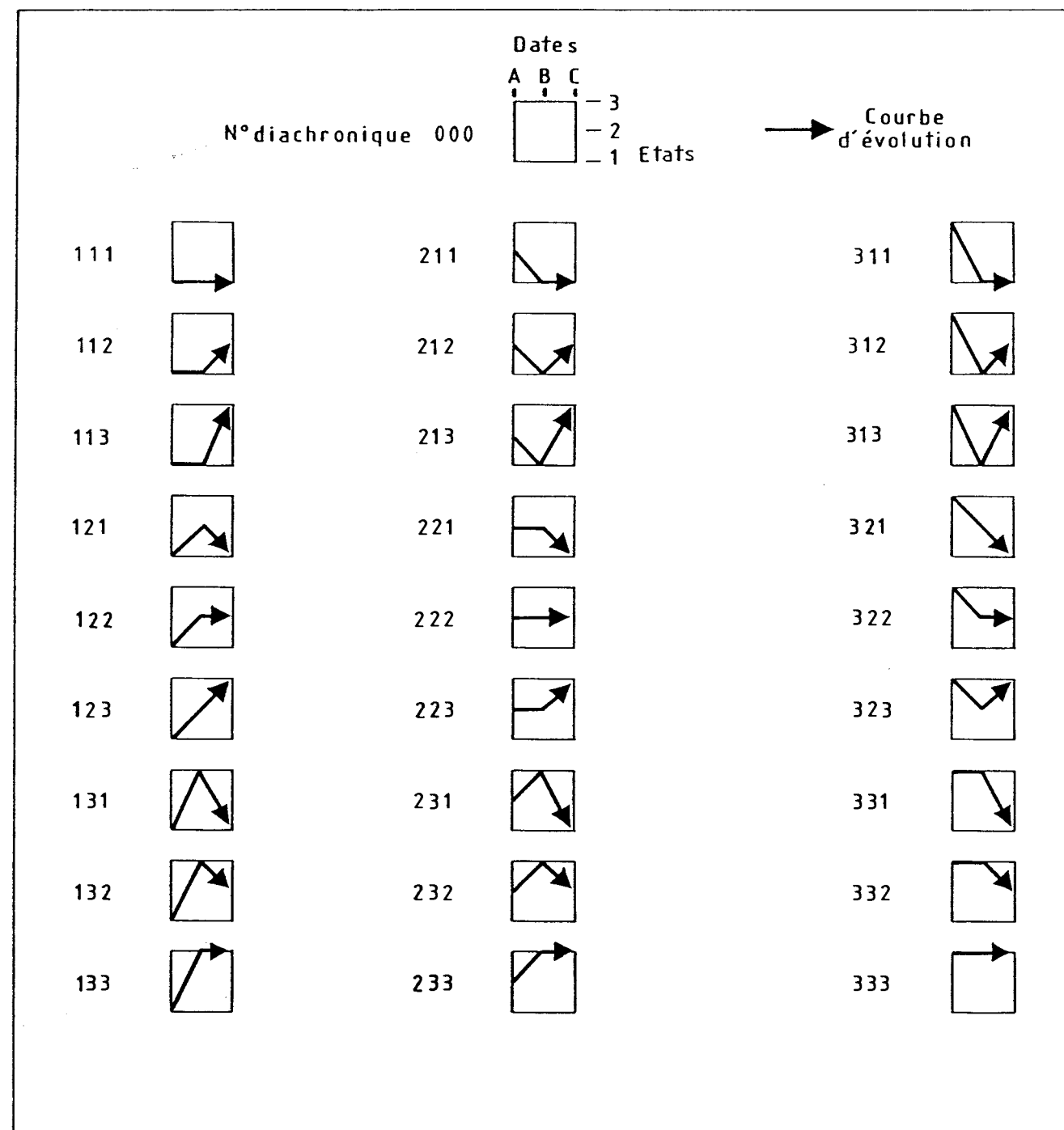


Fig. 5 : INDICATEURS ET COURBES DIACHRONIQUES DE LA COMBINAISON Etats - Dates DE DIMENSION 3^3 .



3. Classification des unités diachroniques.

Contrairement à ce qu'autoriserait la cartographie, l'éventail des courbes des unités diachroniques (UD) de la figure 5 permet :

- premièrement, de voir instantanément, globalement et en détail le spectre diachronique de 27 espaces,
- deuxièmement de comparer aisément et rigoureusement ces UD en fonction de leur niveau de différentialité,
- et donc, troisièmement, de les reclasser afin de les sérier et de les regrouper en quelques catégories sémantiques de l'évolution (fig.6).

Ces propriétés de traitement graphique de l'information constituent le point de séparation irréductible mais aussi le point de complémentarité essentiel entre diagrammes et courbes d'une part, et cartes et réseaux d'autre part (J. Bertin, 1977). C'est pour cette raison incontournable que les cartes d'évolution complexifient exagérément l'analyse diachronique là où les courbes la rendent évidente, ce qui doit donc permettre *in fine* de la cartographier avec simplicité et efficacité. Ce fait relève d'une évidence telle qu'il est même encore plus efficace de manipuler les données de départ, c'est-à-dire le tableau des indicateurs diachroniques que les cartes.

En figure 6 on a donc reclassé les 27 unités diachroniques en tenant compte à la fois :

- de la forme des changements d'état qu'elles signifient, c'est-à-dire de la *cinématique*, et
- de la puissance de ces changements ou *dynamique*.

Par ailleurs, le positionnement relatif des états en jeu dans une diachronie détermine 2 niveaux différents de la dynamique : celui de la puissance *stricto sensu*, qui concerne la force absolue des états ou de leurs associations différentielles (d'où les paliers de puissance nulle, faible, forte et brutale), et, d'autre part, celui du niveau *dominant* de cette puissance. Le niveau dominant nuance les formes discontinues de la cinématique en variantes convexe et concave tandis qu'il différencie les paliers nul et faible de la dynamique en sous-paliers de puissance basse, médiane et haute (fig.6).

En résumé la classification des unités diachroniques de la combinaison de dimension 3³ permet de mettre en évidence les deux principales variables de l'évolution des catégories spatiales d'un territoire donné :

- la cinématique des espaces, qui est positive, nulle ou négative, continue, discontinue ou compensée,
- la dynamique de ces espaces, que manifeste une puissance de changement nulle, forte ou brutale.

4. Conséquences pour l'analyse et la cartographie. Discussion.

L'intérêt du modèle ordinal graphique présenté jusqu'ici (indicateurs et courbes diachroniques) est de permettre l'identification et l'analyse de tous les aspects de l'évolution d'un territoire donné :

- en étant libéré de la contrainte cartographique qui complexifie lecture et analyse au-delà de 3 unités spatiales et de 2 dates ;
- en contournant la difficulté éventuelle de la longueur des données (*n* états et *N* dates par exemple) puisque ce modèle démontre que les diachronies sont objet de classification, de réduction et de typologies comme toute autre série de données ;
- en restant compatible avec les modèles déjà existant, notamment les modèles quantitatifs de description (équations, fractales, etc.);
- en laissant libre de revenir à tout moment à la cartographie puisque les références géographiques sont consubstantielles aux données diachroniques (chaque indicateur ou courbe qualifie une unité spatiale définie dans le plan topographique du territoire étudié).

Par ailleurs, la transcription de l'évolution par une construction matricielle pure telle qu'un éventail de courbes offre l'avantage de faciliter la représentation et l'établissement de courbes prospectives. En effet, la procédure de prédiction ou de simulation prospective s'appréhende ici et se met directement en place comme une courbe annexe ou complémentaire dont la pente est définie soit par la tendance, la forme ou la puissance de la courbe initiale, soit par une assistance exogène, soit par l'association de ces deux modes opératoires (fig. 7). La simplicité de ce principe d'extrapolation et son activation laisse deviner qu'ici les approches intuitives et visuelles, ordinale et qualitative, et algorithmique pourraient enfin se croiser dans un champ commun d'évidence conceptuelle et opératoire.

En dernière analyse le modèle proposé permet d'élargir le cadre euristique de la cartographie diachronique des espaces à ses instruments opératoires extracartographiques. Cela revient à rappeler l'évidence déjà formalisée par J. Bertin (1977) : en graphique les cartes les plus efficaces ne résultent pas nécessairement de traitements cartographiques mais surtout du traitement multivarié graphique (et / ou statistique) des données exploitées dans la construction matricielle du tableau à double entrée initial.

Dans le cas du modèle qualitatif d'analyse diachronique proposé dans la présente étude, le détour extracartographique suivi dans l'analyse des courbes aboutit à une nouvelle génération de cartes, celles des formes de cinématique et celles des types de dynamique.

A partir du tableau à double entrée initial on pourrait donc compléter la panoplie des procédures et des outils les plus simples dont dispose la cartographie diachronique des espaces géographiques en y ajoutant les traitements qualitatifs générant les cartes de la cinématique des espaces, de leur dynamique et de leur évolution prospective.

5. Application au Nord-Ouest du Sénégal : l'exemple de Keur Momar Sarr.

On traite ici l'information diachronique de l'étude de M. D. Thiam *et al.* (1996) sur l'évolution des paysages dans les environs de Keur Momar Sarr.

Parmi les cartes du SIG multitemporel que ces auteurs proposent on retient les cartes d'occupation du sol des années 1954, 1978, 1980 et 1994. Ces cartes différencient l'espace rural dans un périmètre d'environ 6 x 8 km selon trois paysages dominants : eau, espace culturel et domaine pastoral. Cette information taxonomique et multitemporelle est extraite de photographies aériennes (1954, 78, et 80) et de l'image multispectrale Spot du 28 Octobre 1994 (M.D.Thiam *et al.*, 1996).

Pour la présente application, le même secteur a été conservé légèrement réduit par nécessité de détermination d'un cadre-limite commun aux quatre cartes. Une grille de lecture a été surimposée à ce cadre. Elle définit ainsi 45 quadrants de 1 x 1 km sauf en bordure du cadre (fig. 8). Ce maillage de la zone d'étude en unités spatiales normalisées présente plusieurs avantages, géométrique, opératoire et taxonomique.

- Au plan géométrique il rend négligeable l'effet des distorsions photographiques qui sont à l'origine d'une médiocre congruence des cartes dans le détail (l'image Spot utilisée est rectifiée, mais les photographies aériennes ne sont pas redressées).
- Au niveau opératoire, les quadrants sont plus simples à analyser et à comparer que les néo-zones complexes qu'on aurait générées par le recoupement et la superposition des zonages initiaux. Cette évidence concerne tant l'approche visuelle que la procédure informatisée, le cadre des quadrants pouvant être exploité à l'aide du même principe référentiel que celui d'une matrice de pixels (raster). Enfin, eu égard à ce principe, on pourrait aussi utiliser la grille du découpage administratif à la place des quadrants. Il suffirait alors d'y assortir un dispositif de pondération afin de rendre les unités administratives comparables en terme de superficie (en subdivisant les plus grandes en deux ou trois unités).

Fig.6 : CLASSIFICATION DES UNITES DIACHRONIQUES

DYNAMIQUE CINÉMATIQUE		NULLE	FAIBLE		FORTE	BRUTALE
			basse	haute		
POSITIVE	CONTINUE				123	
	DISCONTINUE convexe	122	233			133
	concave	112	223			113
	COMPENSEE					132 231 121 232
NULLE	haute	333				
	médiane	222				
	basse	111				
NEGATIVE	CONTINUE				321	
	DISCONTINUE concave	211	322			311
	convexe	221	332			331
	COMPENSEE					312 213 212 323 313

Fig.7 : ACTIVATION PREDICTIVE DE DIACHRONIE

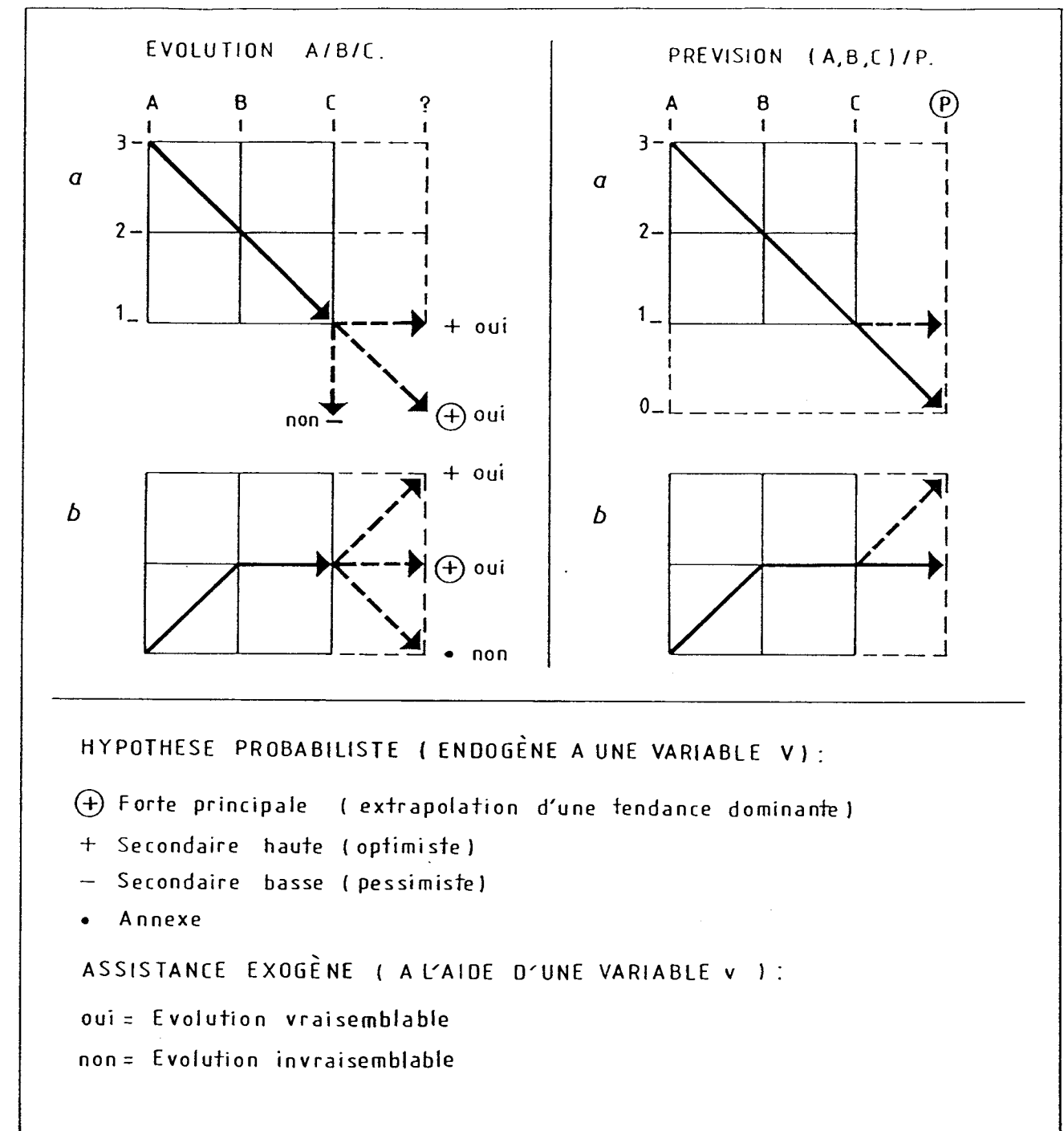
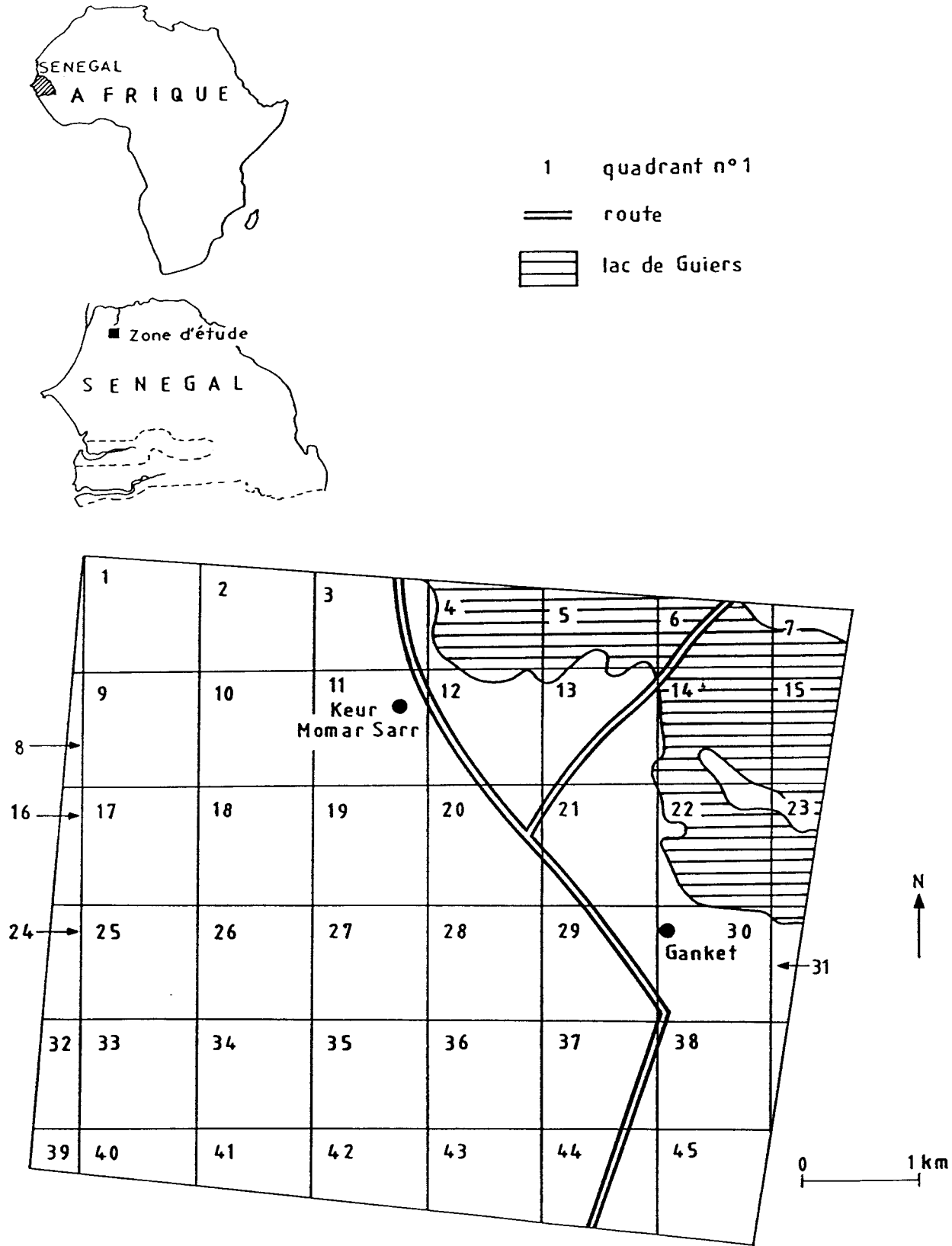
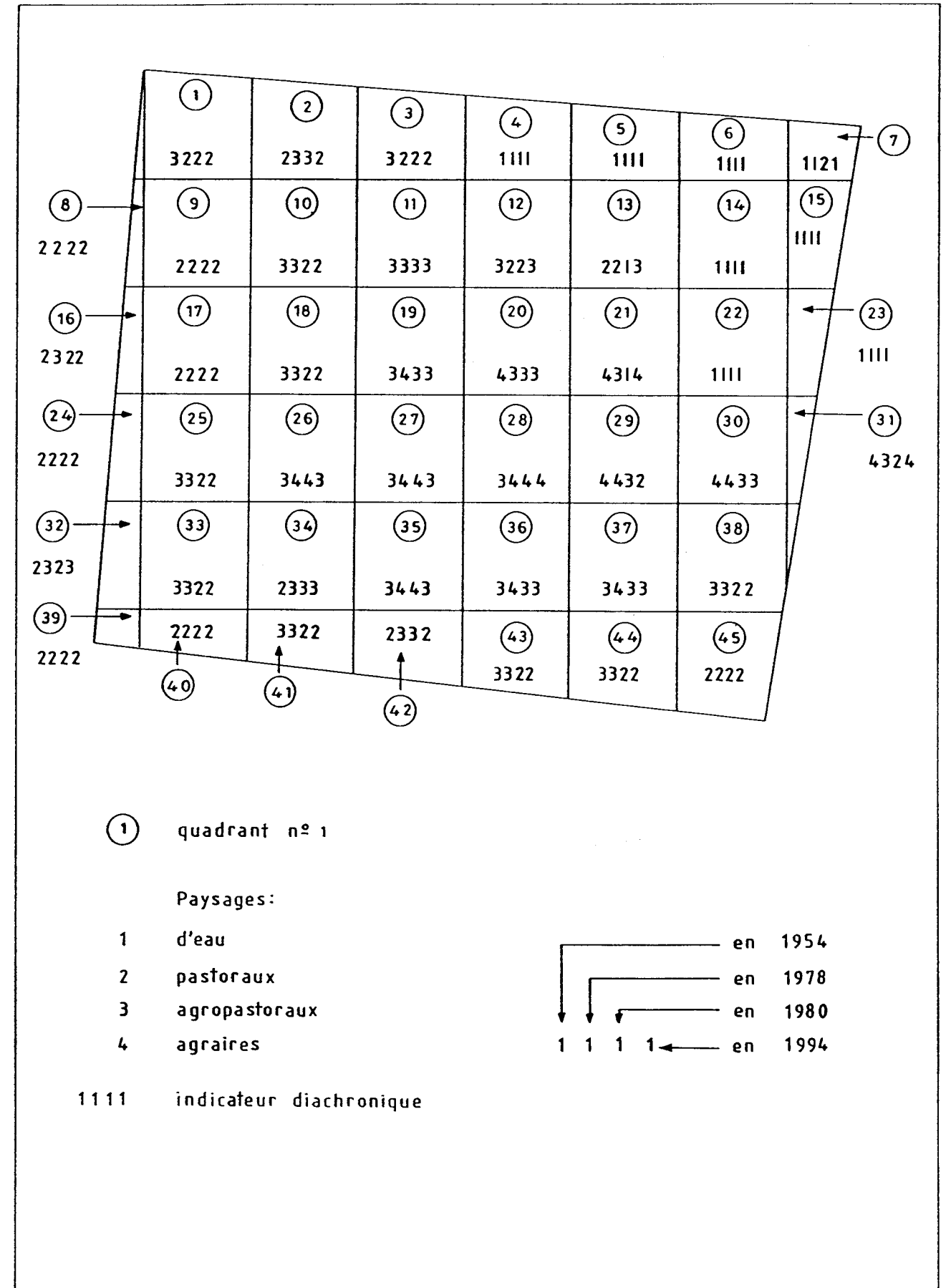


Fig. 8 : ZONE D'ETUDE ET QUADRILLAGE DE LECTURE DES CARTES



Source : M.D. Thiam *et al.*, 1996.

Fig. 9 : LECTURE DIACHRONIQUE DES CARTES.



- Au plan taxonomique le quadrillage permet une lecture plus nuancée des cartes et celle-ci fonde un taxon "espaces agropastoraux", intermédiaire entre "agraire" et "pastoral". Ce taxon correspond bien en effet, dans la réalité, à l'ubiquité de la zone de contact entre agriculture et élevage dans cette partie du Sahel sénégalais.

Les quatre cartes de M.D.Thiam *et al.* sont analysées à l'aide du dispositif décrit jusqu'ici. Il en résulte un ensemble de quadrants renseignés grâce aux indicateurs diachroniques correspondants (fig. 9).

L'exploitation de cette analyse diachronique donne les résultats présentés ci-après en deux séries :

- la cartographie traditionnelle, qui met l'accent sur la cinématique des paysages, et
- l'application du modèle graphique proposé, dont la cartographie fait davantage ressortir la dynamique de transformation de ces paysages.

La carte d'évolution de la figure 10 résulte de la simple visualisation des indicateurs diachroniques. L'efficacité illustrative de cette carte est renforcée par le quadrillage qui facilite les comparaisons. Mais cette pertinence visuelle n'induit pas directement d'autres modes d'analyse permettant d'approfondir le simple constat des transformations taxonomiques de l'espace rural. On y arrive mieux en dissociant complètement les composantes de l'information notamment celles de la taxonomie. En figure 11, celle-ci est ventilée sur trois colonnes tandis que le temps mobilise les lignes.

Pour analyser plus en détail la cinématique des taxons, les classes diachroniques sont individualisées, au nombre de 20, en figure 12. La visualisation de ce tableau livre, en figure 13, une image synoptique (à la fois analytique et globale) de ces classes d'évolution. Il reste toutefois difficile d'en tirer une interprétation synthétique. La procédure la plus simple consiste à caractériser les évolutions en trois mouvements :

- la situation en 1954,
- la situation en 1994, et
- le sens des transformations enregistrées dans l'intervalle médian (1978-1980).

Il en résulte 8 types d'évolution qu'il est possible de cartographier (fig. 13).

Le fichier - image des classes de quadrants (fig. 13) livre sans doute l'image la plus lisible qu'il soit possible de concevoir pour visualiser en détail la cinématique taxonomique. Par contre elle reste trop implicite sur la dynamique, c'est-à-dire sur les modalités de vitesse et de puissance de cette cinématique.

Afin de mieux précevoir la dynamique des transformations paysagiques, les quadrants de la zone d'étude sont dé-spatialisés et transformés en diagrammes. En abscisse est transcrit le temps (4 dates) et en ordonnée les rangs d'état du paysage, de 1 à 4 pour eau, pastoral, agropastoral et agraire (fig. 14).

L'éventail de courbes de la figure 14 (équivalent, dans son principe de construction matricielle, du fichier - image de la figure 13) permet de voir les diverses formes de transformation des paysages. Ces formes se résument aux 20 types d'évolution présentés plus haut mais qu'il est cette fois-ci possible de classer simultanément des points de vue taxonomique et morphodiachronique. Cette classification, en figure 15, permet une analyse systématique, détaillée et globale, de la dynamique des changements taxonomiques. On y voit par exemple que les espaces pastoraux sont les plus stables (23% de l'effectif des quadrants à évolution nulle ou compensée) et les espaces agraires les plus instables avec les dynamiques les plus fortes (2 à 3 rangs d'écart pour l'évolution des quadrants - types 31, 21 et 29 qui, il est vrai, ne représentent que 6% des quadrants).

L'espace agraire apparaît ainsi comme un paysage "accidentel" et intermittent dans l'immensité et la continuité d'un espace fondamentalement pastoral.

Fig. 10 : EVOLUTION DES PAYSAGES DE 1954 à 1994.

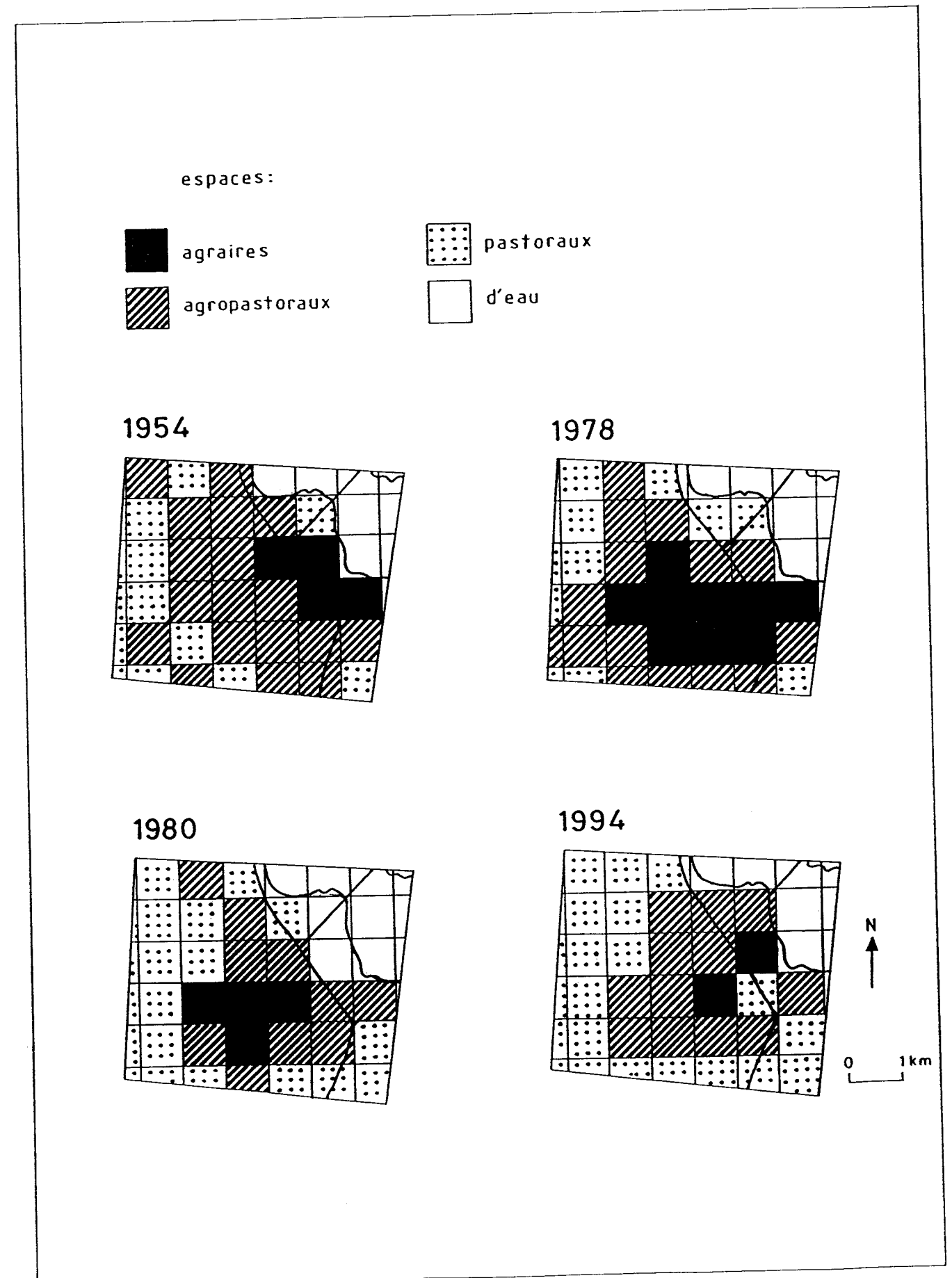


Fig. 11 : EVOLUTION TAXONOMIQUE DE 1954 à 1994.

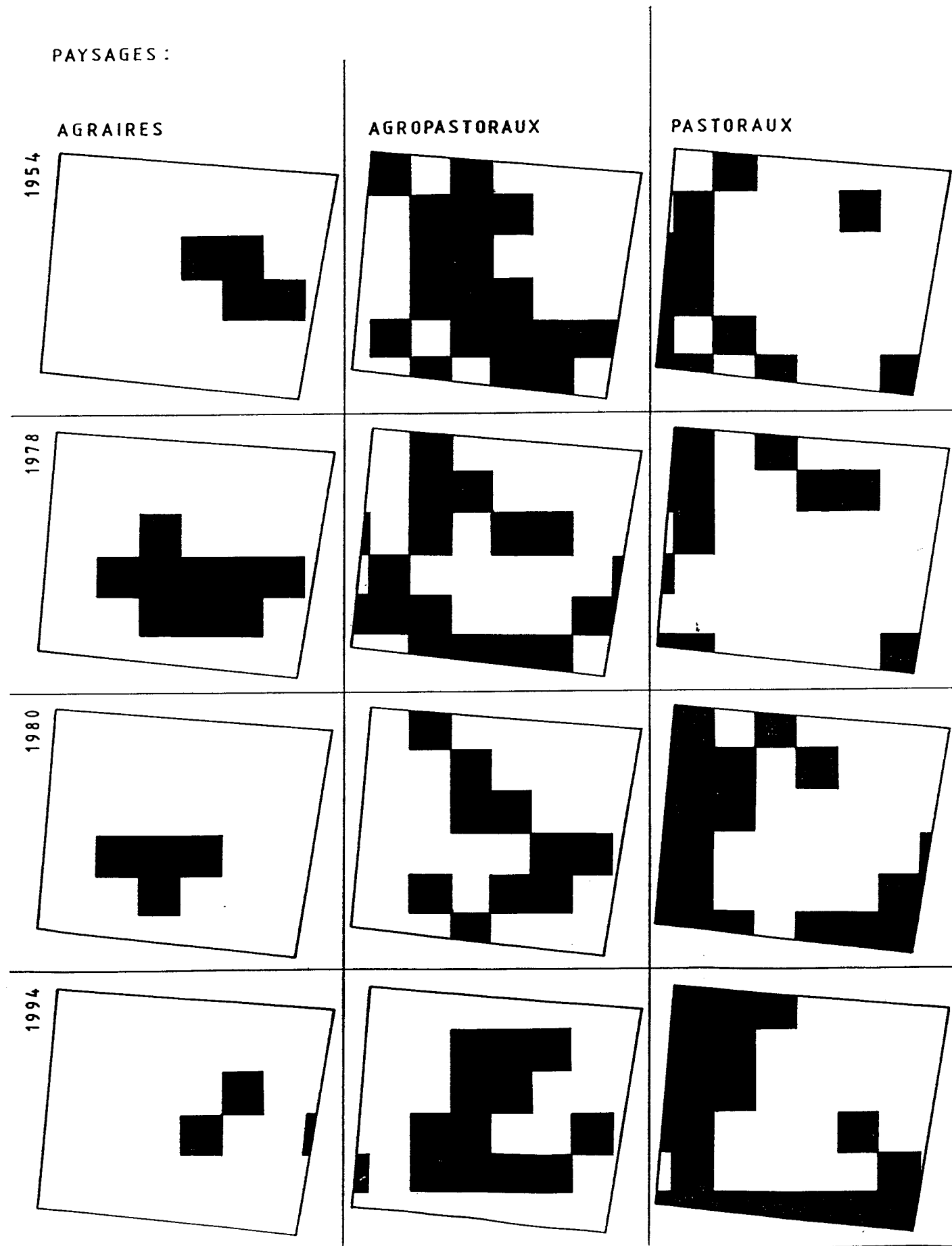


Fig. 12 : Analyse diachronique des classes de quadrants taxonomiques.

N°	%	1954	1978	1980	1994	
31	2	agrarie	agropastoral	pastoral	agrarie	1
21	2	agrarie	agropastoral	d'eau	agrarie	2
30	2	agrarie	agropastoral	agropastoral	agropastoral	3
20	2	agrarie	agropastoral	agropastoral	agropastoral	4
29	2	agrarie	agrarie	agropastoral	pastoral	5
28	2	agropastoral	agrarie	agrarie	agrarie	6
26	7	agropastoral	agrarie	agrarie	agropastoral	7
19	7	agropastoral	agrarie	agropastoral	agropastoral	8
11	2	agropastoral	agropastoral	agropastoral	agropastoral	9
12	2	agropastoral	pastoral	pastoral	agropastoral	10
10	18	agropastoral	agropastoral	pastoral	pastoral	11
1	5	agropastoral	pastoral	pastoral	pastoral	12
34	2	pastoral	agropastoral	agropastoral	agropastoral	13
13	2	pastoral	pastoral	d'eau	agropastoral	14
32	2	pastoral	agropastoral	pastoral	agropastoral	15
2	5	pastoral	agropastoral	agropastoral	pastoral	16
16	2	pastoral	agropastoral	pastoral	pastoral	17
8	16	pastoral	pastoral	pastoral	pastoral	18
4	16	d'eau	d'eau	d'eau	d'eau	19
7	2	d'eau	d'eau	pastoral	d'eau	20

N° : numéro de quadrant
 % : pourcentage de l'effectif des quadrants (45 au total)

Photographie (hors-texte) n° 3.
 Paysage d'eau de part et d'autre
 du pont-digue de Keur Momar
 Sarr, en ré-aménagement
 en septembre 1995.
 Cliché M. D. Thiam



Fig. 13: TYPES D'ÉVOLUTION DES PAYSAGES

A. Typologie des évolutions

Paysages
 ■ agraires
 ▨ agropastoraux
 ▤ pastoraux
 □ d'eau

% : Pourcentage de l'effectif des quadrants

N°31: Quadrant-type n°31

	N°	1954	1978	1980	1994		%	
Espaces agraires 10 %	31	■	▨	▤	■	reconstitués	4	▲
	21	■	▨	□	■	démantelés et agropastoralisés	4	△
	30	■	■	▨	▨			
	20	■	▨	▨	▨	désintégrés	2	△
	29	■	■	▨	□			
Zones agropastorales 43 %	28	▨	■	■	□	agraires puis ennoyées	2	○
	26	▨	■	■	▨	pérennes	16	◐
	19	▨	■	▨	▨			
	11	▨	▨	▨	▨			
	12	▨	▤	▤	▨	reconstituées	2	◑
	10	▨	▨	▤	▤	démantelées	23	◒
1	▨	▤	▤	▤				
Domaine pastoral 29 %	34	▤	▨	▨	▨	agraire	6	▤
	13	▤	▤	▤	▨			
	32	▤	▨	▤	▨	pérenne	23	▤
	2	▤	▨	▨	▤			
	16	▤	▨	▤	▤			
8	▤	▤	▤	▤				
Eau 18 %	4	□	□	□	□	eau	18	□
	7	□	□	▤	▤			

100%

100%

B. Evolution des espaces de 1954 à 1994

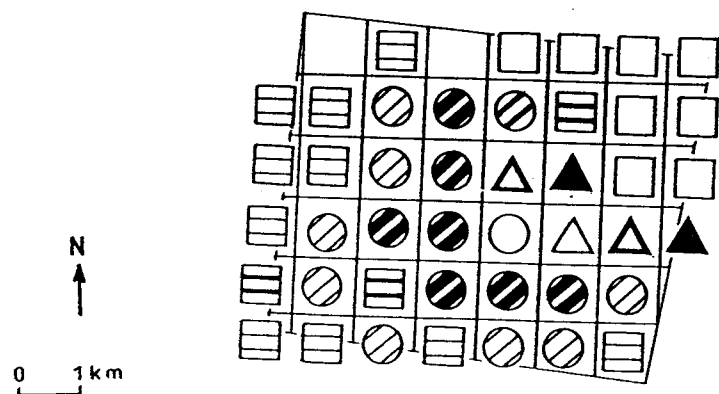
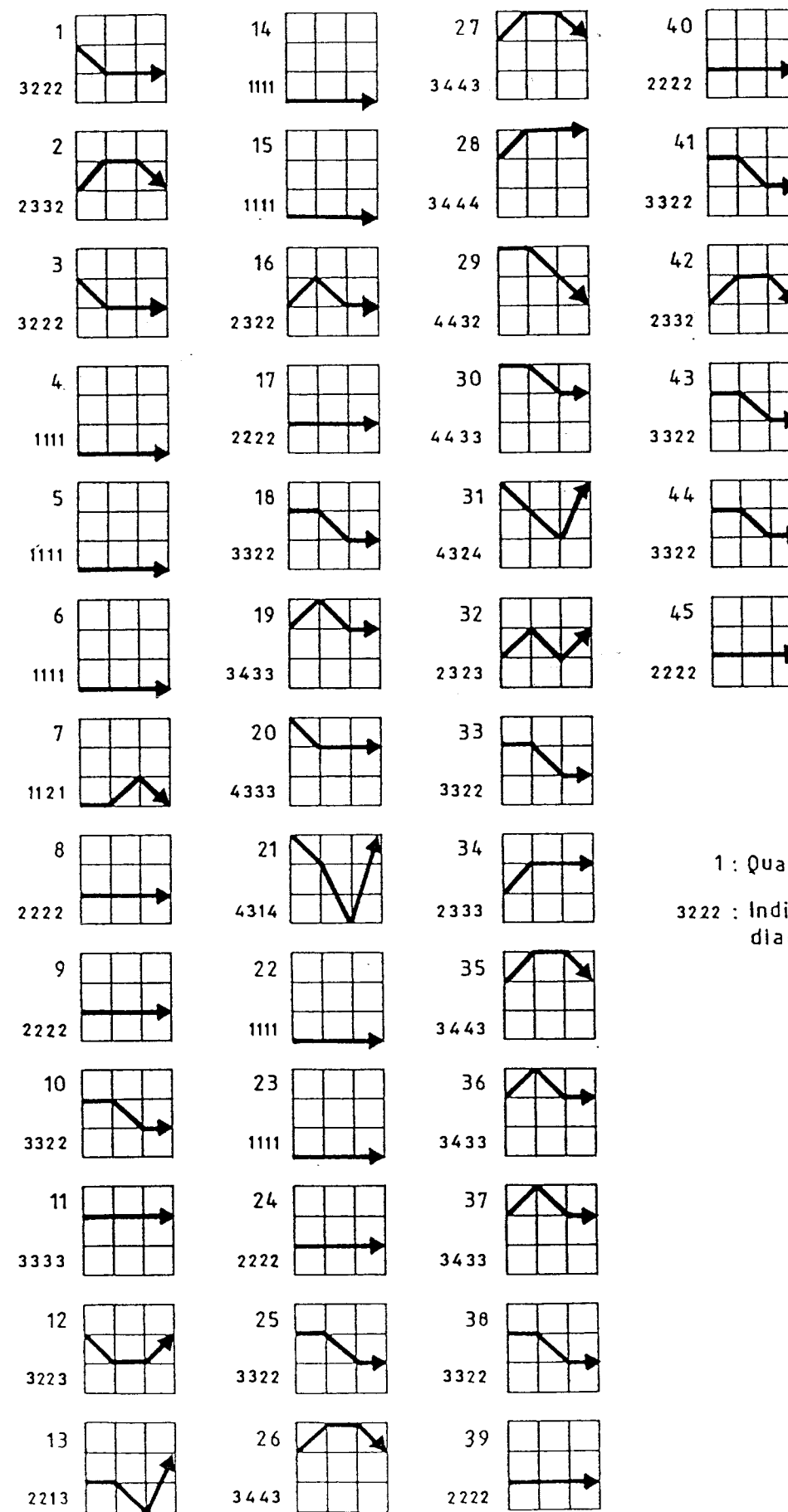


Fig. 14: COURBES D'ÉVOLUTION ET INDICATEURS DIACHRONIQUES



1 : Quadrant n°1
 3222 : Indicateur diachronique

L'exploitation cartographique et cinématique de la classification confirme cette analyse, lisible en figure 16. L'imagerie "espaces agraires" montre la désintégration des espaces agraires de 1954 tandis que les deux autres imageries prouvent que les espaces agropastoraux, entre 1954 et 1994, ont été assimilés au domaine pastoral.

La carte de la dynamique, en figure 17, confirme ces informations : 69 % des quadrants connaissent une évolution nulle ou négative (sens négatif = de l'état agraire vers l'état pastoral) dont 29 % représentent une évolution discontinue et de sens négatif, le plus soutenu dans la période considérée. L'image de la carte situe ces espaces de désintégration d'une part, entre la route et le lac, et, d'autre part, à l'Ouest de la zone d'étude (fig. 17).

Conclusion.

Dans la lignée des nouveaux modèles de type qualitatif, qui semblent plus souples pour le traitement des systèmes complexes, l'étude propose un modèle graphique et ordinal exploitant les complémentarités sémiologiques entre diagrammes et cartes.

Ce modèle a permis d'approfondir l'analyse et la visualisation de la cinématique comme de la dynamique d'espaces ruraux entre 1954 et 1994.

Il reste à rendre ce modèle compatible avec les procédures informatisables. Cela devrait se faire aisément puisque toutes les procédures proposées se fondent exclusivement sur de simples opérations analogiques et des différenciations ordinales.

Références bibliographiques.

Bertin J. (1977). La graphique et le traitement graphique de l'information. Paris, Flammarion, 277 p.

Duroure R., Duroure C. (1996). "Schémas, pré-modèles linguistiques et modèles formels". In *Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement, Actes des journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés, Session A*, Paris, CNRS, 49-55.

Garnieré F., Wybo J-L. (1996). "Systèmes de modèles dans les systèmes à base de connaissances. Application aux questions de l'environnement". In *Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement, Actes des journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés, Session A*, Paris, CNRS, 134-139.

Langran G. (1993). Time in Geographic Information Systems. London ; Washington DC, Taylor & Francis, 189 p.

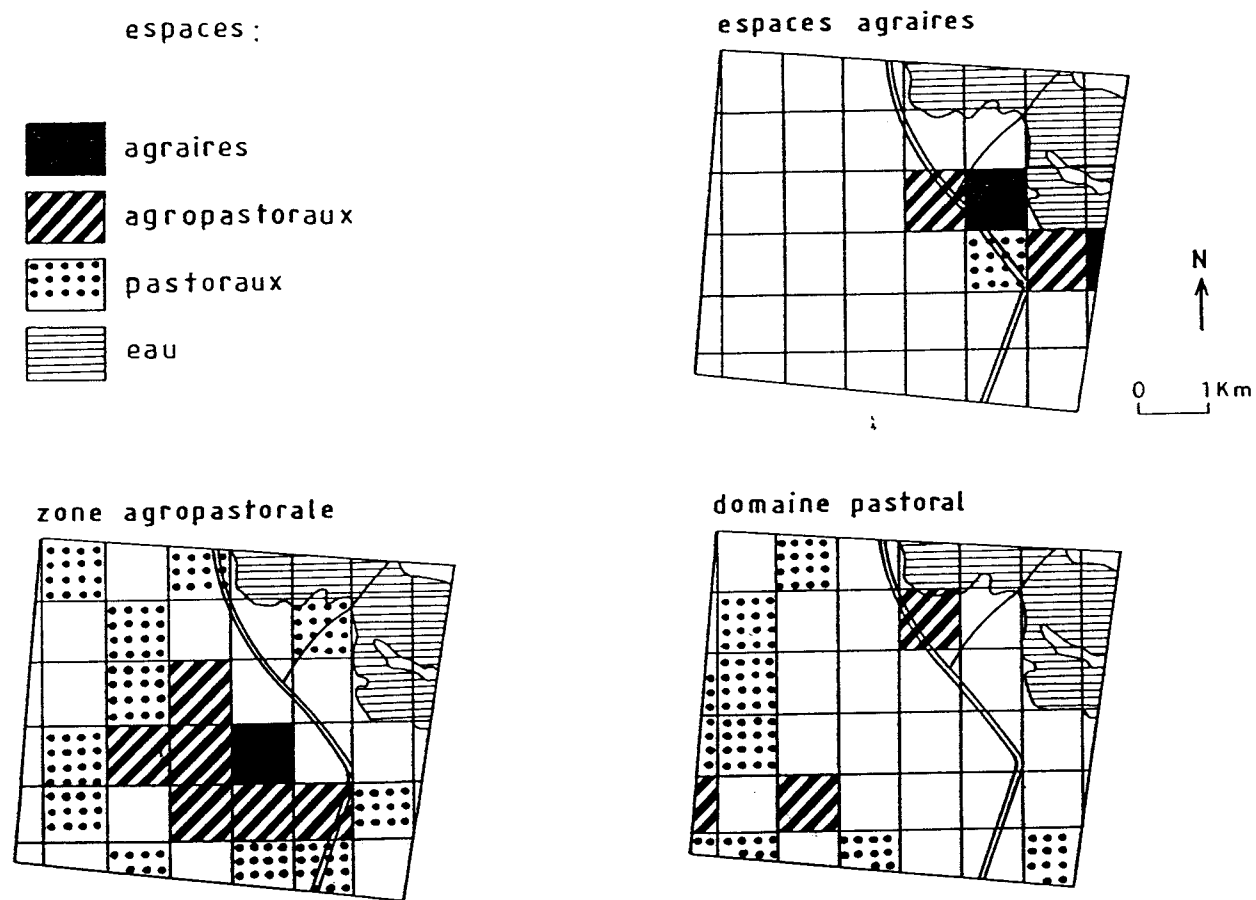
Thiam M.D., Lake L-A., Tousignant M-J., Thiobane M. (1996). « Evolution des paysages sahéliens depuis les années 50. Exemple des environs de Keur Momar Sarr (Sénégal) ». In *Rapport technique à 2 ans, Equipe Ecossen*, Dakar, IFAN, 96-104.

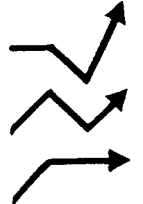

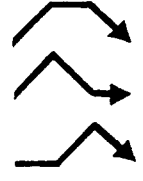




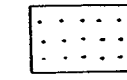
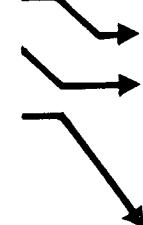
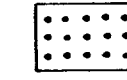
Fig. 15 : CLASSIFICATION DES TYPES D'ÉVOLUTION.

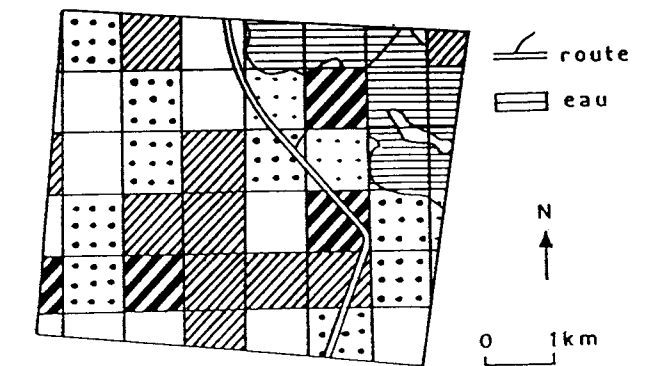
PAYSAGES EN 1954	EVOLUTIONS					%	PAYSAGES EN 1994
	POSITIVE		NULLE	NEGATIVE			
	discontinue	compensée		compensée	discontinue		
agraires						4	agraires
						4	agro-pastoraux
						2	pastoraux
agro-pastoraux						2	agraires
		 				18	agro-pastoraux
						23	pastoraux
pastoraux	 					6	agro-pastoraux
		 				23	pastoraux
						18	d'eau
%	8	23	34	6	29	100	

Fig. 17 : DYNAMIQUE DES ESPACES RURAUX ENTRE 1954 ET 1994

Fig. 16 : CINEMATIQUE DES ESPACES RURAUX ENTRE 1954 et 1994



		évolutions (effectif des quadrants en %)	
31%		positives discontinues (8%)	
		positives compensées (23%)	
34%		nulles (34%)	
35%		négatives compensées (6%)	
		négatives discontinues (29%)	
(100%)		(100%)	



Contribution à Modèle graphique

par
Papa Jean Diouf

1. Les unités diachroniques.

Le modèle graphique proposé plus haut par L-A. Lake et M. D. Thiam est, en principe, le produit d'un traitement numérique basé sur la logique. Cependant, pour une meilleure compréhension du concept « Unité Diachronique », nous proposons de modifier le paragraphe 2 de la manière suivante.

Le nombre et la qualité des combinaisons théoriques différentielles entre états et dates, qu'on appelle diachronies, dépendent donc de la longueur et des croisements de ces deux composantes de l'évolution (états et dates). Plus explicitement, chaque unité correspond à une séquence de trois chiffres. Ainsi le nombre de séquences possibles équivaudrait, si l'on se fie aux principes de l'analyse combinatoire (B. Scherrer, 1984), au nombre d'arrangements possibles (avec répétition) des éléments : 1, 2 et 3 en trois catégories distinctes. Ce que l'on obtient par la formule suivante :

$$\alpha_n^n = n^n = \alpha_3^3 = 3^3 = 27$$

On aurait ainsi pour 2 états et 2 dates: $2^2 = 4$ diachronies... En considérant que le nombre de séquences ou arrangements 3^4 est déjà très complexe, on fait l'hypothèse (...). Ces UD se définissent numériquement par les séquences de valeurs des trois états possibles aux trois dates. Empiriquement, on peut obtenir la liste exhaustive des indicateurs diachroniques, sachant que les chiffres 1, 2 et 3 occupent, respectivement, 9 fois le premier rang, 9 fois le deuxième rang et 9 fois le troisième rang au niveau de l'ensemble des 27 séquences possibles.

2. Autres remarques.

2.1. Résumé, 11^e ligne. Nous pensons qu'il faut préciser le concept d'évolution par rapport à un certain nombre de variables.

2.2. Figure 3 : Courbes d'évolution (2 états 2 dates). Cette figure est un peu condensée et risque de poser des problèmes de lecture et de compréhension. Ce qui nous amène à proposer les aménagements suivants : les états de l'évolution et le temps peuvent bien avoir une origine commune 0 (voir figures 1 et 2 ci-contre).

2.3. Figure 6 : Classification des unités diachroniques. Nous aurions mis « stationnaire » ou « monotone » à la place de « nulle » de la colonne « cinématique » et « régression » ou « décroissance » à la place de « négative ».

2.4 Figure 13 : Types d'évolution des paysages. Au n° 20, nous aimerions remplacer « désintégrés » par « pastoralisés ».

Référence.

Scherrer Bruno, 1984. Biostatistique. Québec, Gaëtan Morin Editeur, index, 850p.

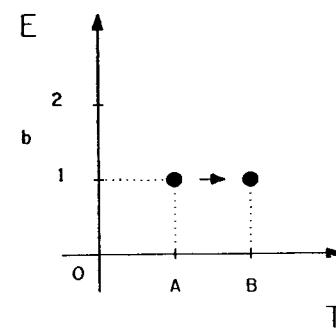
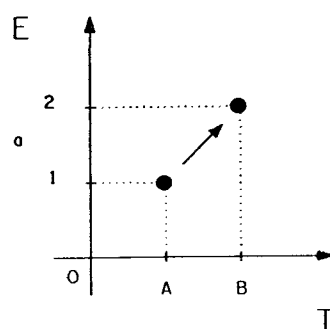


Photo-interprétation d'image Spot et classification d'unités de paysage Exemple pour les environs de Keur Momar Sarr (Sénégal)

par

Sidy Thiam⁽¹⁾

Introduction.

L'analyse visuelle des images satellitaires constitue en règle générale, lors des études par télédétection, la première approche des données analogiques. Elle permet à la fois de visualiser et de spatialiser celles-ci, c'est-à-dire d'observer la façon dont s'organisent les unités de paysage. Elle représente aussi, bien souvent, l'occasion de cerner ou de déterminer certains phénomènes et aspects du milieu pouvant être, par la suite, étudiés plus en détails (lors des traitements numériques). L'approche visuelle consiste, dans cette étude, à interpréter une composition colorée sur film (image Spot du 27 octobre 1987), selon un codage classique : la première bande spectrale est codée en bleu, la deuxième en vert et la troisième en rouge. Cette représentation des données offre une meilleure synthèse de l'information contenue dans les différentes longueurs d'onde et donne une vision assez fidèle des paysages (R. Chaume et J. M. Fosting, 1995). Il s'agit d'abord d'une approche globale intégrant toutes les composantes visibles de l'image établie, qui doit déboucher sur une typologie des paysages. Il s'agit ensuite de rechercher l'extension, les limites des paysages de la zone étudiée et de procéder à une évaluation de leur contenu informationnel.

L'interprétation visuelle de cette composition colorée permet-elle de caractériser les paysages de la région? Si oui, est-il possible d'apprécier l'impact de l'activité anthropique sur le milieu?

1. Le zonage visuel.

Le zonage consiste à découper l'image en ensembles ou sous-ensembles homogènes, en fonction des critères visuels. Cette partition est conçue de façon à organiser méthodiquement l'analyse des images et à permettre la reconnaissance des différentes unités en leur attribuant une valeur descriptive quelle que soit la complexité de leur surface. Ceci signifie que les unités sont regroupées sur un fondement d'information, en zone d'égale ressemblance à partir d'une ou de plusieurs variables quantitatives ou qualitatives, en vue d'établir une typologie.

Les différentes étapes du zonage allant de la conception des zones à la typologie sont :

- délimitations des zones d'égale apparence visuelle;
- caractérisation des zones par les variables visuelles;
- classification taxonomique des zones;
- définition des unités de paysage à l'aide des variables définies.

1.1. Les variables visuelles.

Sur la composition colorée, les grands ensembles d'occupation du sol apparaissent différents les uns des autres par la couleur, l'organisation spatiale des éléments les constituants et par des critères liés à l'environnement. Le tracé des limites des différentes zones s'effectue donc en se fondant sur les propriétés de perception qui intègrent environnement et agencement spatial des taxons. Une telle partition ne peut cependant s'effectuer sans hypothèse d'interprétation des caractères de l'image.

a. La couleur.

Les densités colorées, qui représentent les unités de paysage sur l'image, résultent de la synthèse des couleurs correspondant aux propriétés spectrales de ces unités dans chacun des canaux de la composition colorée. En théorie, faire une analyse visuelle revient à établir une relation entre la couleur et la signification thématique. La réalité est toutefois plus complexe qu'elle n'y paraît, car un certain nombre de facteurs peuvent influencer la «coloration». Notons à titre d'exemple que la couleur dans laquelle sera rendue la végétation active dépendra de son taux de recouvrement au sol, de son stade phénologique et de son état sanitaire.

Les interprétations colorimétriques peuvent être encore plus compliquées par le fait que les couleurs résultant des combinaisons des canaux sont telles qu'une même couleur peut représenter des unités de paysage différentes, ou inversement des couleurs différentes peuvent traduire un même type d'unité. C'est pour cela nous avons utilisé d'autres descripteurs que sont la texture et l'environnement pour mieux définir ces unités. Sur l'image traitée, l'échelle de couleur s'étale du noir au blanc en passant par plusieurs autres teintes. Au total neuf teintes de couleur ont été notées

- noir;
- blanc;
- bleu clair;

- rouge clair;
- rouge sombre;
- marron clair;

- brun-vert;
- orangé;
- jaune.

b. La texture :

Elle est considérée comme le résultat de la variabilité locale des niveaux de gris d'une image. Cette définition de la texture est liée à la notion de périodicité, c'est-à-dire à la répétition plus ou moins régulière de motifs de base. Pour caractériser ce descripteur on a pris en compte l'état de surface pour laquelle on a retenu deux types : homogène et hétérogène.

c. L'environnement.

Il est défini comme étant «ensemble, à un moment donné, des agents physiques, chimiques et biologiques et des facteurs sociaux susceptibles d'avoir un effet direct ou indirect, immédiat ou à terme, sur les êtres vivants et les activités humaines » (Ternisien, 1971).

Ce descripteur a été retenu pour compléter d'une part l'analyse de la couleur et de la texture, d'autre part pour mieux cerner les interprétations. Ce descripteur est directement observable sur l'image, car il existe des indicateurs au sol permettant d'avoir des informations. Ainsi, chaque zone de l'image se trouve décrite en fonction des contraintes naturelles ou anthropiques pour lesquelles deux modalités sont considérées : zone aménagée et zone non aménagée.

Nous entendons, par zone aménagée, un espace dans lequel existe une action volontaire de mise en valeur.

⁽¹⁾ Université de Paris I, Laboratoire PRODIG-CNRS. Cette étude a été réalisée pour l'essentiel au Laboratoire de Géographie de l'IFAN d'octobre à décembre 1996 dans le cadre d'une collaboration initiée par le P^r Marie-Françoise Courel, Directeur du PRODIG, et par M. Mame Demba Thiam, Chercheur Principal du Projet ECOSSEN. Les opérations de photo-analyse sous PROCOM 2 et les prétraitements réalisés avec le système PAMAP ont été effectués par M. Demba Thiam, Ngou Ndiaye et Mandiaye Thiobane (Projet ECOSSEN, IFAN, Dakar).

Tableau 1 : descripteurs d'image

	Descripteurs	Degré de complexité	Description des paramètres
Distribution spectrale	Couleur	1 ^{er}	- Mesure de l'intensité de l'énergie émise par le pixel - Caractéristiques spectrales
	Texture	2 ^{ème}	- Arrangement local produit sur l'image par la juxtaposition d'un grand nombre d'objet de même nature trop petit pour être identifiés individuellement
Distribution spatiale	Environnement	3 ^{ème}	Il n'est pas toujours directement observable dans l'image. Nécessité d'interpréter les données en fonction des documents exogènes pour obtenir les informations.

2. Elaboration du tableau de données et choix des algorithmes de classification.

Pour élaborer le tableau de données, nous avons :

- un découpage de l'image Spot en zones, réalisé à partir de la composition colorée (fig. 1);
- une description de chaque zone selon les composantes couleur, texture et environnement.

Ainsi, la méthode consiste à noter pour chaque zone, sa couleur, sa texture et son environnement. La présence d'une modalité dans une zone est codée à un (1) et l'absence à zéro (0). Par exemple, la zone n°1 (fig. 1), ressort dans la composition colorée en rouge sombre avec des tâches noirâtres par endroits. Cette zone correspond à un espace non aménagé et de texture hétérogène (sols sablo-argileux). On a donc affecté le chiffre 1 à toutes les colonnes correspondantes aux différentes modalités recensées dans cette zone. Cette technique a été utilisée pour renseigner toutes les zones de l'image. A la sortie on obtient, un tableau de données (tabl. 2) ou une base de données qui décrit notre région d'étude en fonction des variables liées à la télédétection (variables visuelles).

Tableau 2 : Extrait du fichier image d'après les données Spot du 27 octobre 1987
(en ligne les zones et en colonne les variables visuelles)

N° des zones	Couleur									Texture		Environnement	
	BL	N	J	R	RS	MC	BV	OR	BC	H	h	ZA	ZNA
1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
2	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
123	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1

BL : Blanc
N : Noir
J : Jaune
R : Rouge
RS : Rouge sombre
MC : Marron clair
BV : Brun-vert
OR : Orangé
BC : Bleu clair
H : Homogène
h : Hétérogène
ZA : Zone aménagée
ZNA : Zone non-aménagée

L'objectif, est de regrouper toutes les zones qui présentent des caractéristiques visuelles semblables ou proches. Pour cette raison, deux types de classification sont utilisées :

- l'analyse factorielle des correspondances (AFC);
- la classification ascendante hiérarchique (CAH).

Ces deux traitements sont nécessaires parcequ'en pratique il est difficile de déterminer toutes les classes avec la seule AFC. Pour celle-ci des ensembles correspondants n'apparaissent que rarement bien différenciés. Par contre la CAH constitue automatiquement des classes sur la population étudiée sans donner d'autres types d'informations. C'est pourquoi la CAH est combinée à l'AFC qui apporte en plus des résultats :

- une représentation des proximités entre les classes;
- la correspondance entre les classes des individus et des variables.

L'harmonisation de ces deux méthodes doit permettre non seulement d'établir une typologie des zones par caractéristiques visuelles, mais aussi de vérifier la qualité du découpage spatial.

3. Interprétation des résultats.

a. Analyse factorielle des correspondances.

- L'histogramme des valeurs propres montre que les deux premiers axes expliquent 66 % de l'information (fig. 2). L'interprétation ne portera donc que sur ces axes.

Figure 2 : Histogramme des valeurs propres

Numéro	Valeur propre	Pourcentage	Pourcentage cumulée	
1	0.648	39.92	39.92	*****
2	0.426	26.29	66.21	*****
3	0.295	18.22	84.43	*****
4	0.141	8.68	93.11	*****
5	0.087	5.41	98.52	*****
6	0.022	1.35	99.88	*
7	0.002	0.12	100	*

- Représentation spatiale des unités de paysage.

Les variables (couleur, texture, environnement) et les individus (zones) ne sont pas répartis au hasard sur le graphique. L'analyse de leur répartition montre l'existence de relations entre les différents points. N'importe quel caractère n'est pas associé indifféremment à n'importe quel état des autres caractères. Par exemple l'espace culturel, représenté par les zones z16, z18, z118, est associé à la présence de teintes marron clair (MC) à rouge (R), blanche (BL) ou jaunâtre (J) et de texture hétérogène (h). Mais ces relations n'existent qu'en fonction de ce que représentent les axes, dont la signification dépend d'une part des rapports qu'ont entre eux les individus et les variables et d'autre part de leur répartition.

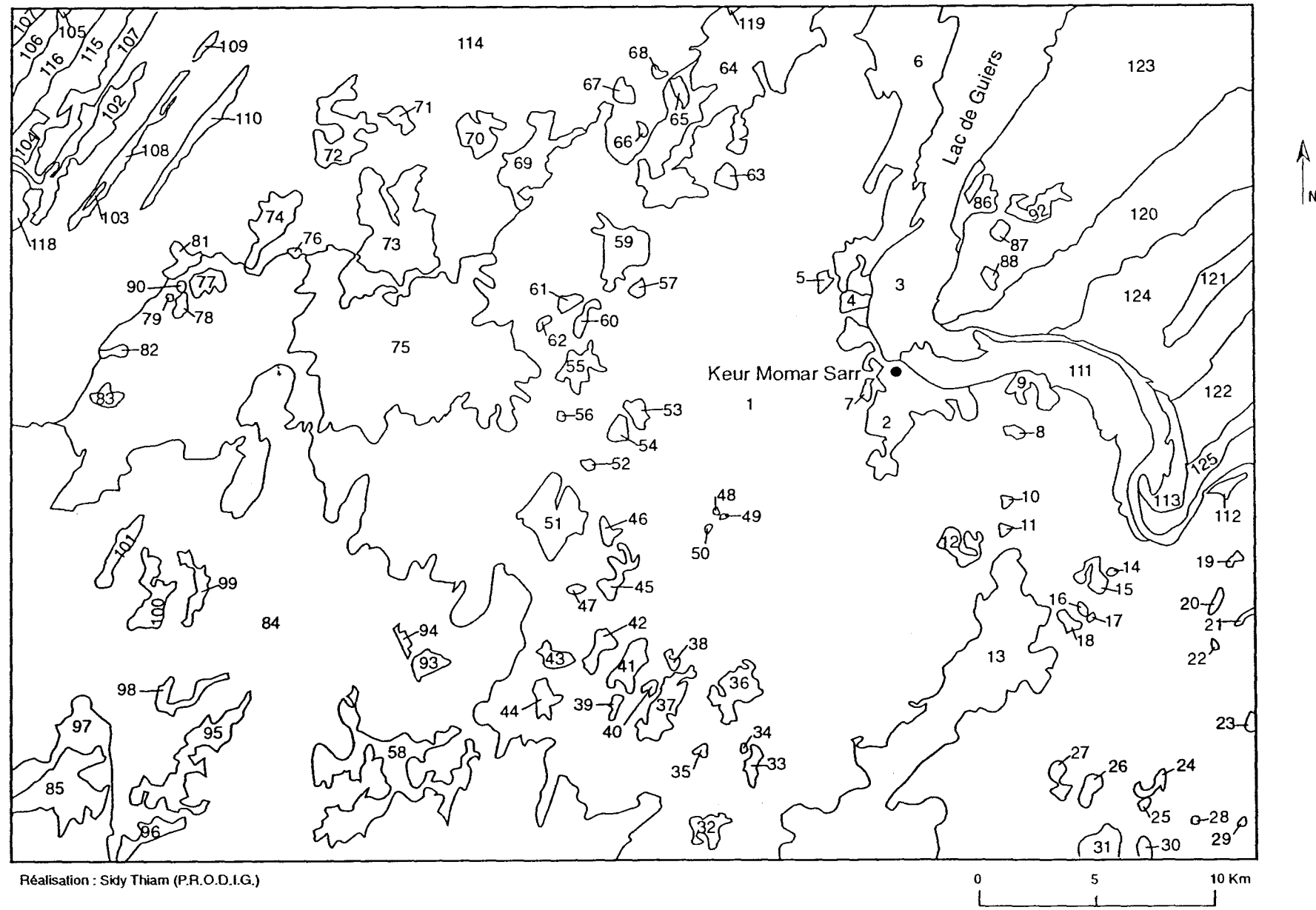
Tableau 3: Extrait des contributions des variables actives sur les deux premiers axes

Fréquences actives	Contributions	
	AXE1	AXE2
Libelle court		
BL	0.0	1.1
N	18.0	28.2
J	4.2	0.5
R	0.3	0.8
RS	7.7	32.1
MC	4.2	0.5
BV	1.3	8.4
OR	3.6	0.5
BC	9.2	11.1

Les unités de paysage les plus représentées sur l'axe 1 (tabl. 3) sont caractérisées par différentes teintes : noir (N), rouge sombre (RS), marron clair (MC), bleu clair (BC) et jaune (J). Cela signifie que ces unités sont bien identifiées sur cet axe. Par contre les individus qui apparaissent en rouge (R) ou en blanc (BL), proches de l'origine d'une part et, d'autre part, étant d'une faible contribution, sont peu significatifs.

La position sur le graphique (fig. 3) des teintes noire et jaune d'une part et d'autre part des teintes rouge sombre et marron clair indique qu'elles expliquent deux caractères opposés. Plus on s'éloigne de l'origine de l'axe 1 dans le sens positif, plus on rencontre des individus (zones)

Figure 1 : Zonage de la composition colorée de l'image Spot du 27 octobre 1987 en zones d'égale apparence

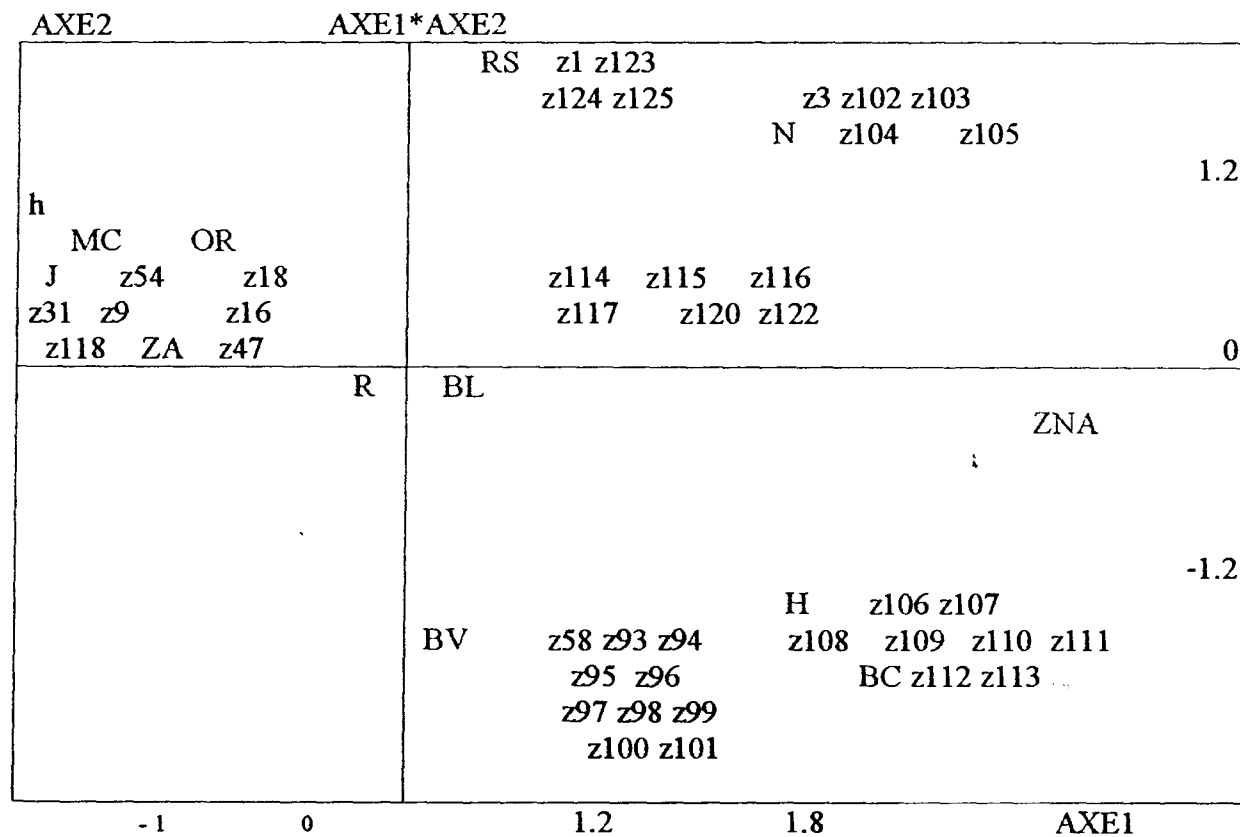


caractéristiques des sols humides (z1, z124, z125). Dans le sens contraire, on retrouve des zones qui représentent l'espace cultivé. L'axe 1 discrimine les unités de paysage en fonction de la nature des sols et de leur taux de recouvrement.

La couleur noire ou rouge sombre, par sa position voisine des points indiquant un paysage non dégradé par les activités anthropiques, signale des surfaces végétalisées humides ou en eau. Les teintes marron tirant vers l'orangé au contraire, associées à une variation du taux de recouvrement, à un paysage hétérogène où la présence de l'homme sur le milieu laisse des «marques» sur le sol, indique un espace cultivé (aménagé).

L'axe 2 différencie les unités de paysages selon leur texture et des critères liés à l'environnement.

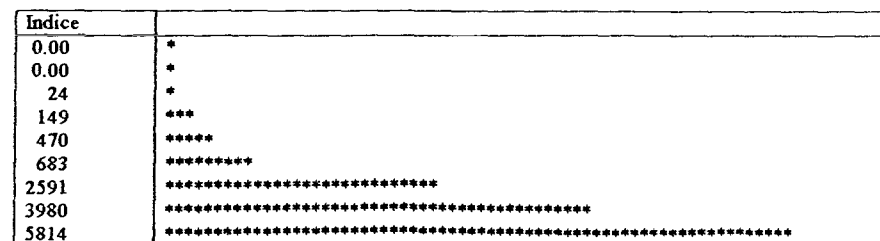
Figure 3 : Représentation graphique des individus et des variables sur l'axe 1-2.



b. Classification ascendante hiérarchique.

La lecture de l'histogramme des indices de niveau (fig. 4) nous incite à ne retenir que quelques noeuds. L'interprétation de ces noeuds donne une répartition en six classes.

Figure 4 : Histogramme des indices de niveaux



Les classes retenues (fig. 5) :

- Classe 1 : se constitue des zones à dominante rouge sombre, qui occupent de larges espaces au sud et à l'ouest du lac de Guiers. La couleur rouge observée dans ce secteur est indicatrice d'une végétation active. On remarque à quelques endroits de ce secteur, surtout au sud du lac, la présence de tâches noirâtres. Cela signifie qu'il existe dans cette classe des éléments de paysage qui sont peu réfléchissants dans tous les canaux de la composition colorée. Cette répartition de tâches noirâtres dans ce secteur fournit des renseignements sur l'état hydrique des sols. D'une manière générale, cette unité de paysage correspond à des sols sablo-argileux végétalisés ou humides.

Tableau 4 : Composition de coupure de l'arbre en six classes

Classes thématiques	Numéro des zones
Classe1	z1, z123...z125
Classe2	z3, z102...z105
Classe3	z106...z113
Classe4	z58, z93...z101
Classe5	z114...z122
Classe6	z2...z57, z59...z92

- Classe 2 : cette unité de paysage ressort sur la composition colorée en noir. Elle se localise dans le lit mineur du lac et caractérise probablement l'eau claire.

- Classe 3 : se distingue par une couleur blanche, une texture homogène et une forme ovale. Les éléments de paysage qui la constituent sont très réfléchissants et correspondent à de l'eau turbide.

- Classe 4 : elle apparaît avec des teintes sombres et est localisable au niveau du secteur cultivé. Cette classe forme des bandes de tailles variables entre les parcelles cultivées et correspond à des jachères.

- Classe 5 : définit les sols sableux et ressort sur la composition colorée dans une teinte à dominante blanche associée au rouge-orangé. Cette unité se rencontre dans la zone inondable et identifie de larges espaces nus parsemés de quelques touffes de végétation active.

- Classe 6 : elle est hétérogène, mise en évidence par plusieurs teintes. Les légères variations de la couleur rouge indiquent que les espèces cultivées se trouvent à différents stades phénologiques avec des taux de recouvrement au sol différents. Les variétés culturales caractéristiques d'une végétation jaunissante ou au repos ressortent en marron-orangé. Les teintes claires ou jaunâtres observées dans ce secteur correspondent à des sols nus ou dénudés. Cette classe est très dispersée dans la région et occupe une grande partie du territoire.

Le tableau 5, tiré de la classification, nous a permis d'évaluer les superficies des différents types d'occupation du sol.

Tableau 5 : Pourcentage d'occupation du sol d'après l'image Spot du 27 octobre 1987.

Catégories d'occupation du sol	Superficie en ha	Superficie en %
Classe 1 (sols sablo-argileux)	93457	45.90
Classe 2 (eau claire)	7012	3.44
Classe 3 (eau turbide)	5737	2.81
Classe 4 (jachères)	4825	2.36
Classe 5 (sols sableux)	36780	18.06
Classe 6 (cultures)	55788	27.40
Total	203599	100

Conclusion .

La méthode visuelle d'interprétation des images permet d'identifier différents espaces dans la région étudiée :

- espace pastoral qui couvre 64 % du territoire (classe 1, classe 5) ;
- espace culturel qui occupe 30 % de la zone (classe 4, classe 6) ;
- les surfaces en eau avec 6 % (classe 2, classe 3).

En plus de l'information globale qui se dégage, la méthode permet d'approcher les informations plus détaillées des milieux. Il ressort de cette étude que l'interprétation visuelle des images est un outil d'investigation satisfaisant, qui permet :

- de caractériser les grands ensembles d'occupation du sol;
- d'aider à optimiser la préparation des campagnes du terrain, par la sélection des secteurs à visiter en priorité et par l'établissement d'itinéraires efficaces;
- enfin de favoriser le choix des sites-tests d'apprentissage pour le traitement des données numériques.

Bibliographie.

Chaume R., Fosting J. M., 1995. Les paysages Bamiléké : une approche multi-échelle du bocage à partir des images Landsat et Spot. *Revue photo-interprétation*, 1995-2, p. 75-81.

Chevallier R., 1966. Problématique de la photo-interprétation. A la recherche d'une logique. *Revue photo-interprétation*, 1966-6, p. 3-14.

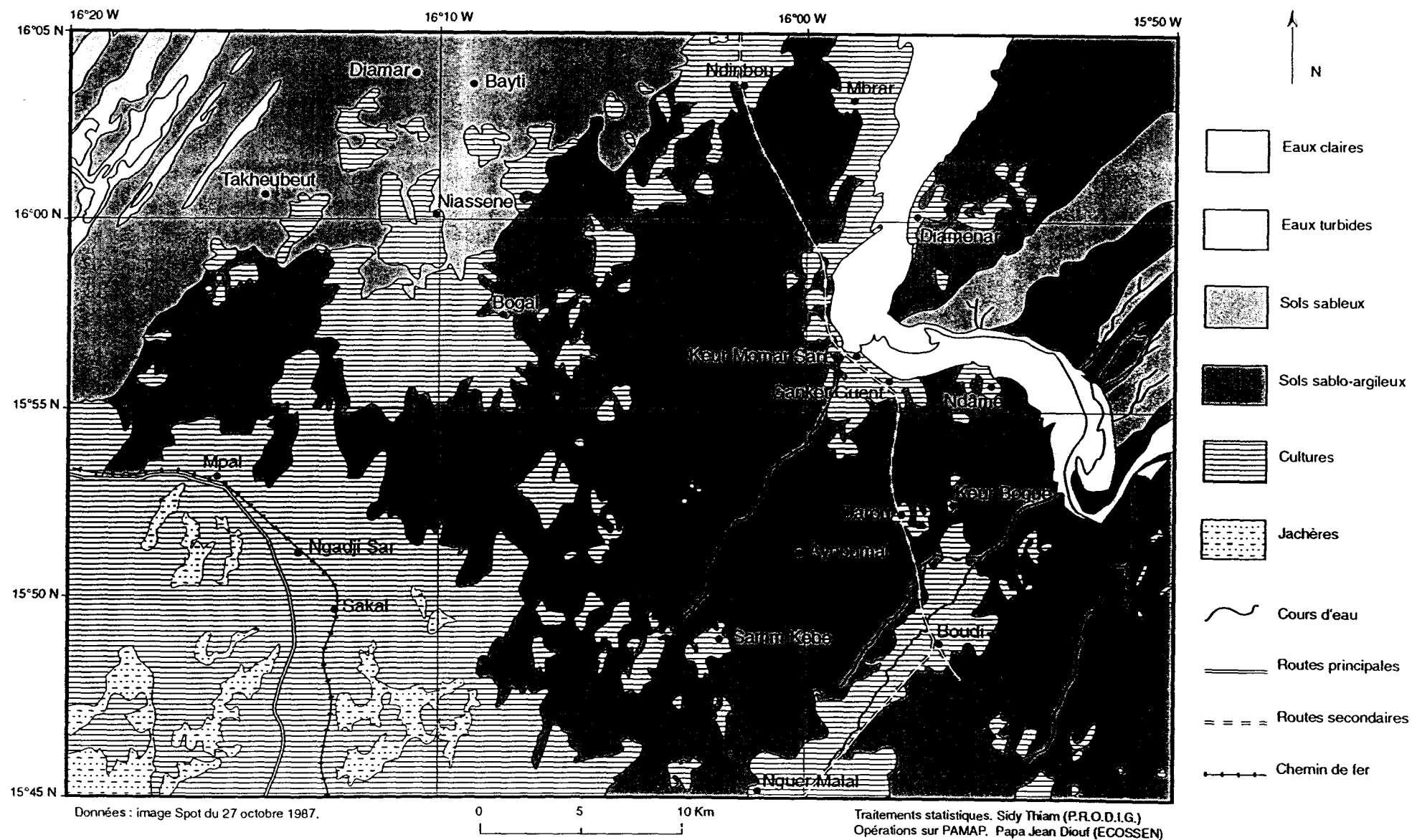
Cruset J., 1970. Les surfaces sensibles utilisées pour la photo-interprétation aérienne. in *B.I. IGN.*, 12, p. 27-47.

Dourgnon J., Kowalski P., 1966. La représentation des couleurs. Paris, *P.U.F.*, 128 p.

Geroyannis H., Lafage H., 1984. Zonage des Bouches du Rhône à partir d'enregistrements du satellite Landsat. Paris. *Bull. LATES/CAMS.*, 82 p.

Saporta G., 1980. Analyse des données. Paris, *P.U.F.* Collection Que-sais-je ? 127 p.

Figure 5 : Occupation du sol dans les environs de Keur Momar Sarr en 1987



Evolution des densités de population (1976-1995)

par

El Hadj Seydou Nourou Touré
Mbaye Diouf Ndiaye
Louis-Albert Lake

1. Les données.

Le calcul des densités de population, présentées en tableau I, s'appuie sur les superficies des communautés rurales de la zone d'étude socio-économique du présent atlas d'une part, et, d'autre part, sur les chiffres des deux derniers recensements de la population (1976 et 1988). Les chiffres de 1995 résultent d'un calcul de projection fondé sur le taux de croissance de la période 1976/1988.

Les communautés rurales de la zone d'étude, au nombre de 59, sont identifiées en figure 1.

2. Le traitement diachronique des données.

Afin de mettre en évidence l'évolution des densités entre 1976 et 1995, on choisit d'appliquer aux données une procédure commune fondée sur le traitement graphique de l'information.

2.1. La sériation des distributions de valeurs de densité. Les indicateurs diachroniques.

En figure 2 on présente les trois axes de distribution (1976, 88 et 95) de densités et les classes communes qui leur sont imposées de manière visuelle en fonction des discontinuités naturelles et de la forme des distributions. Cinq (1976) à six classes sont ainsi identifiées. Le résultat de cette classification est transcrit dans le tableau II. Il constitue l'ensemble des indicateurs diachroniques de la densité de peuplement de l'ensemble des communautés rurales pour les trois dates considérées.

2.2. L'analyse diachronique.

Le traitement des indicateurs diachroniques (tabl. II) offre deux possibilités :

- la cartographie directe de l'évolution des communautés rurales, présentée en figure 3 ;
- le traitement graphique, sous la forme de fichier-image, afin d'étudier la cinématique et la dynamique de l'évolution.

Pour réaliser ce dernier traitement, on transforme d'abord le tableau II en une image significative appelée fichier-image (J. Bertin, 1977), présentée dans le tableau III. L'intérêt de cette image est d'obtenir une vision synoptique de l'ensemble des données et d'en permettre donc une partition significative. C'est ainsi que les lignes du tableau III sont reclassées pour aboutir à l'image classifiée du tableau IV et à la classification des communautés rurales.

Le résultat complet de cette classification est cartographié en figure 4 et une version simplifiée en est tirée en figure 5.

3. Résultats. Cinématique et dynamique des densités depuis 1976.

La figure 4 montre les 11 types d'évolution qui caractérisent l'ensemble des communautés rurales (CR), en donne la comptabilité et la géographie. On peut en tirer les conclusions suivantes :

- 51 % des CR restent stables ;
- 17 % voient une diminution de leur densité ;
- 32 % connaissent une augmentation ;
- ces différentes évolutions sont géographiquement assez bien réparties d'une part pour les CR de l'extrême Nord et d'autre part pour celles du Sud-Ouest.

La simplification présentée en figure 5 confirme cette dernière remarque spécifiquement spatiale : la zone de l'espace agraire subcontinuu, le long de l'axe Kébémér - Louga - St-Louis, connaît toutes les formes de dynamique bien que les CR en augmentation paraissent plus nombreux.

Ces résultats ne confirment donc que partiellement le mythe de nos « campagnes qui se dépeuplent » et prouvent que de nombreuses nuances caractérisent la dynamique des densités de peuplement des CR.

Référence bibliographique.

Bertin J., 1977. La graphique et le traitement graphique de l'information. Paris, Flammarion, 277 p.

Figure 1.
Numéros des communautés rurales.

Sources et système de numérotation :
voir Introduction et figure 4 du présent rapport.

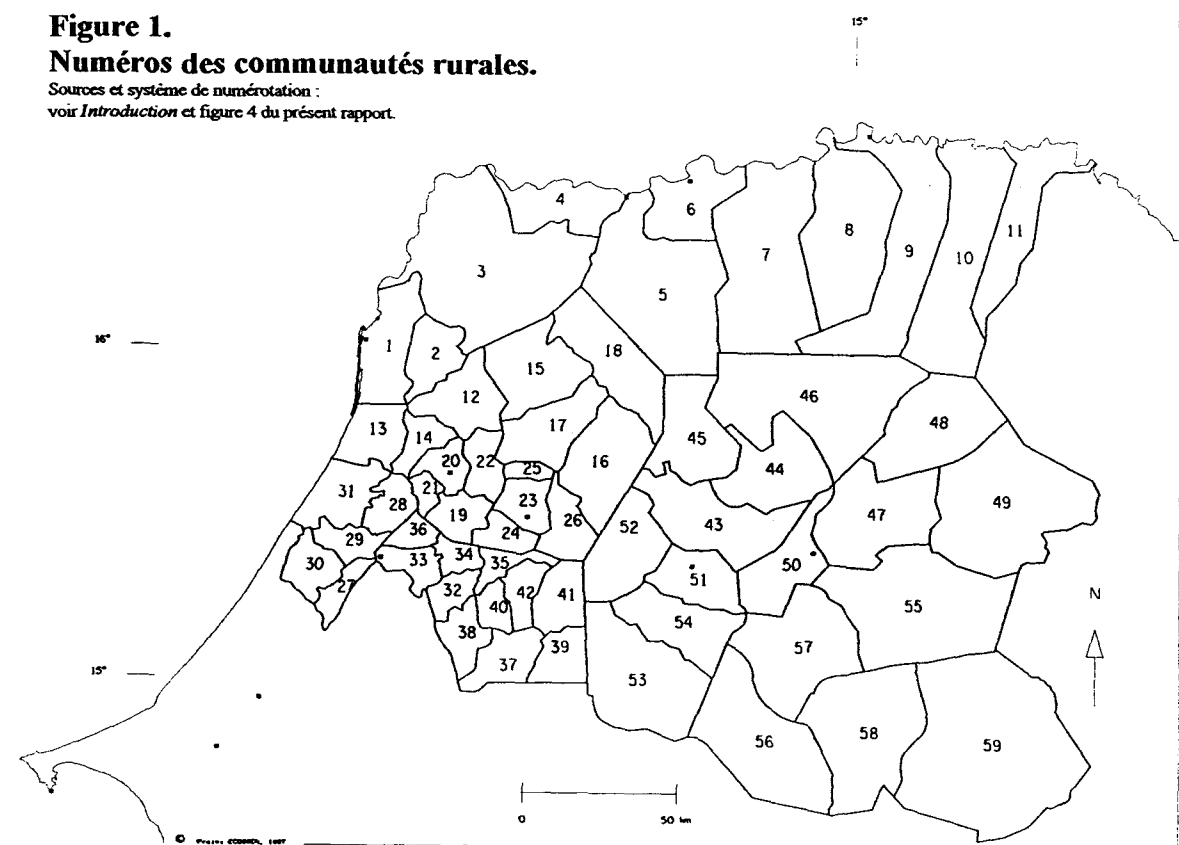


Tableau I.
Densités de peuplement en nombre d'habitants au km².

Sources : RGP, 1976 et 1988.

Projection 1995 : EH. Seydou N. Touré et M. Diouf Ndiaye.

Communautés rurales	1976	1988	1995
1. Gandon	50	67	79
2. Mpal	31	51	68
3. Ross Béthio	10	13	16
4. Rosso Sénégal	19	31	40
5. Mbane	8	11	15
6. Gaé	22	35	45
7. Fanaye	6	7	8
8. Ndiayène Pendao	8	6	5
9. Guédé	13	14	14
10. Gamadji Sarré	8	9	10
11. Dodel	13	14	15
12. Sakal	28	29	29
13. Léona	26	35	41
14. Nguene Sar	58	30	21
15. Keur Momar Sarr	13	19	23
16. Gande	6	5	5
17. Nguer Malal	18	22	25
18. Syer	4	5	5
19. Mbédiène	45	36	31
20. Nguidilé	49	56	61
21. Kel Guèye	51	58	62
22. Niomré	44	41	40
23. Koki	57	17	8
24. Ndiagne	63	65	66
25. Pété Ouarack	31	142	344
26. Thiamène	30	8	4
27. Ndande	60	7	2
28. Bandégne Wolof	40	40	41
29. Diokoul Diawrigne	39	42	44
30. Kab Guèye	28	23	21

Communautés rurales	1976	1988	1995
31. Thieppe	18	19	19
32. Sagata	62	60	60
33. Thiolom Fall	60	64	66
34. Kanène Ndiob	57	45	40
35. Loro	46	40	37
36. Guéoul	62	72	78
37. Darou Mousty	42	52	59
38. Darou Marnane	47	45	44
39. Mbadiane	19	33	46
40. Ndoyène	36	40	43
41. Sam Yabal	14	16	18
42. Touba Mérina	34	27	24
43. Kambe	8	12	15
44. Mbeuleukhé	5	5	5
45. Mboula	6	7	8
46. Tessekéré Forage	1	2	2
47. Dodji	5	5	5
48. Labgal	2	4	5
49. Lougéré Thioly	1	2	3
50. Ouarkhokhe	14	18	22
51. Dahra	45	52	57
52. Boulal	6	10	14
53. Dealy	4	8	12
54. Sagatta	9	13	16
55. Barkédji	3	6	10
56. Gassane	3	10	20
57. Thiargny	2	5	9
58. Thiel	2	4	5
59. Vélingara	1	2	4

Tableau II.
Indicateurs diachroniques de la densité de peuplement.

	A	B	C
1	4	5	6
2	3	4	5
3	2	2	2
4	2	3	4
5	2	2	2
6	2	3	4
7	1	1	2
8	2	1	1
9	2	2	2
10	2	2	2
11	2	2	2
12	3	3	3
13	3	3	4
14	5	3	2
15	2	2	2
16	1	1	1
17	2	2	2
18	1	1	1
19	4	3	3
20	4	5	5
21	4	5	5
22	4	4	4
23	5	2	2
24	5	5	5
25	3	6	6
26	3	2	1
27	5	1	1
28	4	4	4
29	4	4	4
30	3	2	2
31	2	2	2
32	5	5	5
33	5	5	5
34	5	4	4
35	4	4	3
36	5	5	6
37	4	4	5
38	4	4	4
39	2	3	4
40	3	4	4
41	2	2	2
42	3	3	2
43	2	2	2
44	1	1	1
45	1	1	2
46	1	1	1
47	1	1	1
48	1	1	1
49	1	1	1
50	2	2	2
51	4	4	5
52	1	2	2
53	1	2	2
54	2	2	2
55	1	1	2
56	1	2	2
57	1	1	2
58	1	1	1
59	1	1	1

A : 1976

B : 1988

C : 1995

1 : Communauté rurale n° 1

Classes de densités en nombre d'habitants/km²

1 = 1 à 7

2 = 8 à 25

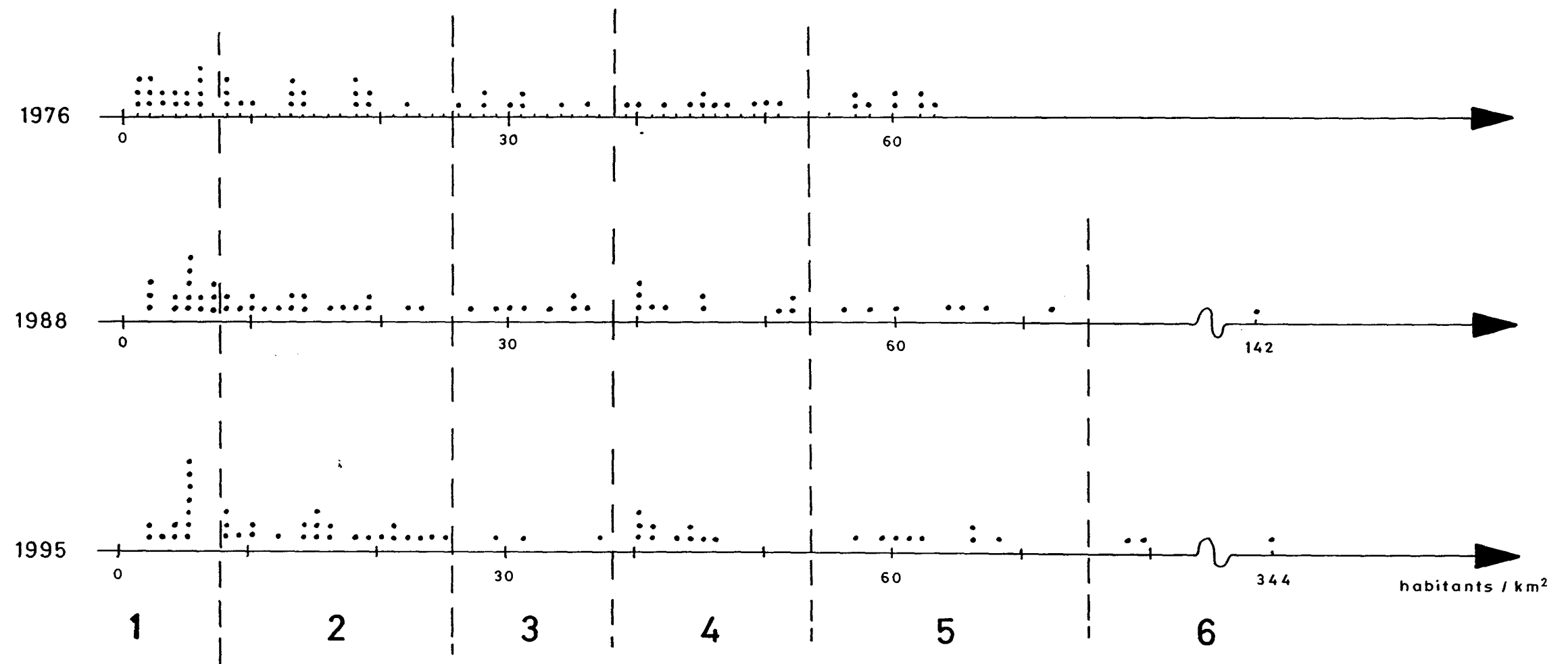
3 = 26 à 35

4 = 36 à 54

5 = 55 à 75

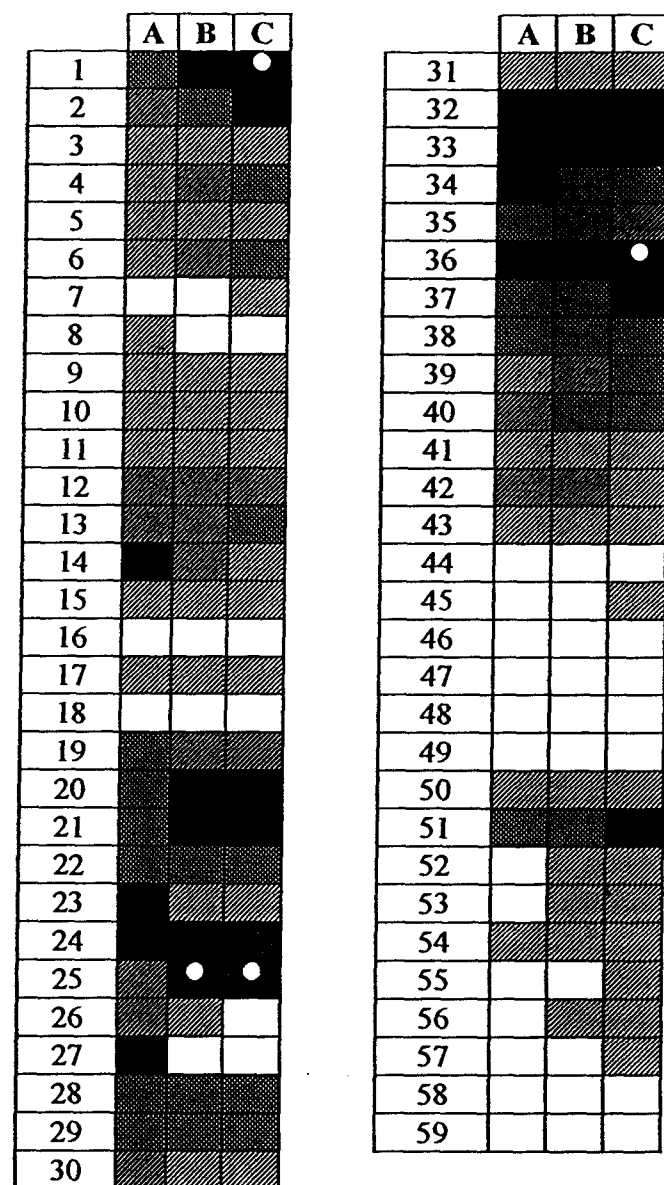
6 = > 75

Figure 2.
Distribution et classement des communautés rurales
selon la densité de peuplement



● Communauté rurale
 1 Classe n° 1

Tableau III.
Fichier-image des indicateurs diachroniques de densité de peuplement (1976, 1988 et 1995).



A : 1976 B : 1988 C : 1995

Densités de peuplement
en nombre d'habitants au km² :

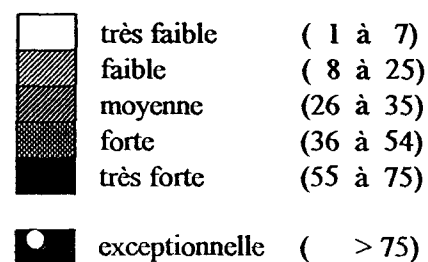
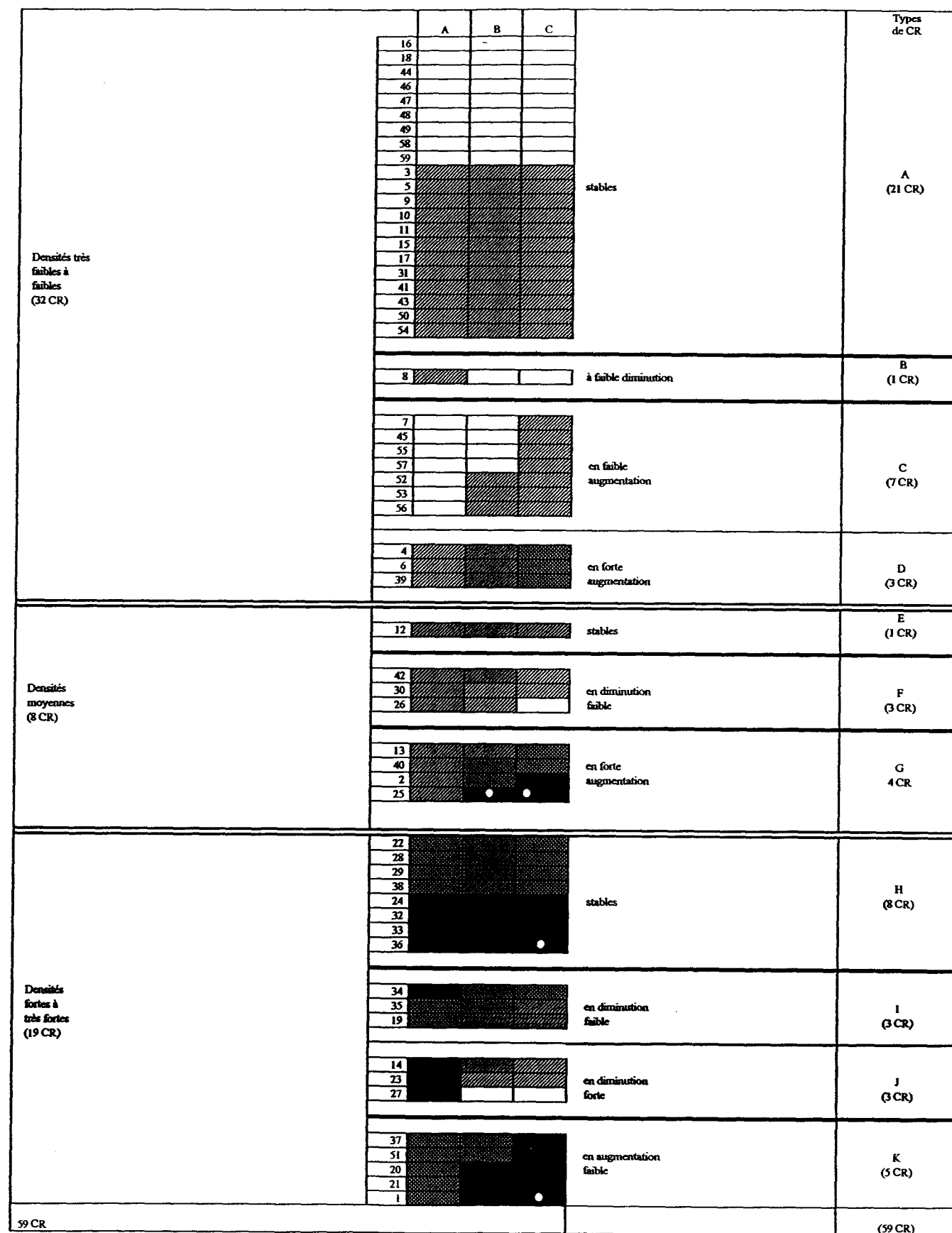


Tableau IV.
Fichier-image classifié et classification des communautés rurales selon l'évolution de leur densité de peuplement.



CR : Communauté Rurale

Figure 3.
Evolution des classes de densités de peuplement.

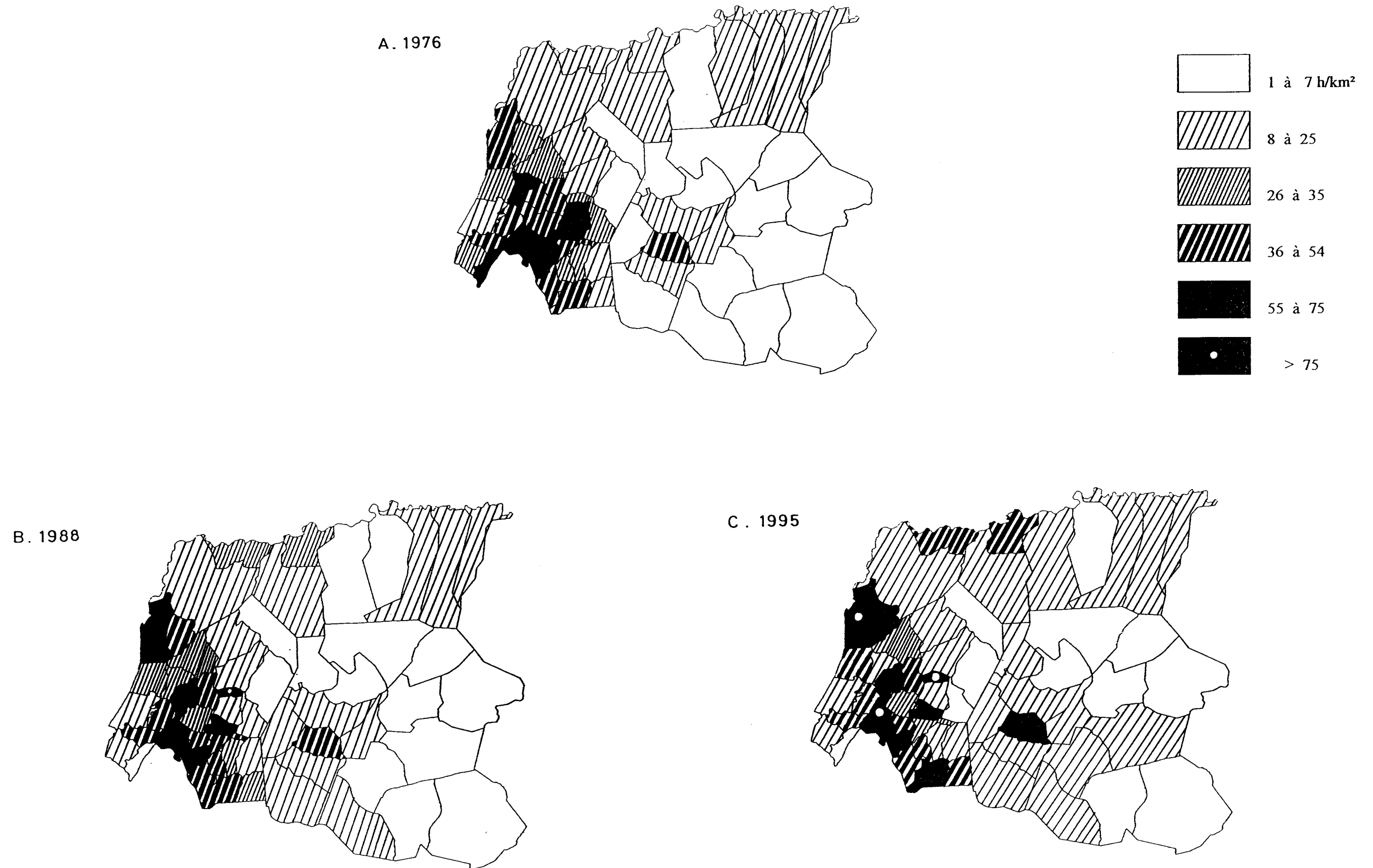


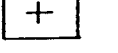
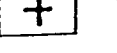









Figure 4 :
Evolution des densités de population.
Cinématique et dynamique (1976/1995).

Densités de peuplement en 1976	Evolution des densités jusqu'en 1995				CR	
	stabilité	diminution		augmentation		
		faible	forte	faible		forte
faibles (1 à 25 h/km ²)	 21	 1		 7	 3	32 54
moyennes (26 à 35 h/km ²)	 1	 3			 4	8 14
fortes (≥ 36 h/km ²)	 8	 3	 3	 5		19 32
Nombre total de CR CR = Communauté Rurale						59 CR
% des CR	30 51	7 12	3 5	12 20	7 12	100 %

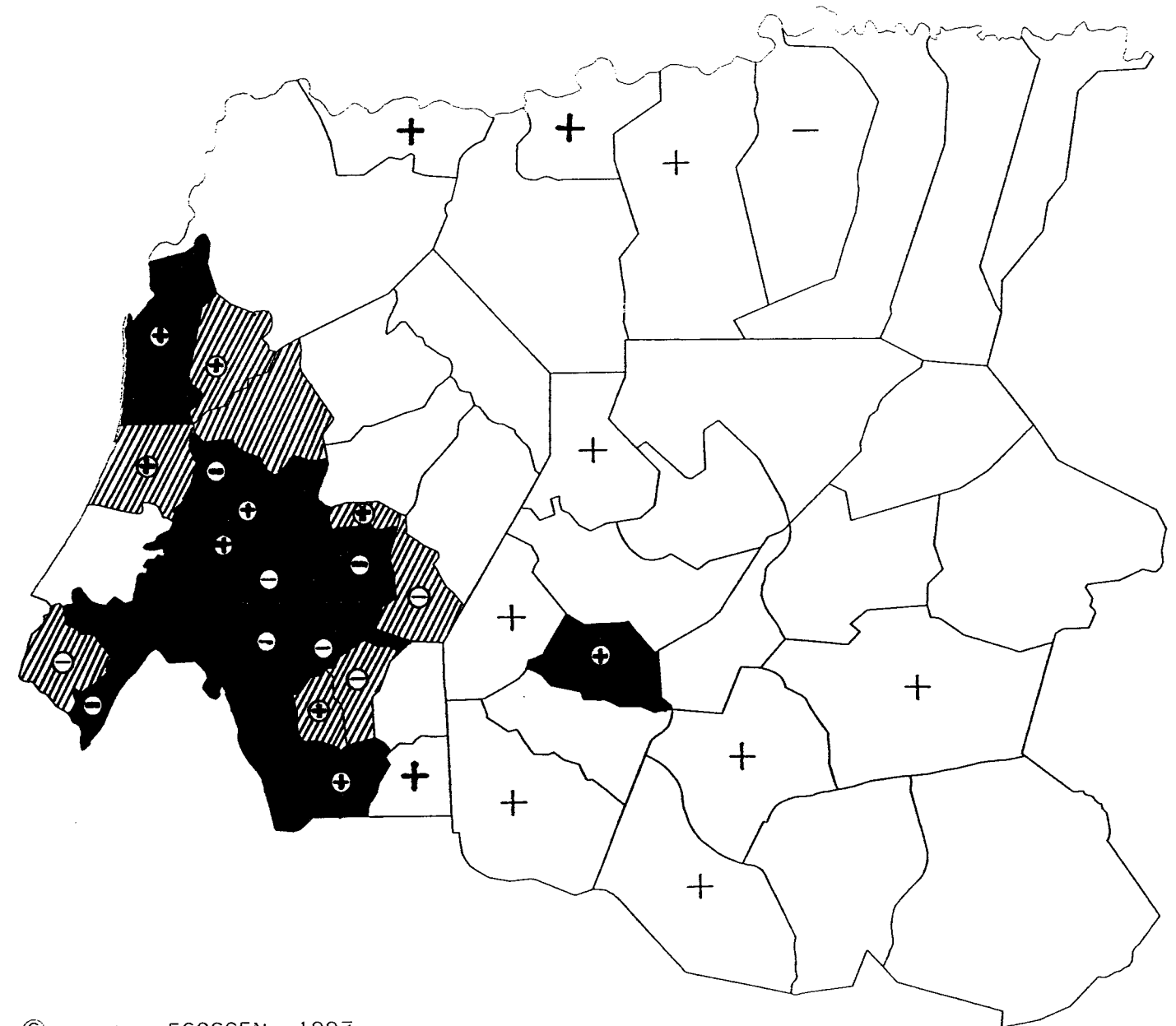
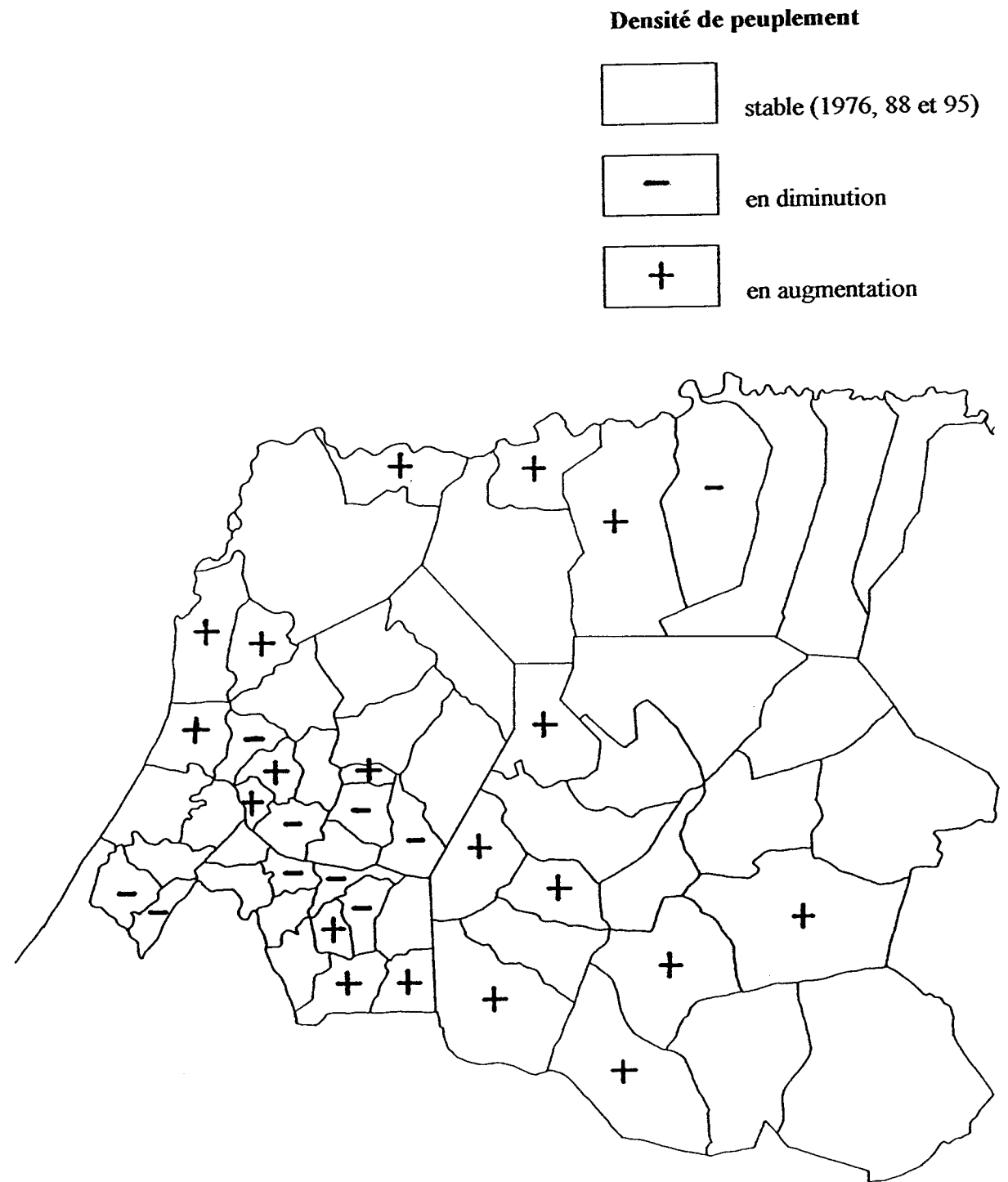


Figure 5.
Dynamique du peuplement de 1976 à 1995.



L'équipement en forages hydrauliques

par

Binta Sène Diouf
El Hadj Seydou Nourou Touré
Mandiaye Thiobane

1. Sources des données.

La Direction du Génie Rural et de l'Hydraulique (DGRH) a mis sur pied un outil informatique permettant la parution régulière du répertoire sur les forages d'eau. Celui-ci permet d'avoir des données exhaustives sur les ouvrages recensés (types, dates et lieux d'implantation) qui sont classés par région, département, arrondissement, communauté rurale et village.

Les ouvrages retenus sous le terme de *forages hydrauliques* sont les forages, les puits-forages, et les forages-puits.

L'objectif du répertoire des forages d'eau, est d'après la DGRH, « de fournir des renseignements relatifs à l'évolution des ouvrages hydrauliques du Sénégal, ainsi qu'un aperçu rapide de la situation actuelle de l'hydraulique rurale et agricole ».

Le dernier répertoire des localités et points d'eau du Sénégal (Mai 1995) est une fusion du répertoire des villages établi par le Ministère de l'Intérieur et du répertoire des points d'eau établi par le Service de Gestion et de Programmation (SGPRE) du Ministère de l'Hydraulique.

En fonction de l'objectif méthodologique du Projet ECOSSEN, où il faut comparer différents facteurs environnementaux et socio-économiques, il est nécessaire de procéder à une harmonisation des différentes données collectées.

Pour cela, des données de la SGPRE ont été de nouveau fusionnées avec celles de 1988 du Bureau National du Recensement (BNR), de la Direction de la Prévision et de la Statistique (DPS), relatives à la population et au nombre de villages par communauté rurale. L'harmonisation a été faite en partant des données de la DPS. En effet, c'est à partir des coordonnées géographiques de son fichier population qu'a été obtenu le nombre de villages retenus pour chaque communauté rurale ; il en résulte l'ajout ou le retrait de villages du fichier du dernier répertoire des points d'eau (mai 1995).

Par contre, pour le dénombrement des forages par communauté rurale, on a retenu ceux qui sont indiqués dans les différents répertoires du Ministère de l'Hydraulique même lorsqu'ils sont implantés dans des villages dont les coordonnées géographiques n'existent pas dans le fichier de la DPS.

Tableau I. Rythme d'implantation des forages dans les communautés rurales.

CR : communauté rurale
A : avant 1970
B : de 1970 à 1980
C : de 1981 à 1990
D : de 1991 à 1994
E : dates inconnues
F : nombre total de forages de l'origine à 1994

N° CR	A	B	C	D	E	F
1			1			1
2			1			1
3						0
4						0
5	3	5				8
6	1	1	1			3
7	4		3	1		8
8	3		2	3		8
9	2	1	2	5		10
10	1	3	5	1		10
11	1	3	8	2	1	15
12						0
13		2	4			6
14			3			3
15		1	2			3
16	1		2			3
17	2	4	2			8
18	1		2			3
19		1	15	1	5	22
20			7		2	9
21			4		4	8
22		1	7		2	10
23	2	1	5	1		9
24	2	1	1			4
25			1			1
26	2	1	3		3	9
27		7	3		1	11
28		2	14		1	17
29		1	10		1	12
30		1	5			6
31		1	8			9
32	1	1	4			6
33		2	42	2		46
34			4		1	5
35		1	6			7
36		2	19	1	3	25
37	1		5		2	8
38		1	7		2	10
39	3	3				6
40		1				1
41		1	2		1	4
42	1	2	1			4
43	1	3	2			6
44	1		3			4
45	1	3	1			5
46	3					3
47	1		1			2
48	1		2			3
49	1					1
50	1	2	1			4
51	1		1			2
52	1	1	1			3
53	3	3	3			9
54		3	1			4
55	2	1	4		1	8
56	3	1	3		1	8
57	2	3	3			8
58	2	2	2		1	7
59	1	6				7
Total	56	79	239	17	32	423
Fréquence en %	13,25	18,75	56,5	4	7,5	100

2. La mise en place des forages.

Des années 50 à 1994, 423 forages hydrauliques ont été implantés dans les 59 communautés rurales de la zone d'étude (tabl. I). Cette implantation s'est essentiellement faite, en ce qui concerne le nombre de forages, après l'indépendance du pays, dans la période 1971-1990 et plus particulièrement durant la décennie 1981-1990 (56,5% du nombre total de forages ; tabl. I et fig. 1).

L'examen de la répartition spatiale de ces équipements, en figure 1, pourrait laisser croire que c'est la zone agricole centrée sur Louga qui a connu la plus forte implantation de forages. Ce constat doit être vérifié puis fortement tempéré par des indicateurs de peuplement.

3. La densité d'implantation actuelle de forages (1994).

La densité de forages hydrauliques a été déterminée pour chaque communauté rurale de la zone d'étude. Pour cela, il a d'abord fallu réajuster les données disponibles relatives à la superficie des communautés rurales (tabl. II ; DAT, 1976). En effet, le constat de quelques aberrations dans ces données nous a conduit à ré-estimer l'ensemble des surfaces par simple comptage d'unités élémentaires circonscrites dans les surfaces considérées. Cette estimation empirique sera reprise automatiquement avec plus de rigueur lorsque la base de données du SIG sera opérationnelle. Les résultats de l'estimation sont présentés dans le tableau II : les écarts entre ceux-ci et les données de la DAT se situent le plus fréquemment entre $\pm 2\%$ et $\pm 7\%$; mais les plus forts écarts sont dus à de fortes sous-estimations de la DAT qui dépassent 10 % (par exemple 46 % pour Sam Yabal, 33 % pour Ndande ou même 275 % pour Thiamène).

La densité d'implantation est donnée au tableau III en nombre de forages pour 100 km² et pour chaque communauté rurale. La distribution de ces valeurs est visualisée sur un axe de fréquence en figure 2. Les discontinuités qui apparaissent ainsi permettent de sérier la distribution et de déterminer trois principales classes de communautés rurales et deux classes annexes consacrées à des valeurs exceptionnellement fortes.

La cartographie de cette classification renforce le premier constat proposé plus haut : les forages se concentrent autour de l'axe Louga-Kébémér et deviennent de plus en plus dispersés vers le nord et l'est. La densité des forages semble ainsi rigoureusement déterminée par les contours du domaine occidental de l'agriculture pluviale.

4. Forages et peuplement.

Deux indicateurs du peuplement sont utilisés afin de pondérer la géographie des forages par celle du peuplement : le nombre de villages et le nombre d'habitants (tabl. III).

L'indicateur *IV* définit ainsi pour chaque communauté rurale le nombre de forages pour 100 villages, et *IH* le nombre de forages pour 10 000 habitants. Les données utilisées pour construire ces indicateurs ne sont pas synchrones (1988 pour les données de peuplement et 1994 pour le nombre de forages). Les indicateurs ne peuvent donc prétendre à décrire la réalité mais seulement à esquisser la ou les tendances générales de la relation entre peuplement et fréquence des forages.

IV et *IH* sont installés dans un diagramme cartésien, en figure 3, de manière à déterminer le nuage de points correspondant à la position des communautés rurales telle que définie par ces indicateurs. L'étalement du nuage suggère une bonne corrélation positive entre indicateurs : le nombre de forages est assez bien déterminé par le peuplement exprimé en villages et en habitants.

Mais l'effet de la pondération ainsi réalisée permet de souligner deux phénomènes imperceptibles jusqu'ici :

- celui des communautés rurales du Ferlo relativement bien pourvues de forages eu égard à leur peuplement ;
- celui des communautés rurales s'écartant de la tendance générale, du fait que le nombre de forages y soit insuffisant pour l'un ou pour l'autre des indicateurs (fig. 3).

La carte de la figure 3 révèle ainsi des disparités de la relation forages/peuplement n'obéissant à aucun déterminisme ni à aucune norme apparente.

Références bibliographiques.

BNR, 1988. Répertoire des villages, Région de Louga, DPS.

DAT, 1983 et 1996. Carte Administrative du Sénégal.

DAT, 1976. Superficie par communautés rurales

David J. 1995. Liste des rapports d'ouvrages répertoires au BIRH. Dakar, Ministère de l'Hydraulique.

David J. 1995. Répertoire des localités et points d'eau du Sénégal, tome 1, Dakar, Ministère de l'Hydraulique, 58 p.

David J. 1995. Répertoire des localités et points d'eau du Sénégal, tome 2. Dakar, Ministère de l'Hydraulique, 76 p.

ECOSSEN (Equipe), 1996. Espaces Ruraux du Nord-Ouest sénégalais. Données et variables d'évolution, 1954-1996. Rapport technique à 2 ans. Projet Écossén, IFAN, CARTEL, Dakar, 244 p.

Ministère de l'Hydraulique, 1994. Bilan de la situation actuelle, DEM, 36 p.

Ministère du Développement Rural et de l'Hydraulique, 1993. Répertoire des forages d'eau du Sénégal, 1992. Dakar, Division des Ressources en Eau, 83 p.

Secrétariat d'Etat à l'Hydraulique, 1980. Répertoire des forages d'eau du Sénégal. Rép. du Sénégal, BIRH, SGPRE, 117 p.

Sigles utilisés.

BIRH : Bureau des Inventaires des Ressources Hydrauliques.

BNR : Bureau National de Recensement.

DAT : Direction de l'Aménagement du Territoire.

DEM : Direction de l'Exploitation et de la Maintenance.

DPS : Direction de la Prévision et de la Statistique.

SGPRE : Service de la Gestion et de la Programmation des Ressources Hydrauliques.

Figure 1. Evolution de l'implantation des forages de l'origine à 1994.

Sources : Ministère de l'hydraulique
(Répertoires de 1980, 1992 et 1995).

Nombre de forages :

• 1

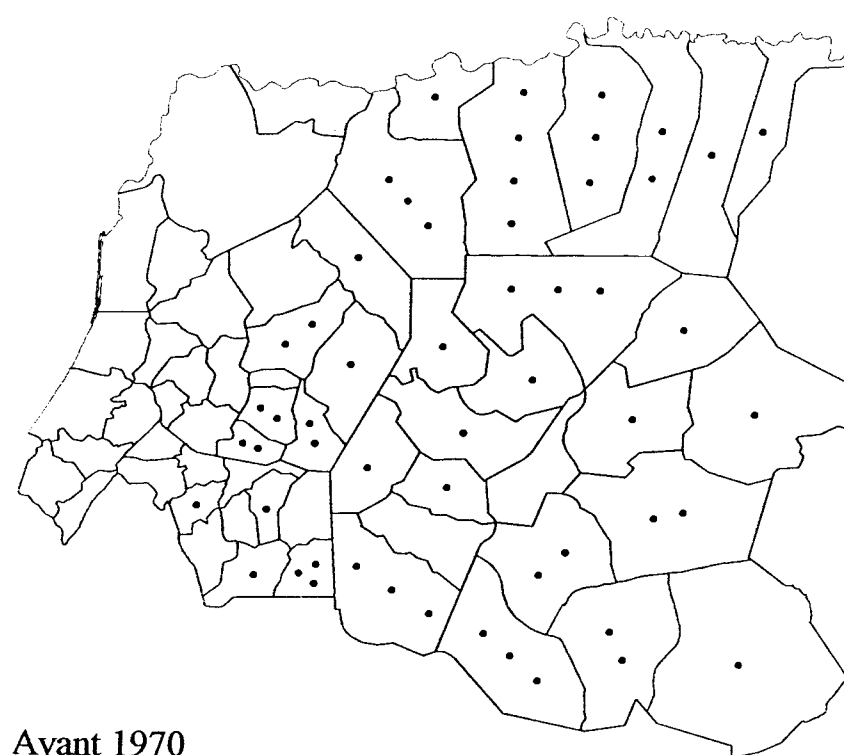
•• 2

••• 3

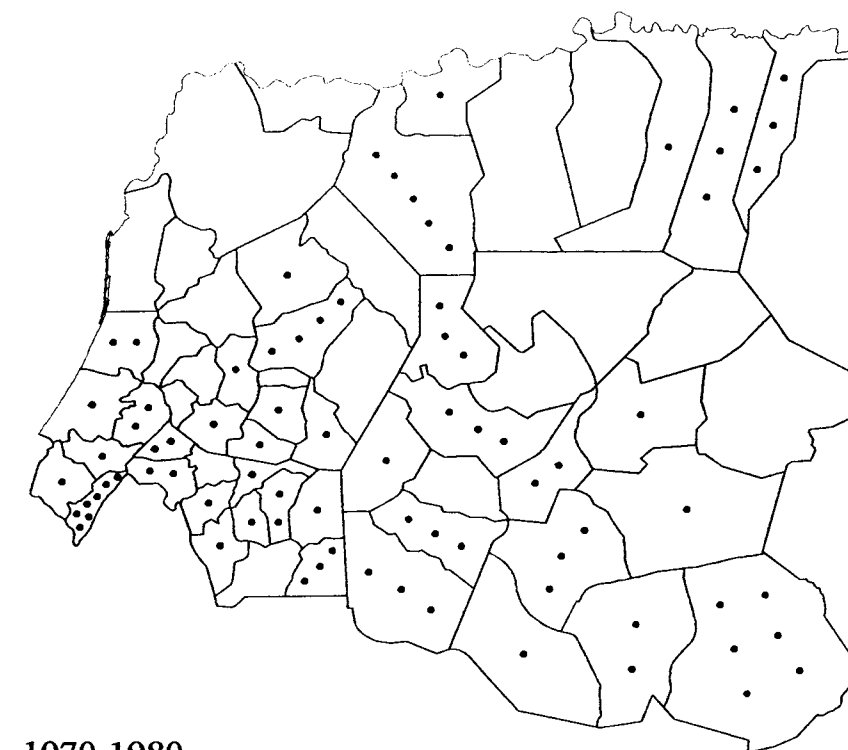
14 ≥ 14

— Limite de
Communauté rurale

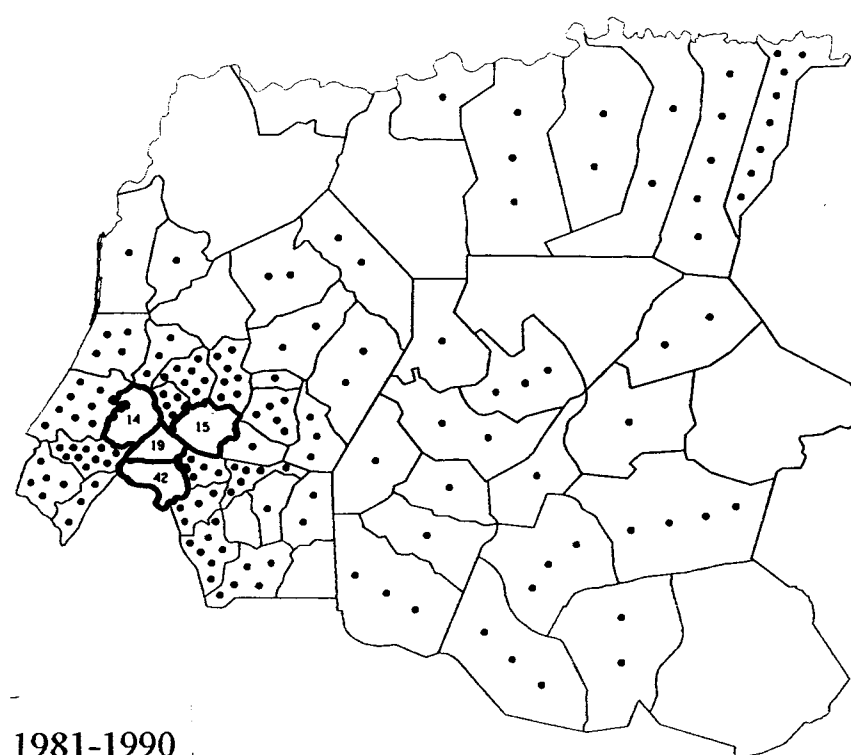
La localisation des points n'a pas de signification géographique dans une communauté rurale.



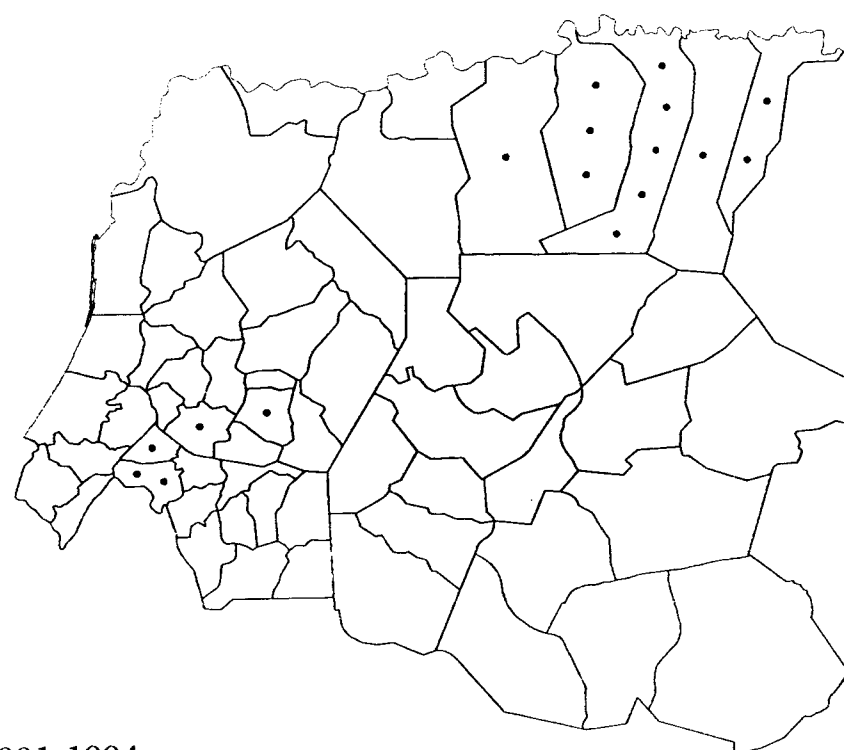
Avant 1970



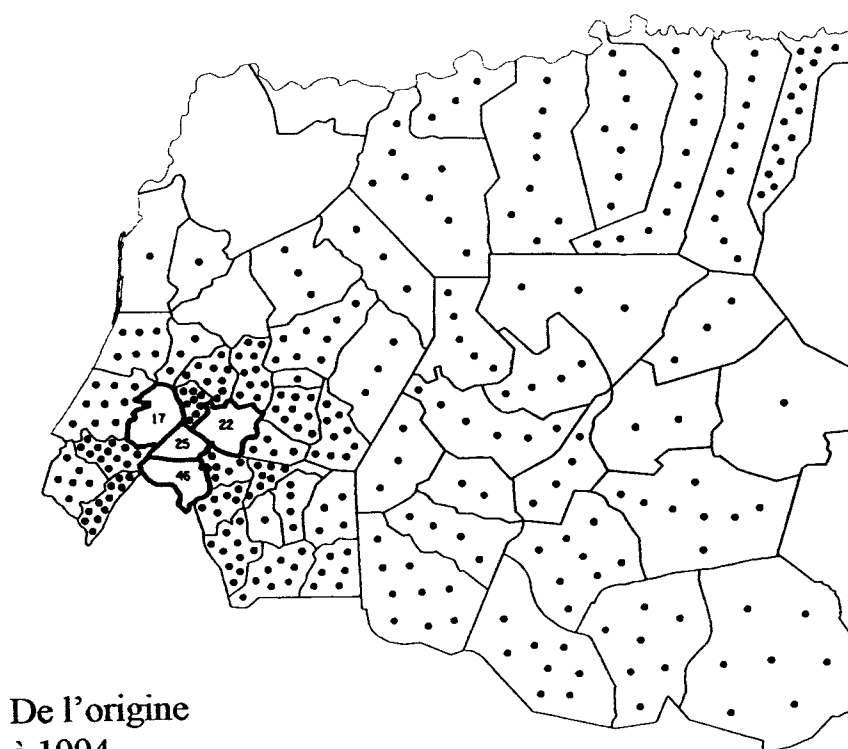
1970-1980



1981-1990



1991-1994



De l'origine
à 1994

Tableau II. Superficies réajustées des communautés rurales du Nord-Ouest sénégalais.

Sources : - DAT, 1976, Superficies.
- DAT, 1983 et 1996, Carte administrative.

CR : Communauté rurale
S : Superficie en km²
S1 : Superficie indiquée par la DAT
S2 : Superficie réajustée, estimée par le Projet Écossén
E² : Écart en km² = S1 - S2
E% : Écart en % = E² / S1 * 100

CR	S1	S2	E ²	E%
Darou Marnane	271,4	254	17,4	6,4
Darou Mousty	402,3	392	10,3	2,5
Mbadiane	271,4	256	15,4	5,6
Ndoyène	147,8	144	3,8	2,5
Sam Yabal	220,7	323	-102,3	-46,3
Touba Mérina	224,5	206	18,5	8,2
Bandégne Wolof	235,8	241	-5,2	-2,2
Diokoul Ndiaw.	205,8	221	-15,2	-7,3
Kab Gaye	299,4	313	-13,6	-4,5
Ndande	142,3	189	-46,7	-32,8
Thieppe	479	464	15	3,1
Guéoul	123,5	126	-2,5	-2,2
Kanène Ndiob	138,5	148	-9,5	-6,8
Loro	153,5	162	-8,5	-5,5
Sagata	187,1	190	-2,9	-1,5
Thiolom Fall	222,7	239	-16,3	-7,3
Barkédji	1872	1932	-60	-3,2
Gassane	1354,8	1168	186,8	13,7
Thiargny	1129	1118	11	0,9
Thiel	1468,6	1494	-25,4	-1,7
Vélingara	2624,4	2549	75,4	2,8
Boulal	698,6	658	40,6	5,8
Dahra	480,6	448	32,6	6,7
Déali	1225,5	1270	-44,5	-3,6
Sagatta	677,4	660	-17,4	-2,5
Dodji	970	1036	-66	-6,8
Labgal	870,4	966	-95,6	-10,9
Louguéré Thioly	1783,2	1755	28,2	1,5
Ouarkhokhe	609,8	568	41,8	6,8
Kamb	849,6	816	33,6	3,9
Mbeuleukhé	698,6	746	-47,4	-6,7
Mboula	690,9	706	-15,1	-2,1
Tessekéré	1711,8	1821	-109,2	-6,3
Koki	269	243	26	9,6
Ndiagne	192,1	183	9,1	4,7
Pété Ouarack	292,1	104	188,1	64,3

CR	S1	S2	E ²	E%
Thiamène	90,3	339	-248,7	-275,4
Gande	743,6	766	-22,4	-3,01
Keur M. Sarr	759	722	37	4,8
Nguer Malal	547,6	563	-15,4	-2,8
Syer	828,1	801	27,1	3,2
Kele Guèye	98	114	-16	-16,3
Mbédiène	240,2	248	-7,8	-3,2
Nguidilé	192,1	213	-20,9	-10,8
Niomré	230,5	247	-16,5	-7,1
Léona	415	421	-6	-1,4
Nguène Sarr	234,4	245	-10,6	-4,5
Sakal	516	519	-3	-0,5
Gaé	611,9	477	134,9	22,04
Mbane	1673,3	1696	-22,7	-1,3
Gandon	538,2	443	95,2	17,6
Mpal	283,3	285	-1,7	-0,6
Rosso Béthio	2385,3	2439	-53,7	-2,2
Rosso Sénégal	594,9	561	33,9	5,6
Aéré Lao	2024,6	1900	124,6	6,1
Médina Ndiatbe	849,1	823	26,1	3,07
Mboumba	320,1	323	-2,9	-0,9
Dodel	1029,4	991	38,4	3,7
Gamadji Sarré	1457,1	1386	71,1	4,8
Guédé	1558,4	1551	7,4	0,4
Galoya Toucouleur	828,8	542	286,8	34,6
Pété	1623,2	1923	-299,8	-18,4
Fanaye	1870,4	1819	51,4	2,7
Ndiayène Pendao	1367,9	1339	28,9	2,1
Ensemble	48104,8	47805	265	0,5

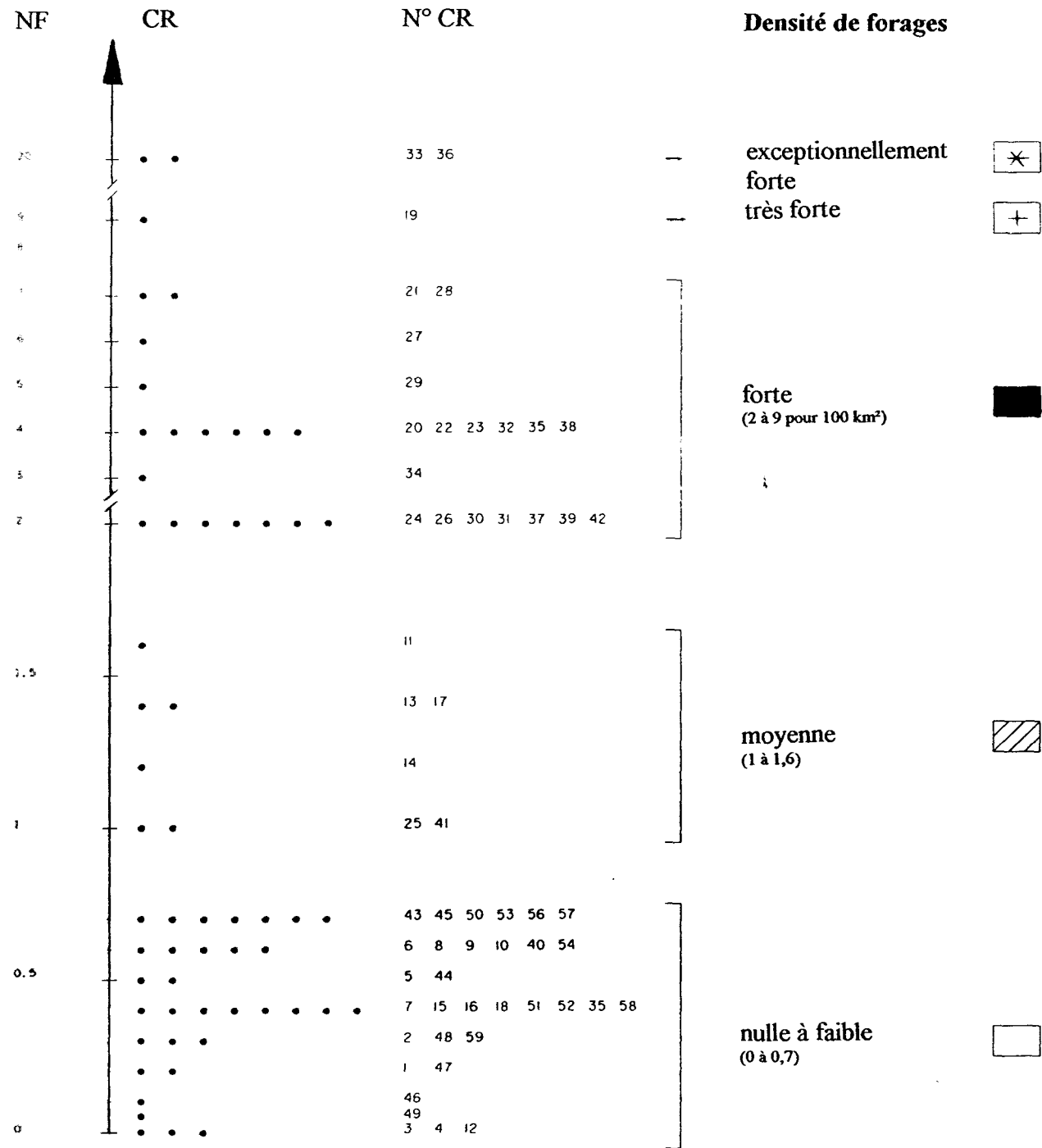
Tableau III. Données et indications utilisées.

Sources :
- BNR, 1988. Répertoire des villages. Région de Louga.
- Ministère de l'Hydraulique, Répertoire des forages (et points d'eau) : 1980, 1992, 1995 (tomes I et II).

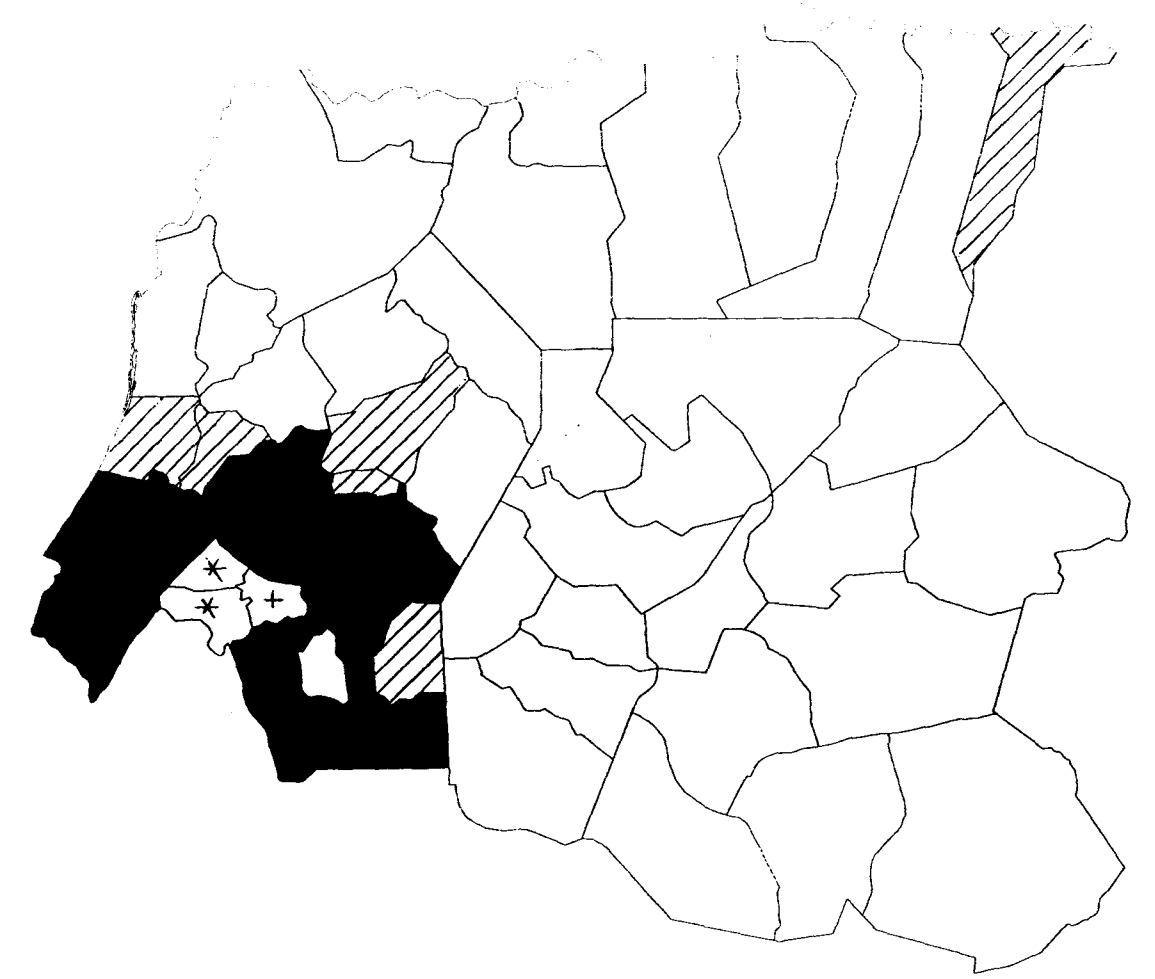
V : nombre de Villages en 1988.
H : nombre d'Habitants en 1988.
F : nombre de Forages en 1994.
IV : Indicateur d'équipement des Villages = nombre de forages pour 100 villages.
IH : Indicateur d'équipement des Habitants = nombre de forages pour 10 000 habitants.
D : Densité d'implantation = nombre de forages pour 100 km² de la communauté rurale.

N°	Communautés rurales	V	H	F	IV	IH	D
1	Gandon	184	29 547	1	1	0,3	0,2
2	Mpal	84	14 514	1	1	0,6	0,3
3	Rosso Béthio	208	32 814	0	0	0	0
4	Rosso Sénégal	58	17 309	0	0	0	0
5	Mbane	170	19 435	8	5	4	0,5
6	Gaé	76	12 630	3	4	2	0,6
7	Fanaye	108	13 172	8	7	6	0,4
8	Ndiayène Pendao	78	7 469	8	10	6	0,6
9	Guédé	115	21 544	10	9	4	0,6
10	Gamadji Sarré	183	12 396	10	5	8	0,7
11	Dodel	97	13 957	15	16	10	11,6
12	Sakal	121	14 594	0	0	0	0
13	Léona	126	13 885	6	5	4	1,4
14	Nguène Sarré	73	7 433	3	4	4	1,2
15	Keur Momar Sarr	90	13 444	3	3	2	0,4
16	Gande	41	3 838	3	7	8	0,4
17	Nguer Malal	84	12 533	8	10	6	1,4
18	Syer	28	3 758	3	11	7	0,4
19	Mbédiène	92	8 903	22	24	24	9
20	Nguidilé	75	12 026	9	12	7	4
21	Kel Guèye	47	6 625	8	17	12	7
22	Niomré	48	1 0231	10	21	9	4
23	Koki	70	4 099	9	13	21	4
24	Ndiagne	45	12 279	4	9	3	2
25	Pété Ouarack	18	14 742	1	5	6	1
26	Thiamène	59	2 818	9	15	31	2
27	Ndande	49	1 395	11	22	7	6
28	Bandégne wolof	84	9 692	17	20	17	7
29	Diokoul Diawrine	69	9 259	12	17	8	5
30	Kab Gaye	52	7 242	6	12	8	2
31	Thieppe	103	8 598	9	9	10	2
32	Sagata	78	11 473	6	8	5	4
33	Thiolom Fall	100	15 293	46	5	3	20
34	Kanène Ndiob	55	6 689	5	9	7	3
35	Loro	36	6 458	7	19	11	4
36	Guéoul	50	9 068	25	50	27	20
37	Darou Mousty	85	20 359	8	9	3	2
38	Darou Marnane	115	11 494	10	9	9	4
39	Mbadiane	60	8 454	6	10	7	2
40	Ndoyène	50	5 734	1	2	2	0,6
41	Sam Yabal	38	5 329	4	10	7	1
42	Touba Mérina	53	5 641	4	9	8	2
43	Kambe	90	10 004	6	7	5	0,7
44	Mbeuleukhe	30	3 637	4	13	10	0,5
45	Mboula	32	5 200	5	16	10	0,7
46	Tessekéré Forage	34	3 206	3	9	9	0,1
47	Dodji	40	5 248	2	5	3	0,2
48	Labgal	25	3 485	3	12	8	0,3
49	Louguéré Thioly	30	3 325	1	3	3	0,05
50	Ouarkhokh	78	10 456	4	5	3	0,7
51	Dahra	65	23 433	2	3	1	0,4
52	Boulal	68	6 780	3	4	4	0,4
53	Dealy	70	10 293	9	13	8	0,7
54	Sagatta	56	8 641	4	7	4	0,6
55	Barkédji	62	11 883	8	13	6	0,4
56	Gassane	51	11 591	8	16	6	0,7
57	Thiargny	50	5 907	8	16	13	0,7
58	Thiel	42	5 240	7	17	11	0,4
59	Vélingara	58	6 183	7	12	11	0,3

Figure 2. Densité d'implantation des forages
(en nombre de forages pour 100 km² par CR).



NF : Nombre de forages pour 100 km² par CR
 CR : Communauté rurale
 —//— Changement d'échelle
 • 33 : CR N° 33



C. Prigent - ECOSSEH, 1997

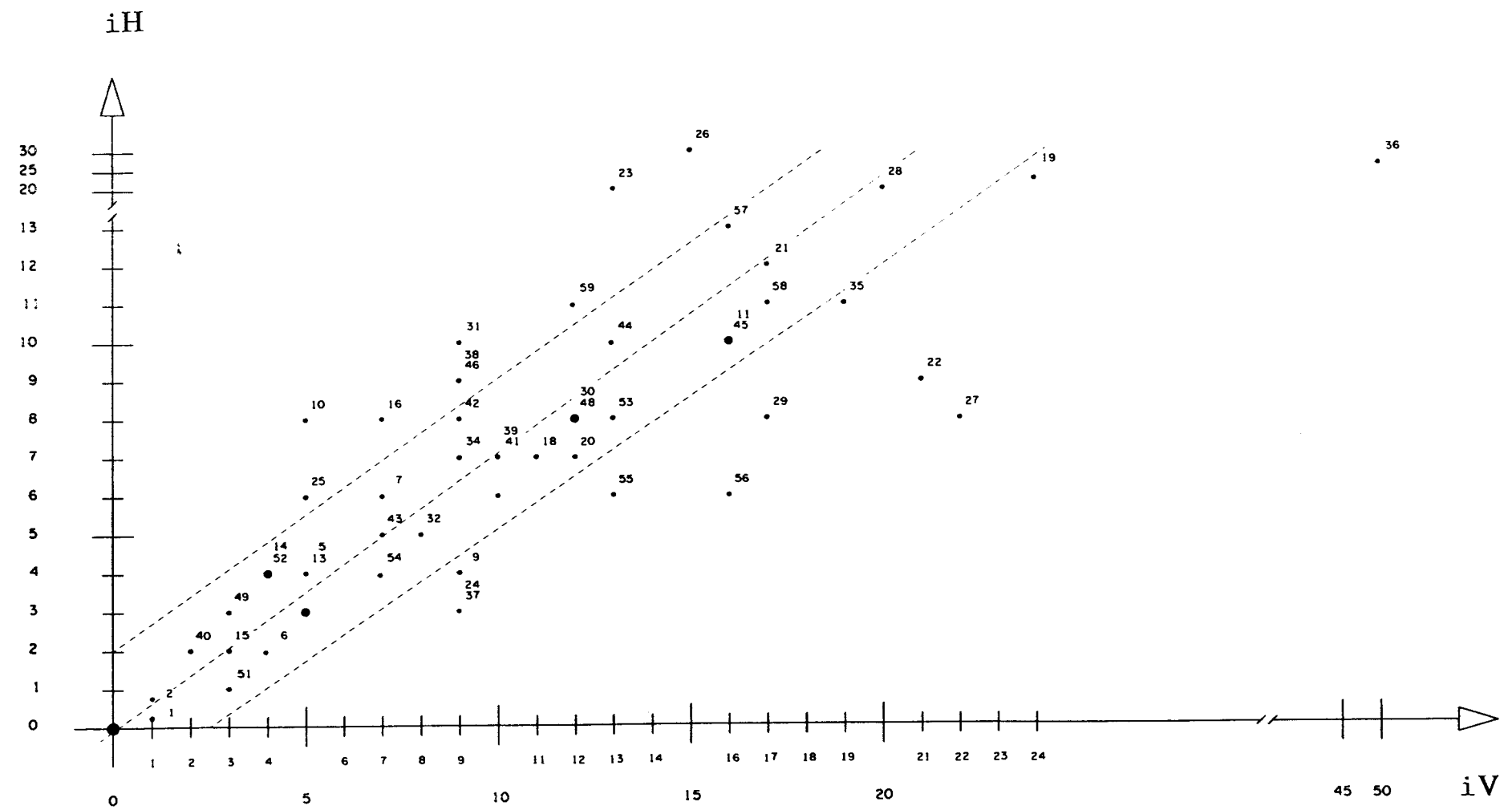
Figure 3. Niveaux d'équipement des communautés rurales en forages hydrauliques par rapport aux nombres de forages, de villages et d'habitants.

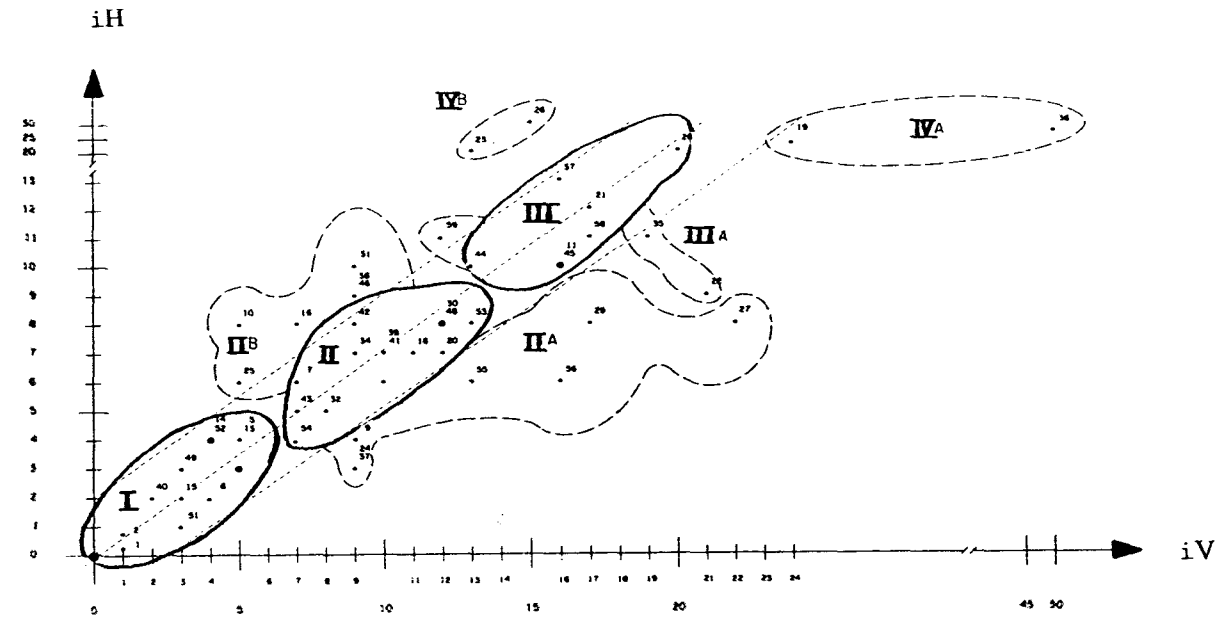
Indicateurs i

iV : nombre de forages pour 100 villages
 iH : nombre de forages pour 10 000 habitants

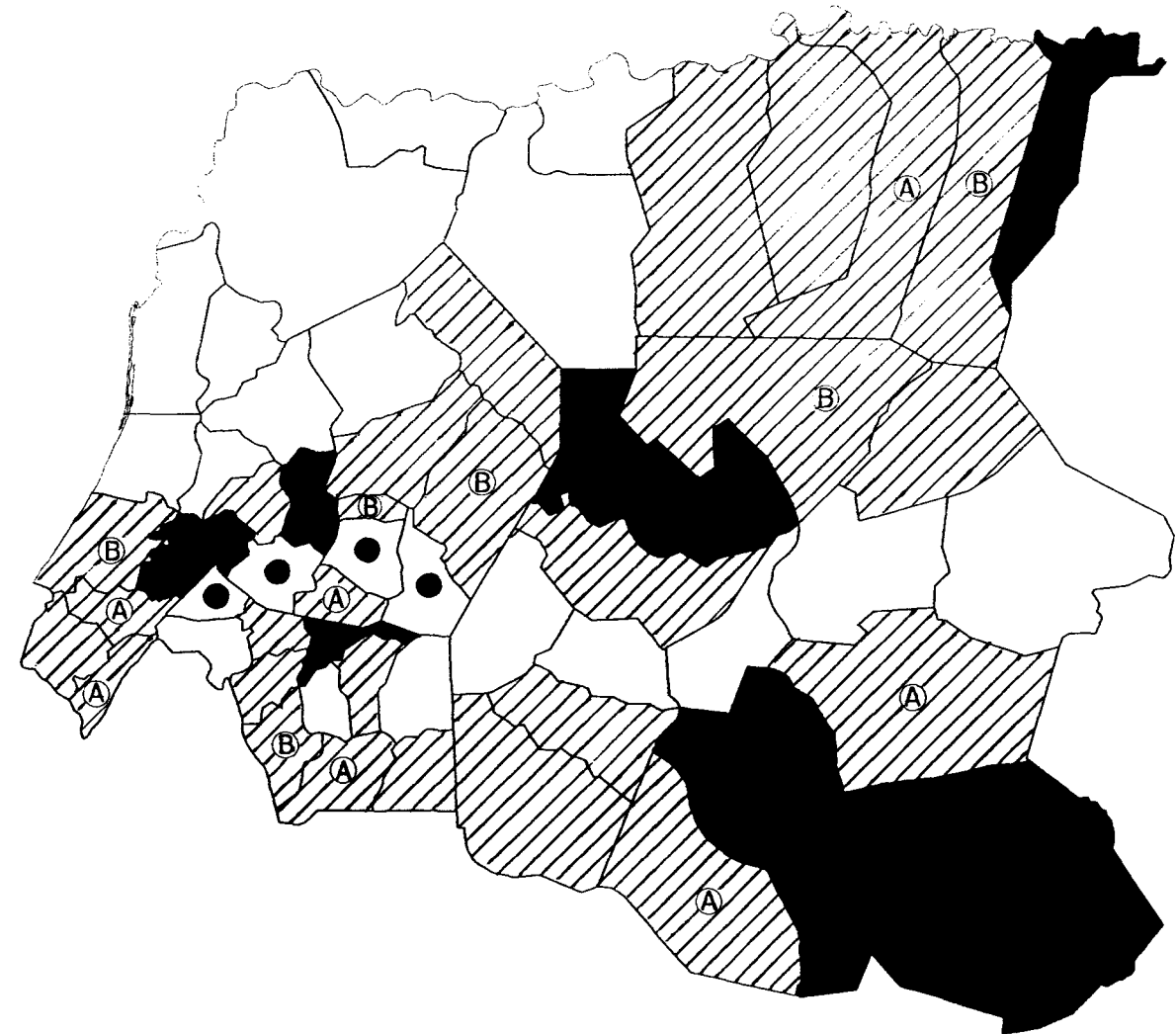
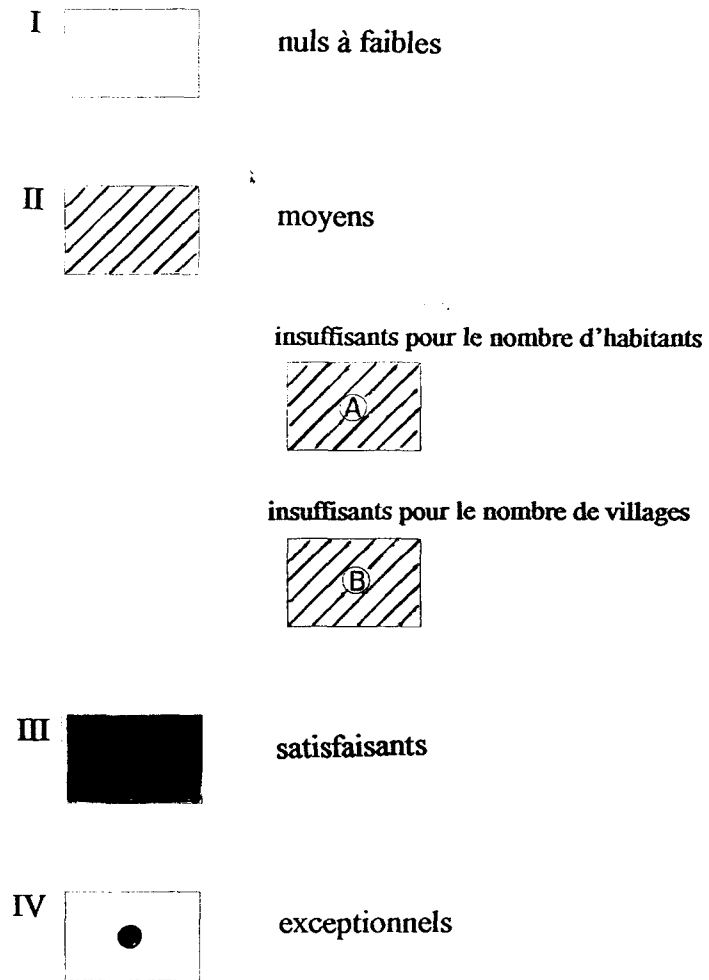
• 1 communauté rurale n° 1
 • deux communautés rurales
 ● trois communautés rurales

Ⓜ II type de communauté rurale n° II (type normal ou moyen)
 ○ écart par rapport à un type





Niveaux d'équipement
des communautés rurales :



L'élevage

par

Alioune Bâ
Jean-Pierre Ngor Ndour
Louis-Albert Lake

1. Production des parcours naturels.

1.1. L'information utilisée.

Les cartes de production végétale du Sénégal, établies par le CSE, constituent la principale source d'information consultée. Les outils qui ont permis la mise au point de ces cartes sont essentiellement : l'imagerie satellitaire et les enquêtes sur le terrain.

Le CSE utilise des données multispectrales NOAA-AVHRR⁽¹⁾ dont la résolution est d'environ 1 x 1 km (CSE, 1996). Ces données sont soumises aux prétraitements d'usage, notamment à la normalisation et aux corrections géométriques.

Ainsi rectifiées, elles sont ensuite exploitées grâce à un indice de végétation NDVI⁽²⁾. Celui du CSE est un simple rapport normalisé entre le Proche Infra-Rouge (PIR) et le Rouge (R) : $(PIR - R) / (PIR + R)$.

Le résultat est validé par des données-terrain sous la forme de quantité annuelle de matière sèche mesurée sur 36 sites de contrôle au sol qui concerne autant la production herbacée que la production ligneuse. La corrélation NDVI-biomasse ainsi obtenue permet d'établir les cartes de production végétale (CSE, 1996).

1.2. Le traitement de l'information par le Projet Écossén.

Pour les cartes de production ayant des zones ennuagées, nous avons opté pour l'extrapolation lorsque ces zones sont faiblement étendues et le retrait de l'imagerie ou de toute l'image si elles le sont trop. Après la lecture numérique des cartes de production, la gamme des classes définie par le CSE a été réduite à 3 classes pour les besoins du Projet Écossén comme indiqué au tableau I.

⁽¹⁾ NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) est l'agence de diffusion des produits de satellites embarquant notamment des capteurs AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer).

⁽²⁾ NDVI : Normalized Difference Vegetation Index.

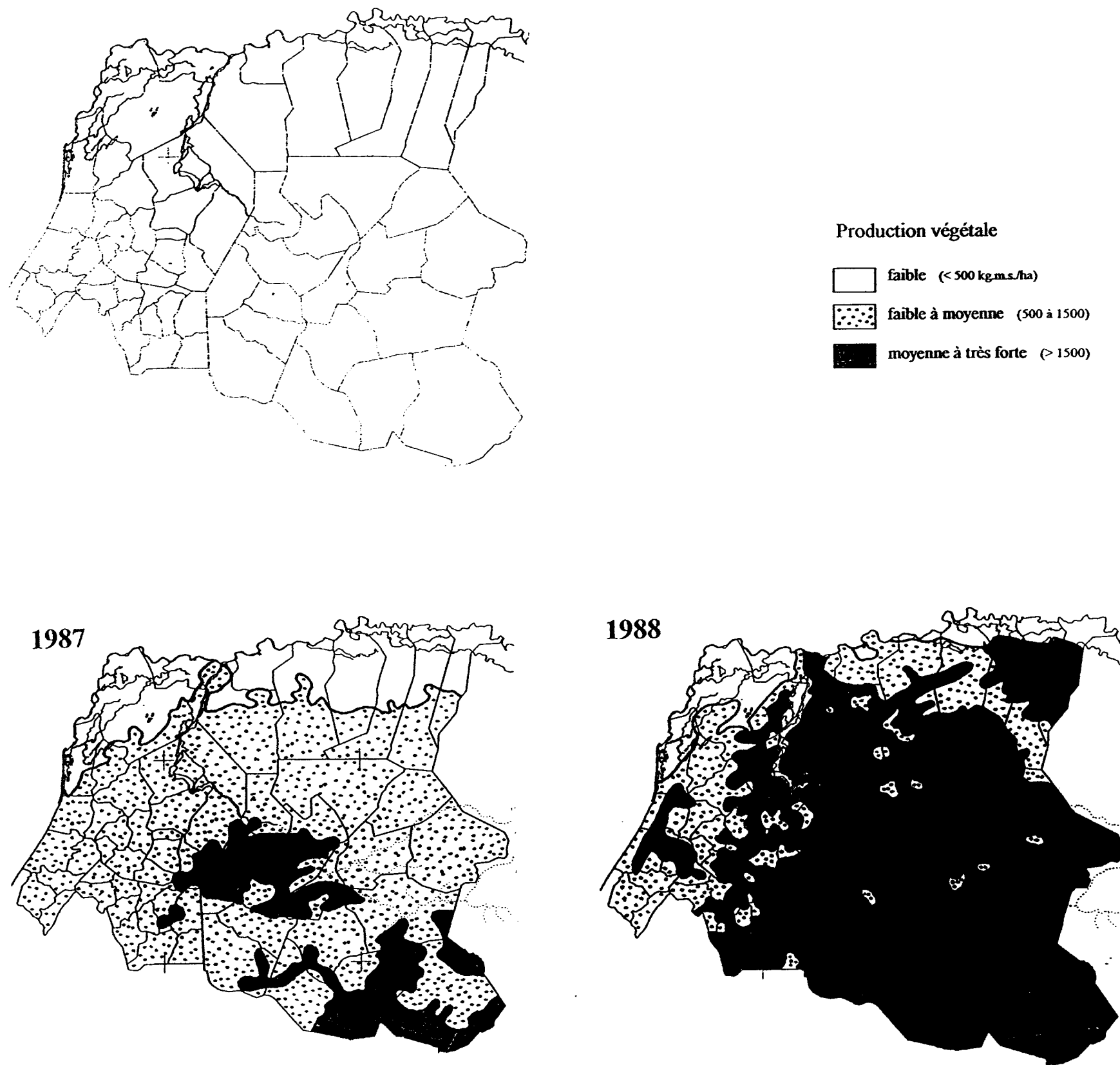
Photographie (hors-texte) n° 4.
Aspect du village de Labgal,
au Ferlo, en juillet 1995.
Cliché P. J. Diouf



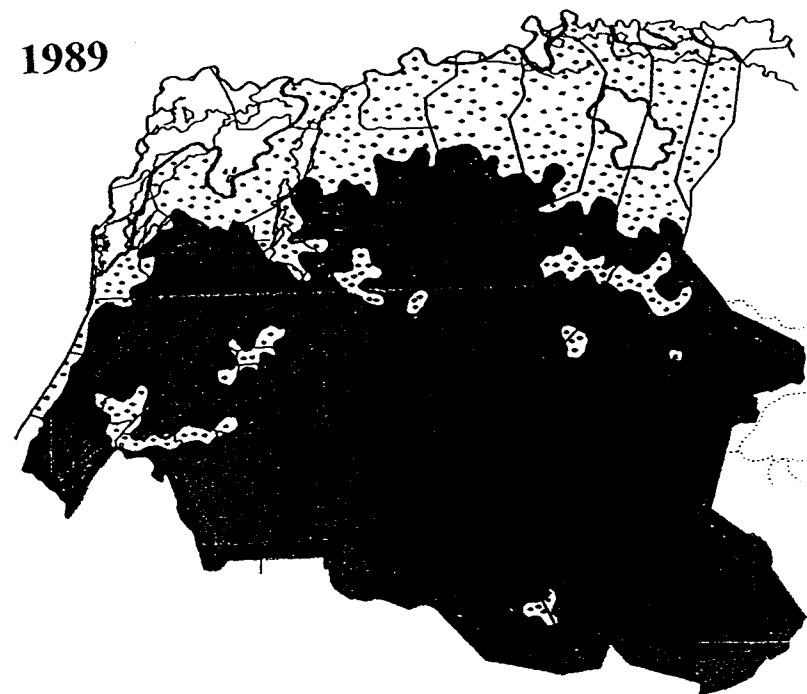
Figure 1.
Production végétale en kg m.s./ha.

Sources :

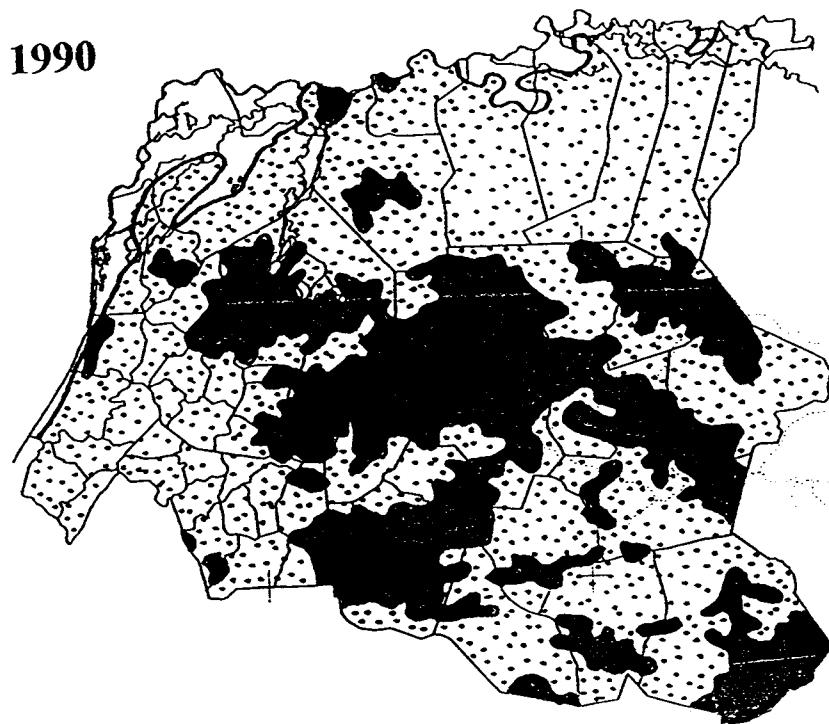
- CSE, Production végétale. Cartes au 1/2 500 000, 1987 à 1996.
- CSE, 1996. L'imagerie NOAA/AVHRR dans la veille environnementale. Dakar, 57 p.
- DAT, 1983, 1996. Carte des limites administratives.



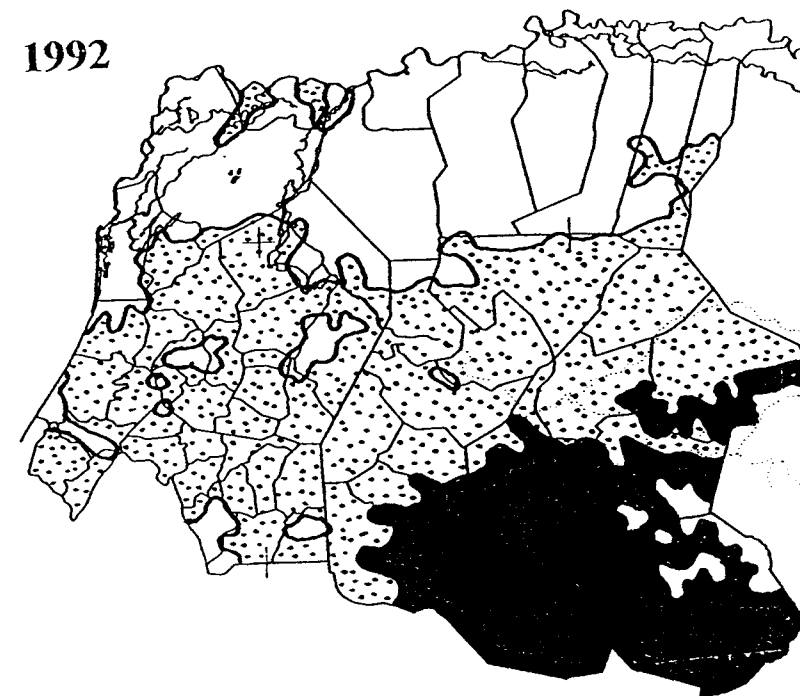
1989



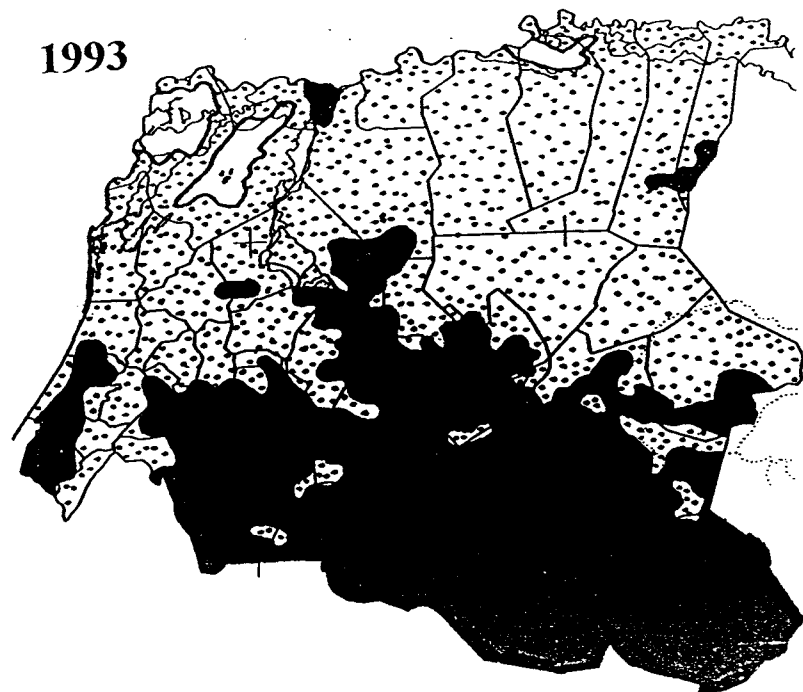
1990



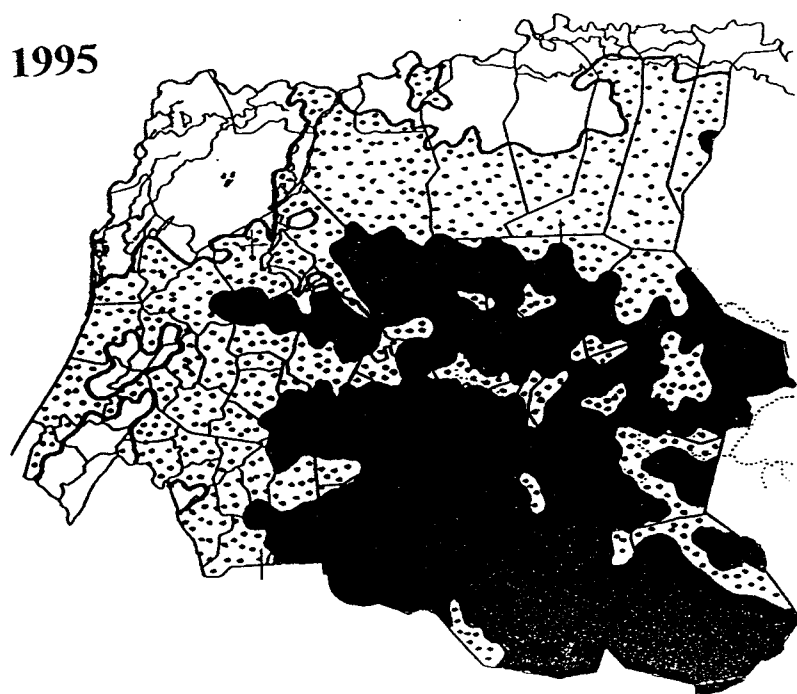
1992



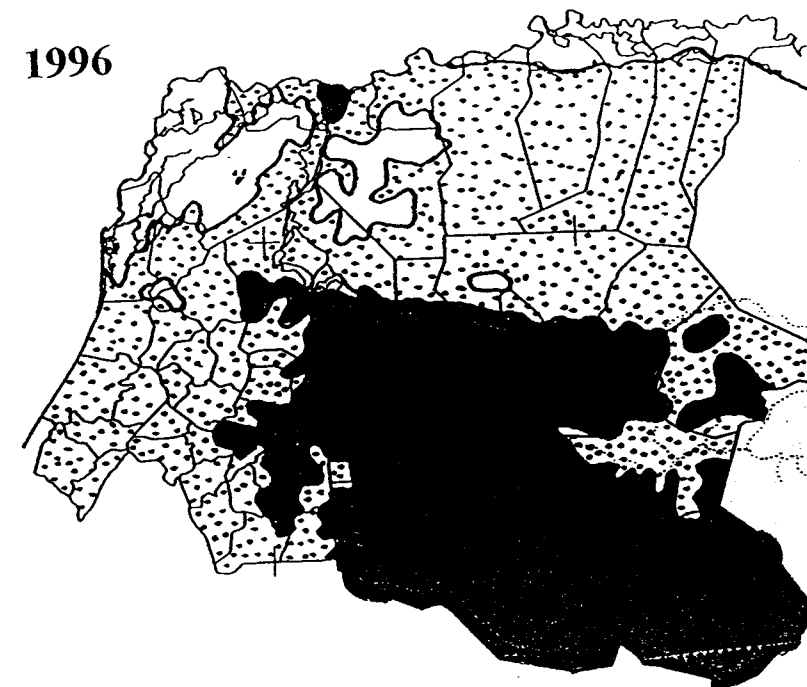
1993



1995



1996



Tableaux I. Fréquence de position de quelques sites du Nord-Ouest du Sénégal dans la sériation des valeurs de production végétale cartographiées par le CSE.

Classe de production végétale (CSE)		Fréquence de position interannuelle des sites				
N°	kg.m.s/ha	Ross Béthio et Djoudj	Keur Momar Sarr	Linguère	Sud-Est de Linguère	Classes Projet Écossén
1	Très faible					1
2	< 500	●				
3	500-1000		•	•		2
4	1000-1500		●	•	•	
5	1500-2000		•	●	•	3
6	2000-2500		•	•	•	
7	2500-3000				•	
8	3000-3500				•	
9	3500-4000				•	
10	4000-4500				•	
11	4500-5000				•	
12	> 5000					

• 1 • 2 • 3 ● 4 ● ≥ 5 cartes du CSE (sur un total de 10 cartes examinées)

1.3. Les cartes de production végétale.

La simplification ainsi faite, par lecture des cartes du CSE et reconstitution des nouvelles limites, permet d'obtenir une série de cartes plus aisées à lire et à exploiter (figure 1 ; 1987 à 1996).

Les années 1991 et 1994 ne sont pas représentées du fait de la trop grande importance des nuages. Sur l'ensemble des cartes deux situations extrêmes se présentent : l'extrême Nord-Ouest de la Région de Saint-Louis est largement déficitaire au plan de la production végétale. Cela apparaît à toutes les dates. Cette zone correspond au delta (Ross Béthio et Djoudj). La zone de Podor est également remarquable de ce point de vue (< 500 kg m.s./ha). Ce milieu semi-aride s'oppose à l'extrême Sud-Est de la Région de Louga où la biomasse est en général assez fournie même pour les années sèches, atteignant des valeurs supérieures à 1500 kg m.s./ha. Une analyse comparée des planches permet d'identifier une année de déficit sévère (1987) et une année d'abondance relative de production végétale (1989).

Ces cartes ont été comparées aux données pluviométriques (cf. début du présent rapport). Il en ressort que la quantité de biomasse produite chaque année est déterminée par la situation pluviométrique de l'année précédente. En somme deux séquences pluviométriques régissent la situation qui se présente sur les cartes primaires. Trois années sont relativement humides (1987, 1989 et 1990). La séquence humide couvre au moins deux ans dans les stations les plus méridiennes (Louga 1987, 1988, 1989 ; Linguère (1987, 1988, 1989 et 1990). La séquence sèche s'étale de 1991 à 1996, qui correspond à un déficit pluviométrique et corrélativement à une distribution de biomasse très faible. Par ailleurs, de 1987 à 1988, on note une augmentation importante de la production végétale, qui correspond à une meilleure distribution de la biomasse pour ces deux années.

2. La répartition du cheptel.

Nous ne présentons ici que les données de 1989 et 1992 du CSE et de la Direction de l'élevage (tabl. II). Elles sont ensuite comparées aux cartes primaires de production végétale.

Tableau II. Répartition du cheptel 1989 et 1992.

Départements		1989					1992				
		Louga	Linguère	Kébémér	Dagana	Podor	Louga	Linguère	Kébémér	Dagana	Podor
Bovins	DE	96 200	257 500	54 600	65 000	152 250	103 200	196 430	46 970	68 600	166 100
	CSE	66 316	169 816	43 470	96 072	103 048	28 608	215 022	55 202	44 869	38 575
Ovins et caprins	DE	270 000	631 200	420 500	98 400	294 000	301 300	718 000	586 800	104 900	369 500
	CSE	131 498	321 860	87 343	104 913	288 534	148 862	602 297	125 604	82 375	269 595
Equins	DE	32 900	15 100	33 800	1 740	2 420	36 088	10 200	20 600	2 450	13 450
	CSE						3 083	12 850	3 150		1 771

DE : Direction de l'Élevage ;
CSE : Centre de Suivi Ecologique, 1989 et 1992.

2.1. Les statistiques de la Direction de l'élevage

Depuis le recensement de 1961, il n'y a plus eu de recensement des effectifs du cheptel. Les campagnes de vaccination représentent la seule source d'information. Les effectifs sont corrigés chaque année à l'aide d'un taux de correction variant de 7 % à 15 %.

Cependant, depuis 1993, les taux de croît numérique appliqués pour estimer l'évolution des effectifs du cheptel sont : bovins (2,5 %), ovins/caprins (3,5 %) etc. Il convient de préciser que ces taux sont généralement utilisés en référence à une année normale, c'est-à-dire une année au cours de laquelle le troupeau est stable dans sa structure et le croît numérique réel positif. En effet, exceptés les bovins et les petits ruminants pour lesquels quelques paramètres zootechniques actualisés existent, aucune autre information fiable n'est disponible à ce jour au sujet de la croissance numérique du cheptel.

2.2. La méthode de dénombrement du CSE.

Le cheptel est estimé à partir des vols systématiques de reconnaissance (VSR). C'est une technique d'estimation de différentes sources à partir d'un échantillonnage systématique. Elle permet d'estimer dans une aire géographique déterminée les effectifs et la distribution du bétail. L'équidistance des lignes de vol est de 5 km. Les observations sont faites selon des intervalles de temps de 30 secondes et à l'intérieur de bandes d'observation de 150 mètres pour les deux observateurs chargés du dénombrement du bétail (CSE, 1991).

Le traitement des données est fait à l'aide d'un logiciel approprié. Une référence géographique est attribuée à chaque point-échantillon selon le système UTM. Le traitement tient compte de la vitesse horaire de l'avion (180 km/h) et de la position de celui-ci en début et à la fin de chaque ligne. Cette manipulation ramène les données brutes à un nuage de points-échantillons dans un espace de pixels de 1 x 1 km. Les erreurs d'estimation sont corrigées. Le coefficient de correction est calculée pour chacun des observateurs et pour chaque espèce. Les densités de bétail et par espèces sont calculées tout d'abord par point-échantillon sur la base de la formule suivante :

$$\text{Densité} = \frac{\text{Ensemble des estimations corrigées}}{\text{Superficie des points-échantillons}}$$

La valeur d'un attribut pour une unité de découpage correspondant à la moyenne de cet attribut pour tous les points situés à l'intérieur de cette unité.

3. Analyse comparative des données.

En comparant les données du CSE et celles de la Direction de l'élevage, une mise en garde s'impose étant donné les écarts de décompte du cheptel entre les deux institutions pour les mêmes dates. Le croisement des données de la D.E. et des cartes de biomasse est de peu d'intérêt pour l'analyse multivariate. La Direction de l'élevage estime le cheptel sans tenir compte des mouvements du bétail. Quant aux données du CSE, bien que lacunaires, elles permettent d'identifier une corrélation positive entre le disponible en matière végétale sèche et la distribution du cheptel. En effet, en 1989 l'effectif des bovins est de 66 136 à Louga, ce qui correspond à une bonne année de production végétale. En 1992, année de faible production végétale, l'effectif des bovins a diminué, jusqu'à 28 608 à Louga. Au même moment les effectifs de bovins du département de Linguère passent de 169 816 en 1989 à 215 022 en 1992. Il s'agit donc d'une augmentation significative des effectifs liée au mouvement du bétail de l'extrême Nord vers l'extrême Sud-Est (Linguère, Vélingara). Cette fluctuation des effectifs du bétail est valable pour les autres départements de la zone d'étude.

Au cours des prochains mois de réalisation du Projet Écossén, ces résultats seront soumis à une analyse diachronique systématique afin d'aboutir à une cartographie des types d'évolution des espaces pastoraux.

Bibliographie.

CSE, 1991. Etude de la distribution spatiale et des mouvements de bétail par enquêtes aériennes, 1989-1990, 21 p.

CSE, 1996. L'Imagerie NOAA/AVHRR dans la veille environnementale. Rapport technique, 57 p.

Ministère du développement rural et de l'hydraulique. Rapports annuels, 1989 et 1992.

Sagna P., 1996. Pluviométrie (cf. début du présent rapport).

Evolution de la production agricole

par

Magatte Ba
El Hadj Seydou Nourou Touré

Introduction.

Les planches qui suivent constituent la présentation descriptive des grandes tendances de l'agriculture dans le Nord-Ouest du Sénégal. Il s'agit, dans l'ordre officiel de notre principale source, qui est le Ministère de l'Agriculture, des départements de Kébémér, Linguère, Louga, Dagana et Podor. Ce "niveau départemental" est imposé par l'absence de données plus fines.

Dans l'ensemble, les départements étudiés ont adopté l'essentiel des spéculations de l'agriculture sénégalaise, mais de manière très variable. Cependant, dans ce premier rapport, nous nous tiendrons à une présentation des superficies emblavées et des productions selon leur variation dans le temps en remettant pour la suite l'analyse spatiale proprement dite. En somme, ce sera une présentation des éléments statistiques de base, qui nous permettra de partager avec le lecteur l'incontournable ébauche d'expérience dans un travail comme celui-ci (collecte, sources, traitement, etc).

Nous devons nos statistiques agricoles à deux sources : les données de la Division des statistiques agricoles du Ministère de l'Agriculture et celles de la SAED (Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta du Fleuve Sénégal, des Vallées du Fleuve Sénégal et de la Falémé, Saint-Louis). Nous utilisons directement ces données de base, sans nous arrêter, ici, sur leur discussion.

Les données ont entièrement été saisies et traitées sous Excel.

1. Les cultures irriguées.

Les délégations de Dagana et Podor, définies par la SAED, correspondent au secteur alluvial qui limite à l'extrême nord la zone d'étude du projet ECOSSEN. Les statistiques agricoles publiées par la SAED et concernant la décennie 1981-1991 ont permis un traitement graphique illustrant globalement le développement rapide de la culture irriguée dans le delta et la vallée du fleuve Sénégal (figures de 1 à 5).

Qu'il s'agisse du riz paddy, de la tomate ou des cultures maraîchères de saison froide, ce type d'agriculture était d'un niveau relativement bas au début des années 1980. Pour les deux premières spéculations, les superficies et les productions sont représentées séparément pour rendre simple la juxtaposition des évolutions dans les deux délégations. En saison froide, les cultures maraîchères ne sont pratiquées que dans la moyenne vallée (à partir de Podor, figure 5) ; d'où la représentation combinée des superficies et des productions.

La montée en flèche est particulièrement nette pour le riz paddy ; elle est d'une variabilité interannuelle caractéristique pour la tomate. Cette dernière a connu, à Dagana, une chute de production considérable en 1985-1986 et en 1988-1989. De même, le maraîchage à Podor a été particulièrement affecté en 1990-1991. Il convient d'en rechercher la signification, avec une appréhension raisonnée des conditions de production.

Figure 1.

Superficies totales cultivées en riz paddy

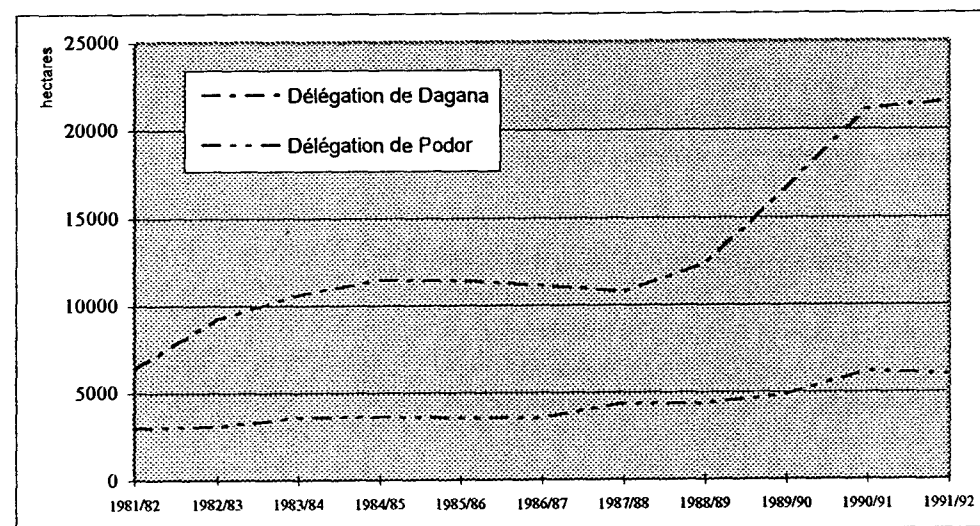


Figure 2.

Production totale de riz paddy

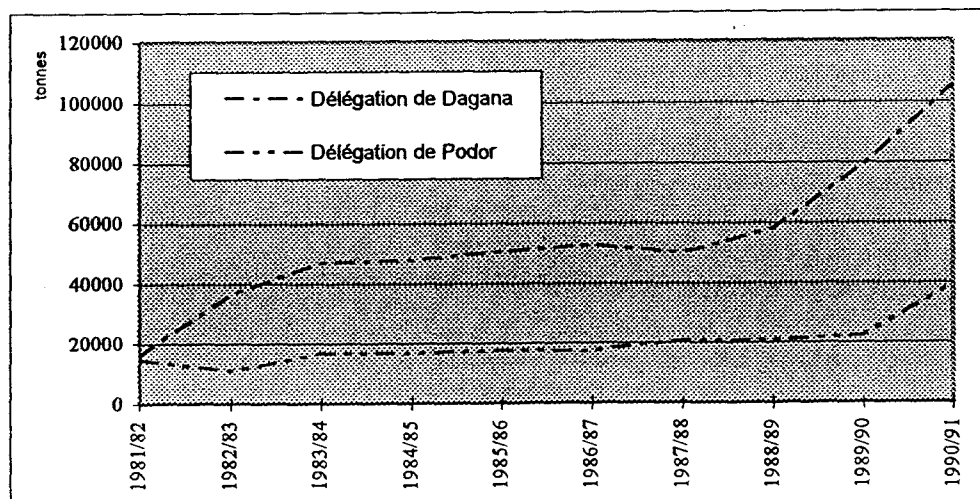


Figure 3.

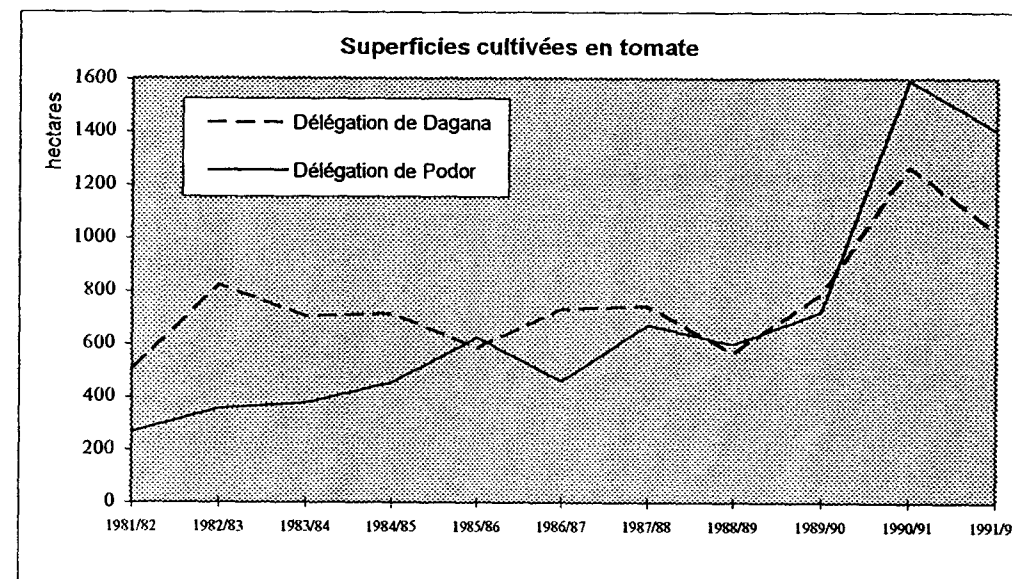
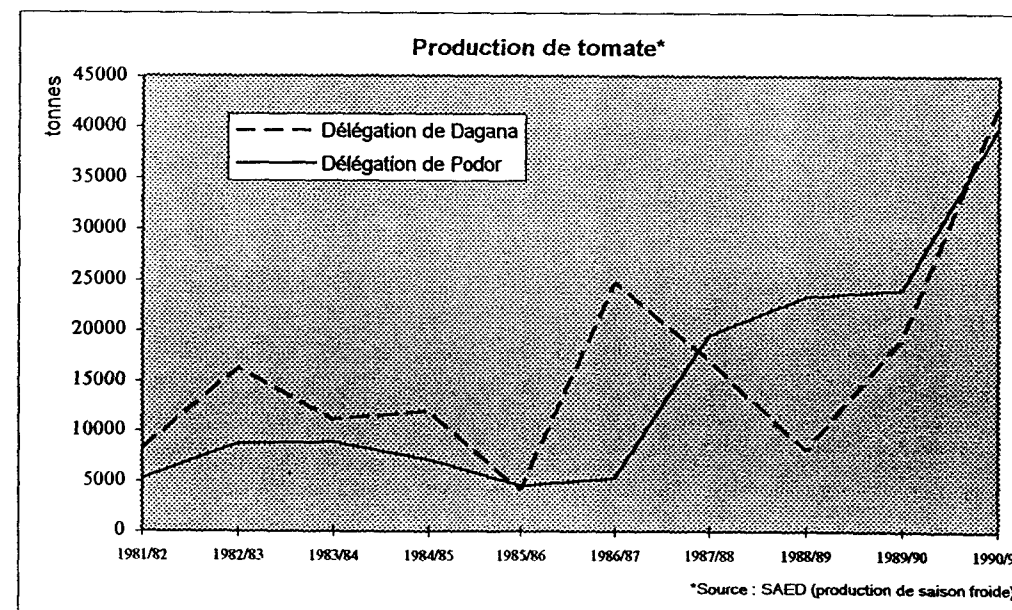


Figure 4.



2. Les cultures pluviales.

Tous les départements sont concernés par l'agriculture sous pluie, mais à des degrés divers. L'évolution des superficies et de la production d'arachide d'huilerie est donnée en figures 6, 7 et 8.

Le découpage de la série traitée selon les trois décennies 1960-69, 1970-79 et 1980-89 fait apparaître la prépondérance du département de Kébémér dans la production d'arachide d'huilerie. Linguère et Louga se placent respectivement en 2^e et en 3^e position. Ils sont suivis de très loin par Dagana dont la production est très faible.

L'année 1969 est choisie comme année de référence sur l'ensemble des quatre départements, pour calculer et représenter les indices de production base 100 en 1969. Le choix de cette année s'explique par le fait qu'elle reçoit d'importantes quantités de pluies.

La progression de l'indice apparaît très irrégulière d'un département à l'autre.

Il reste en général supérieur à 100 de 1960 à 1968 dans le département de Kébémér, exceptées les années 1962 et 1966 où la valeur de l'indice se situe respectivement à 86,9 et à 97,3. De 1970 à 1980, la valeur de l'indice progresse de manière très irrégulière. Elle double en 1978 celle de 1969 ; elle est à 205 points. Cette année, qui connaît une forte baisse, est encadrée par des années où les valeurs enregistrées restent en deçà de celle de 1969. A partir de 1982, la progression de l'indice reste nettement en deçà de la valeur de l'année de référence (pour Kébémér, Linguère et Dagana ; dès 1975 pour Louga).

Dans le département de Linguère, la progression de l'indice est irrégulière sur toute la période 1960-1994. On enregistre par rapport à 1969 des hausses spectaculaires qui portent la valeur de l'indice à plus de 600 points en 1967, 1971 et 1974 (soit plus de six fois celle de l'année de référence). L'année 1972 reste une année de faible production, car la valeur de l'indice régresse jusqu'à atteindre 16,7 points ; elle est inférieure de 10 points à la valeur de l'indice de l'année 1992. De 1975 à 1994, on observe que des valeurs inférieures à celle de 1969. C'est au cours de cette période que les valeurs enregistrées sont en général plus proches de 100.

Dans le département de Louga, les années 1965 à 1967, ainsi que 1974 et 1975 sont les rares années où l'indice passe au dessus de 100. Autant dire que la valeur de l'indice pour toutes les autres années, dans la période 1960-1994, reste nettement en deçà de 100. Les valeurs enregistrées en 1983 (2,8) et en 1992 (5,1) sont des plus faibles.

Dans le département de Dagana enfin, la production d'arachide d'huilerie, comparée à celle des autres départements, reste insignifiante. L'évolution de l'indice de la production présente le même profil erratique. De 1964 à 1967, on a des valeurs supérieures à 100. Elles culminent à 192 en 1965. Hormis cette période, les indices supérieures à 100 concernent les années 1975 et 1981. Seules 6 années ont des productions au-dessus de celle de l'année de référence. Les autres années correspondent à une régression de la production qui enregistre son niveau le plus bas en 1986.

Au total, sur l'ensemble de la période 1960-1994 et pour l'ensemble des départements, la production régresse à partir de 1975 pour Linguère et Louga et n'atteint pas le niveau de 1969. Il en est de même à Kébémér en 1982 et à Dagana en 1981. On a une régression profonde et durable de la production d'arachide d'huilerie sur une période supérieure à 10 ans.

Les figures 9 à 11 décrivent l'évolution des cultures dites « vivrières ».

La plupart des remarques faites plus haut, pour les cultures spéculatives, restent valables pour les cultures vivrières, avec le département de Kébémér en tête de production. Il est également, avec Linguère, celui dont la variabilité de production dans le temps semble la moins prononcée.

Références.

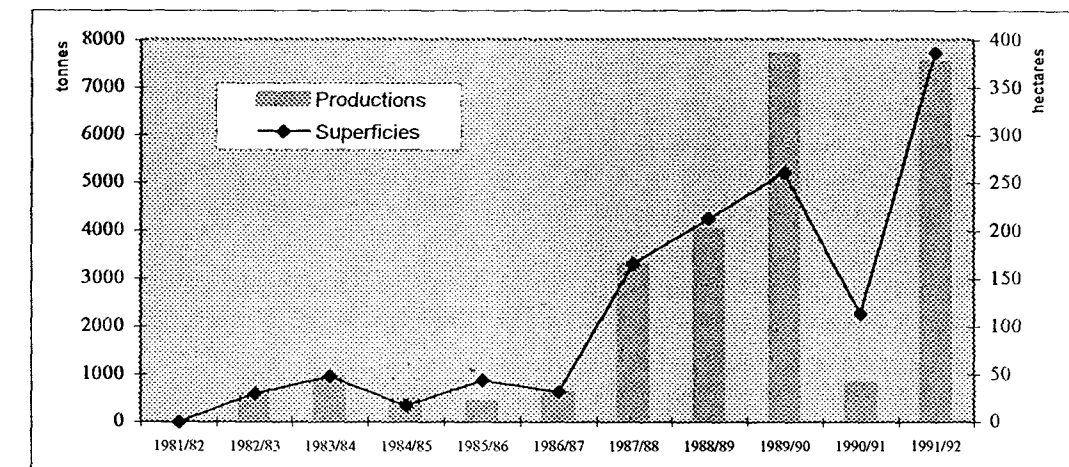
DAT, 1983. Carte administrative de la République du Sénégal, 1/1 000 000.

Ministère de l'Agriculture, 1995. Statistiques départementales des principales cultures : de 1960 à 1994, Projet CILSS-FED : « Amélioration des instruments du diagnostic permanent pour la sécurité alimentaire », phase III, DIAPPER III, Direction des Statistiques Agricoles, Mars 1995, Dakar, 47 p.

SAED, 1992. Statistiques Agricoles. Evolution de 1981 à 1991 : Superficies aménagées SAED ; Superficies cultivées par spéculation ; Production par spéculation. Saint-Louis, Mai 1992.

SODEVA, 1983. Problèmes posés pour le développement agricole du Bassin arachidier, rôle de la SODEVA, 84 p. + annexes.

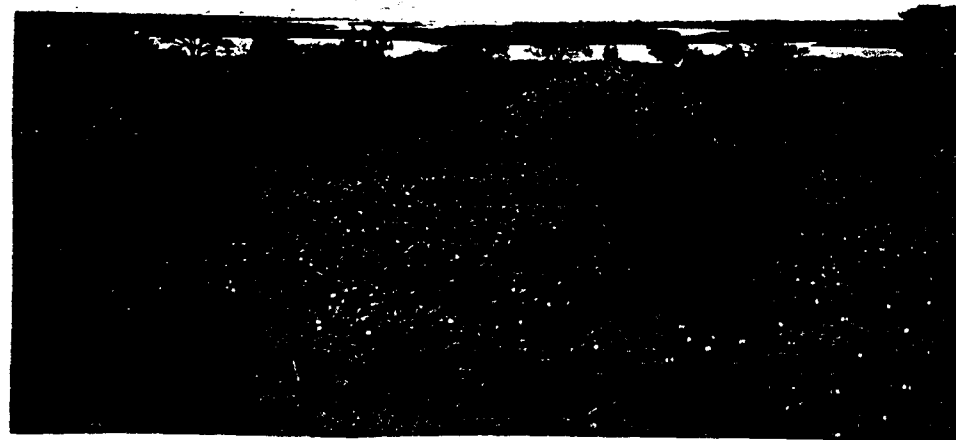
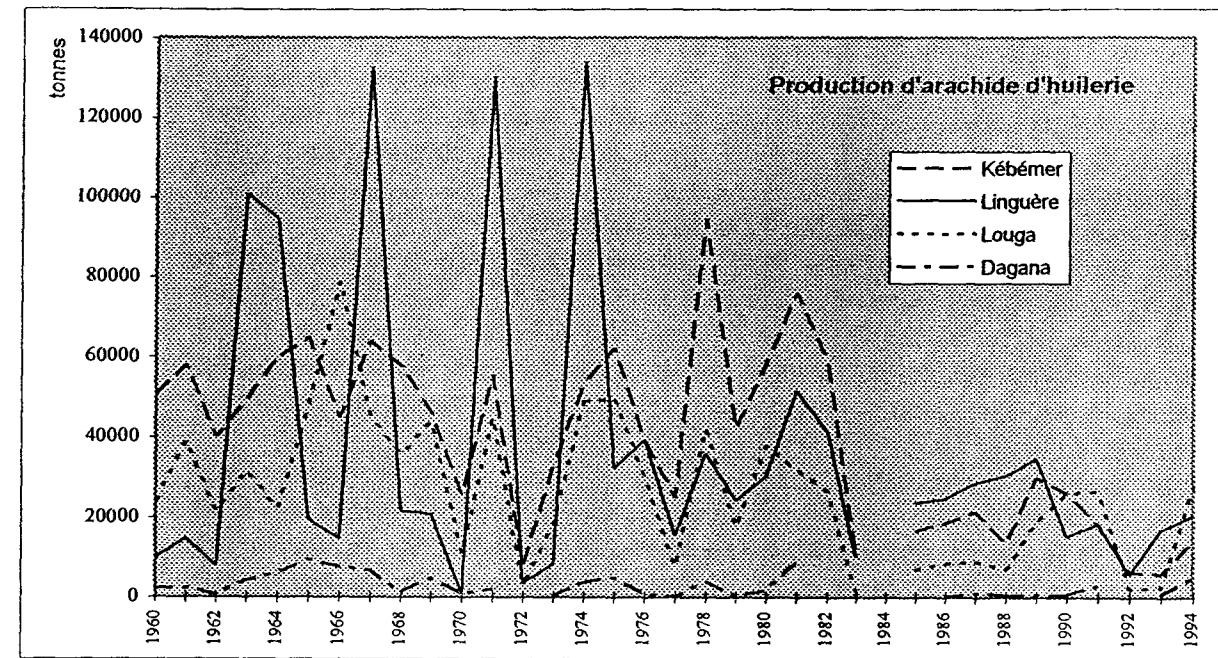
Figure 5.
Délégation de Podor.
Superficies et productions en cultures maraîchères (saison froide).



Photographie (hors-texte) n° 6.
Environs de Léboundou, au sud de Ganket, en bordure orientale du lac de Guiers, en septembre 1995.
A l'arrière plan : champ de melons sous reboisement d'eucalyptus.
Au premier plan : restes d'une meule de charbon de bois d'eucalyptus.
Cliché M.-J. Tousignant



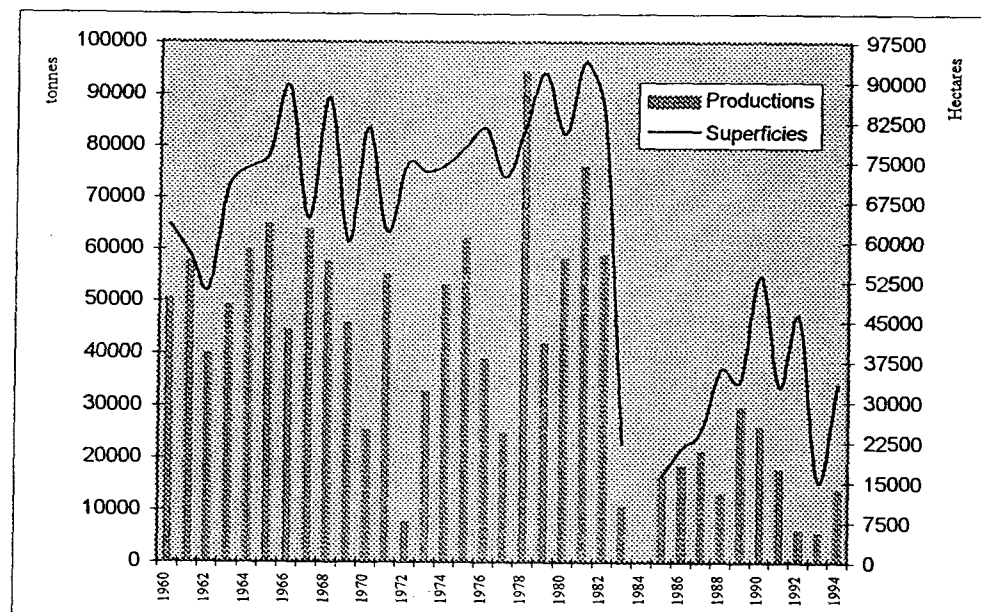
Figure 6.



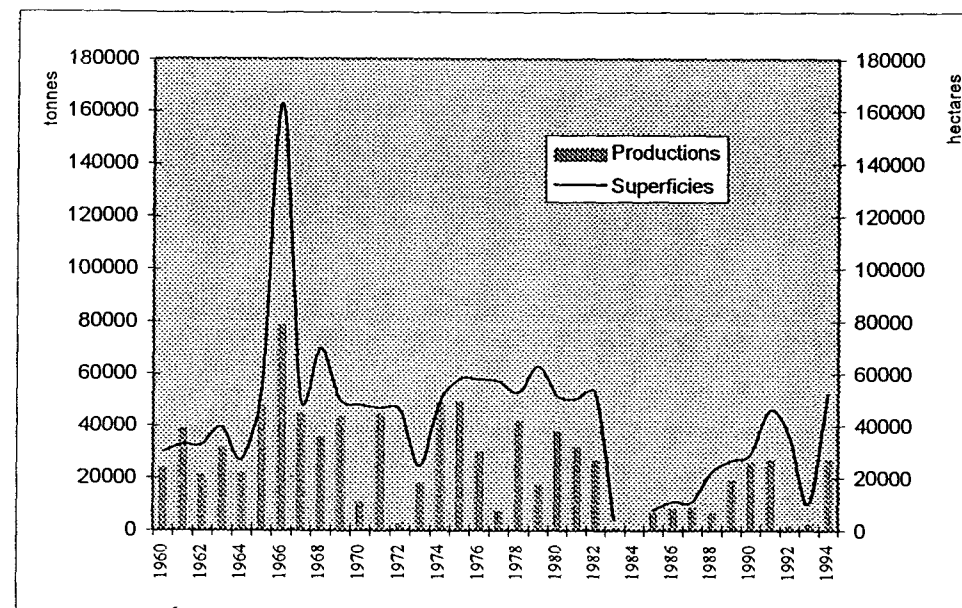
Photographie (hors-texte) n° 7.
 Champ de niébé en bordure
 occidentale du lac de Guiers,
 vers Ndimbou, en septembre 1995.
 Cliché M. D. Thiam

Figure 7.
Arachide d'huilerie

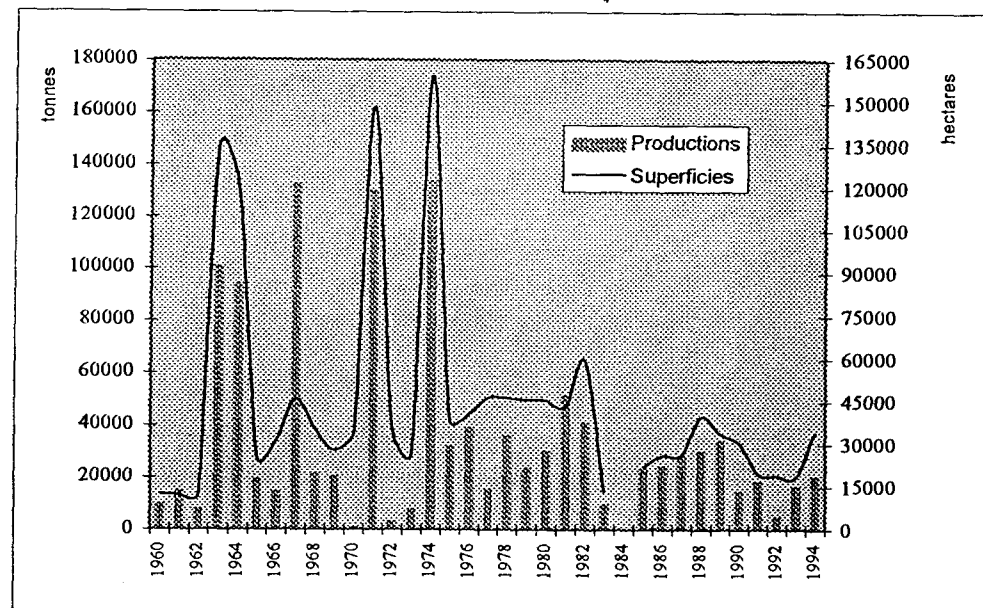
Département de Kébémér



Département de Iouga



Département de Linguère



Département de Dagana

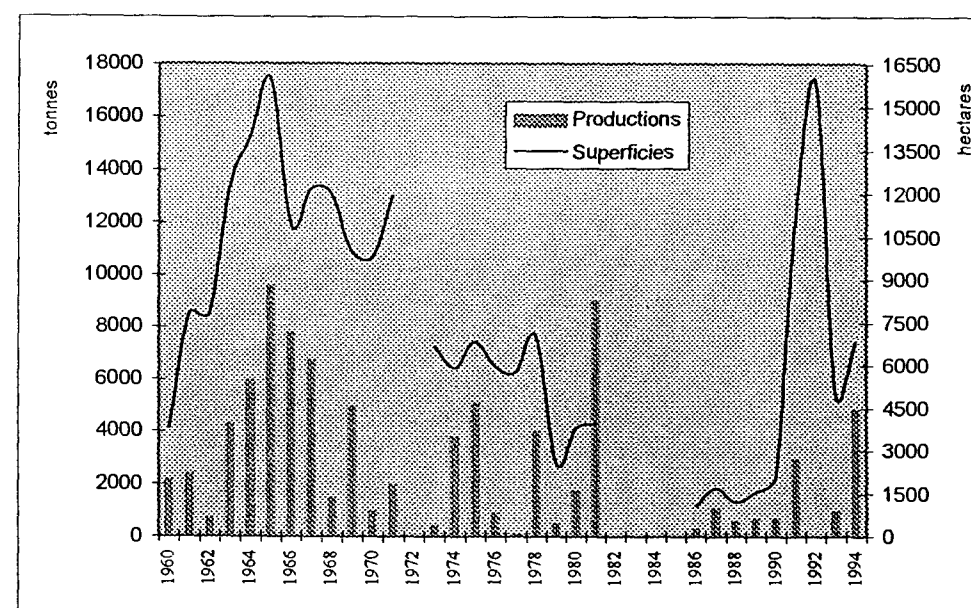


Figure 8.
Production d'arachide d'huilerie en indice de base 100 par rapport à 1969.

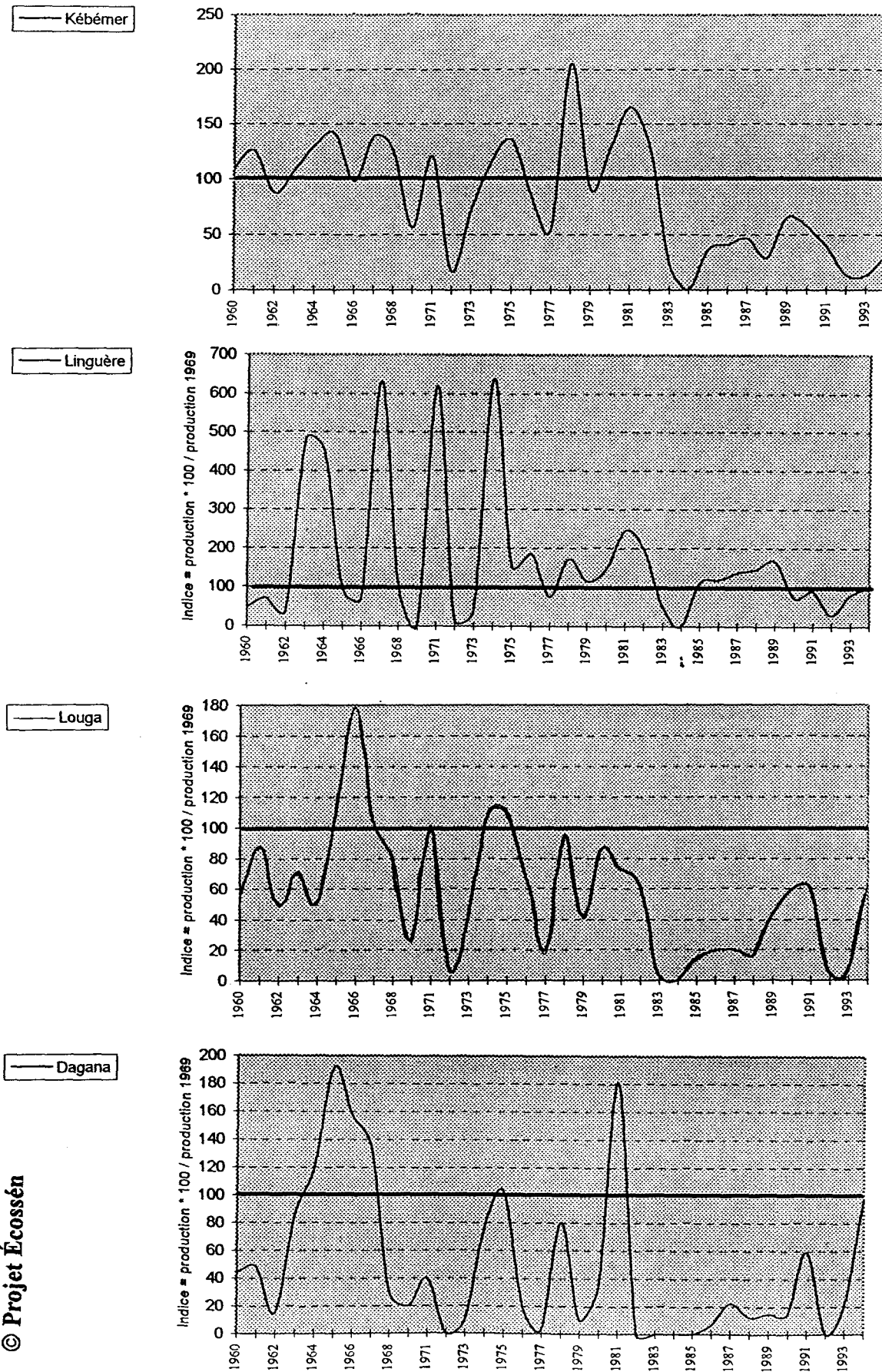


Figure 9.

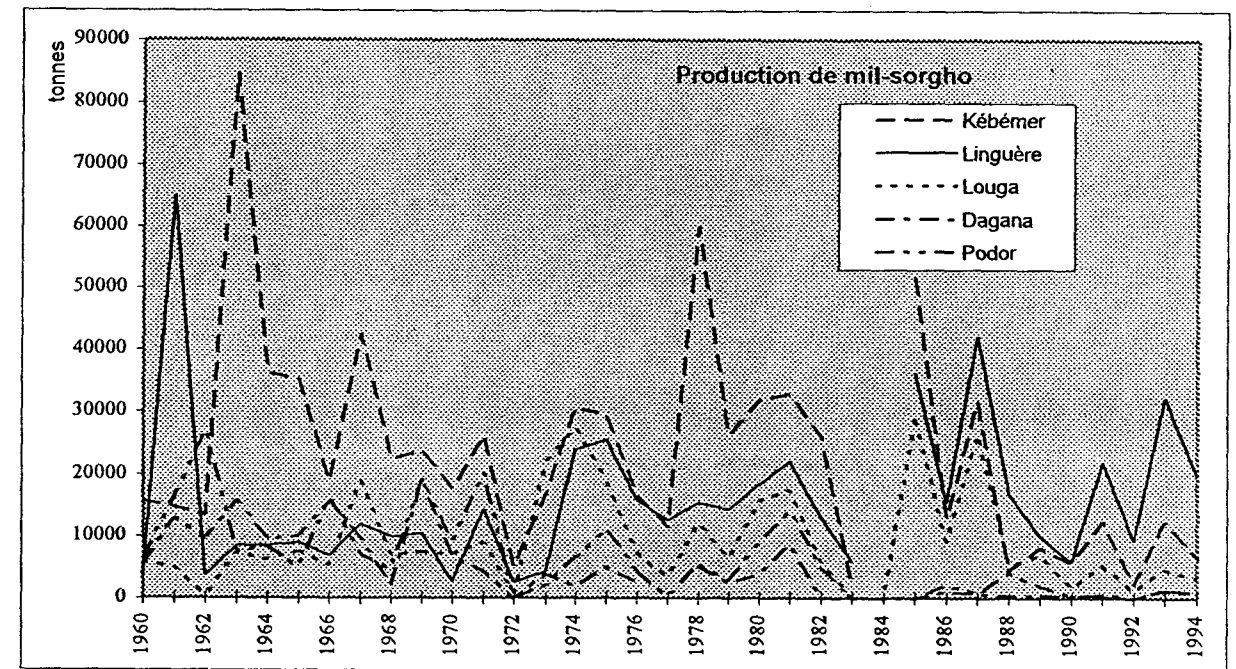
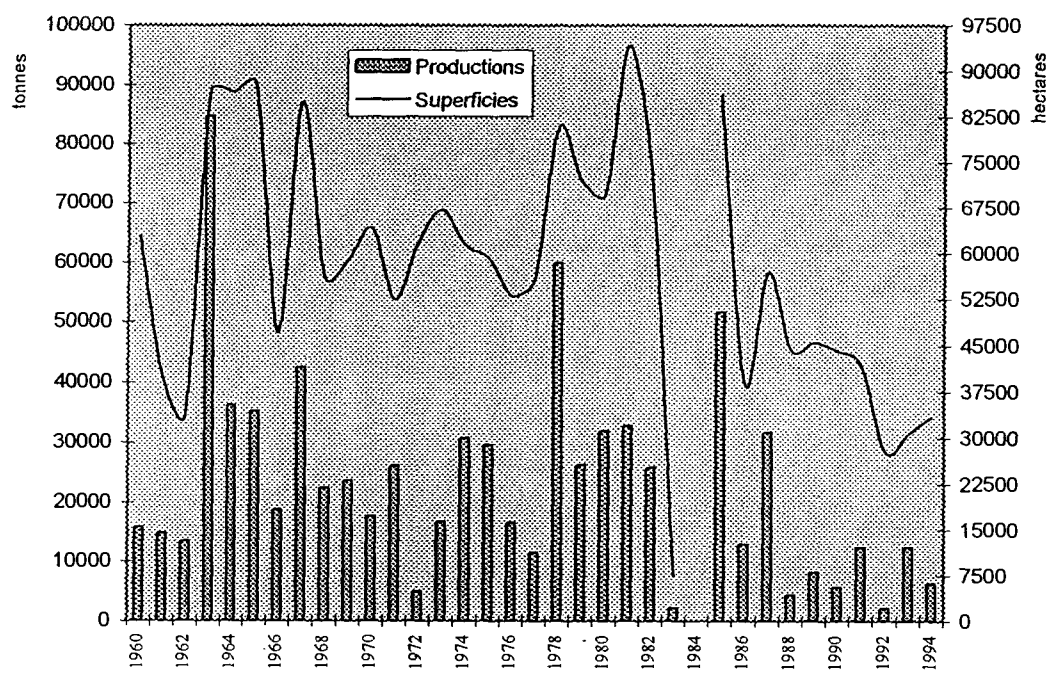


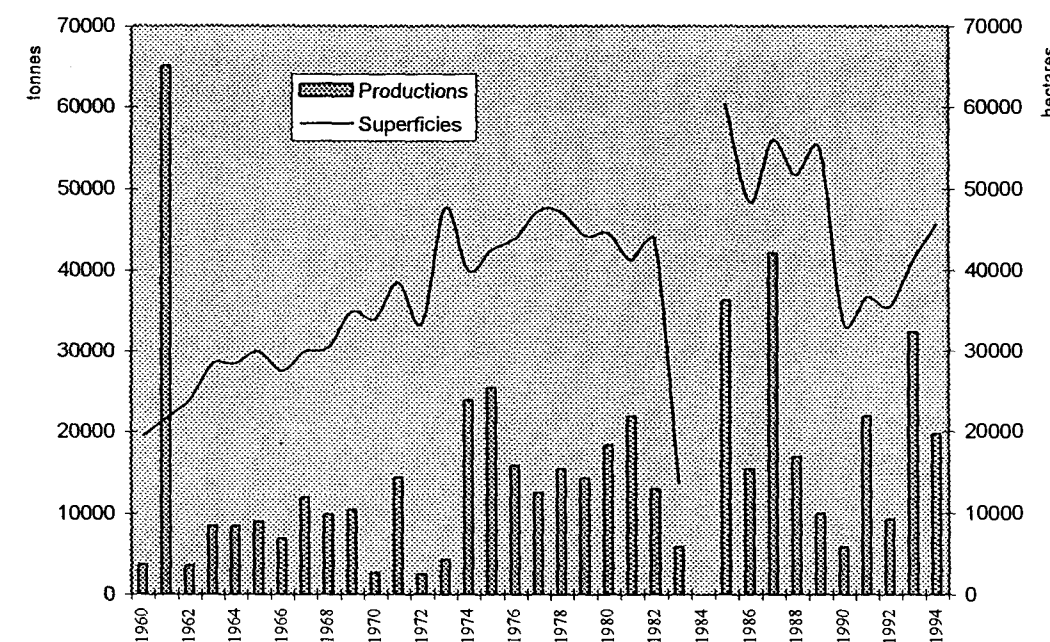
Figure 10.

Mil-sorgho

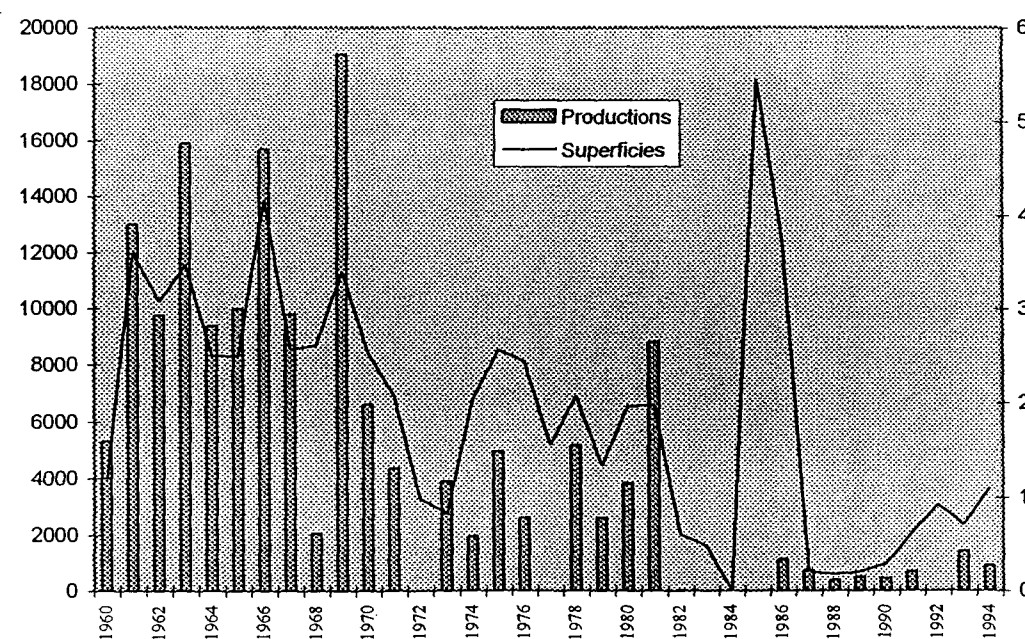
Département de Kébémér



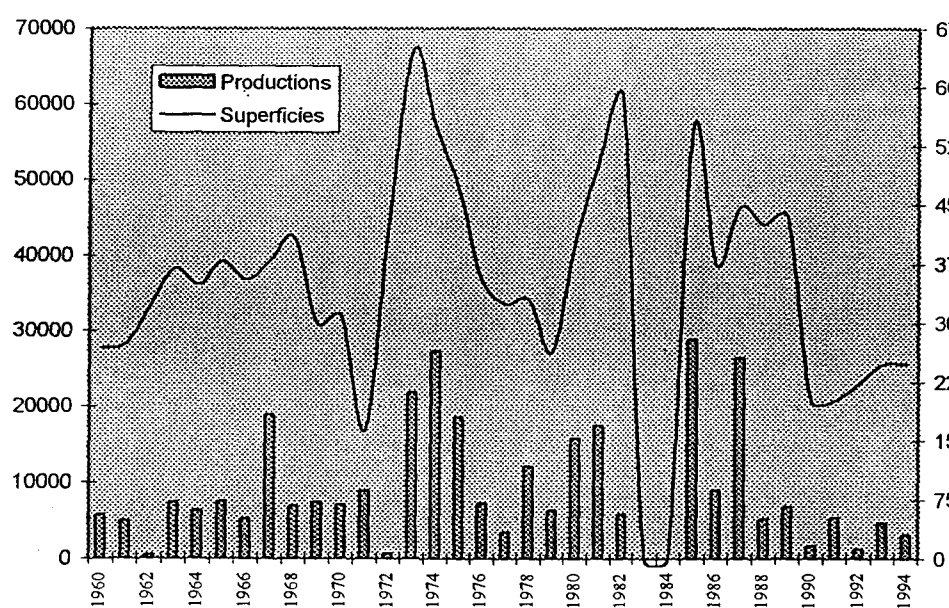
Département de Linguère



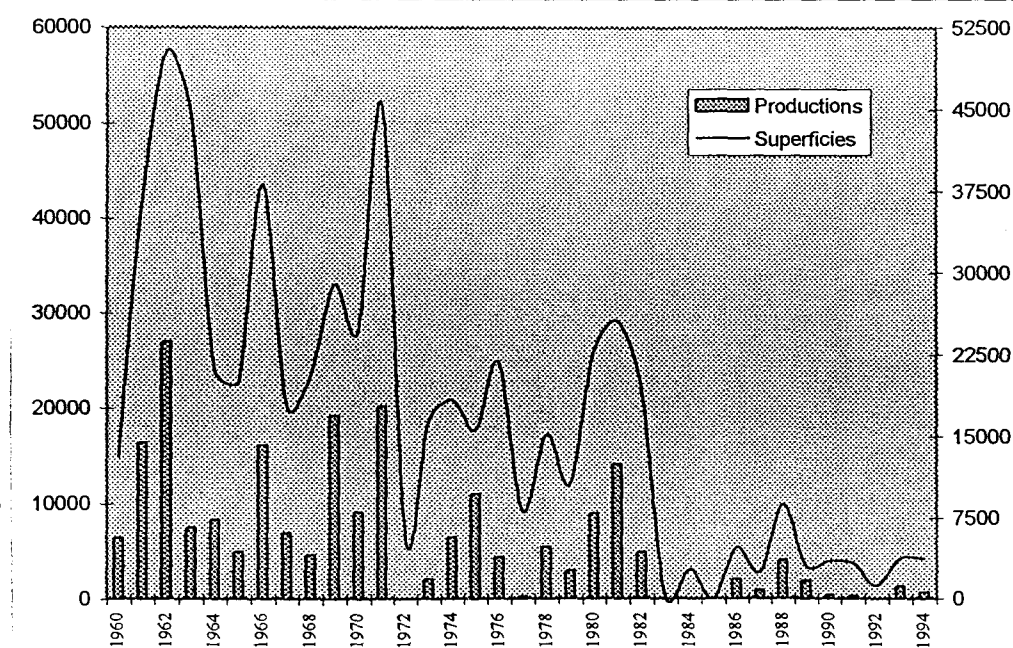
D. de Dagana



D. de Louga

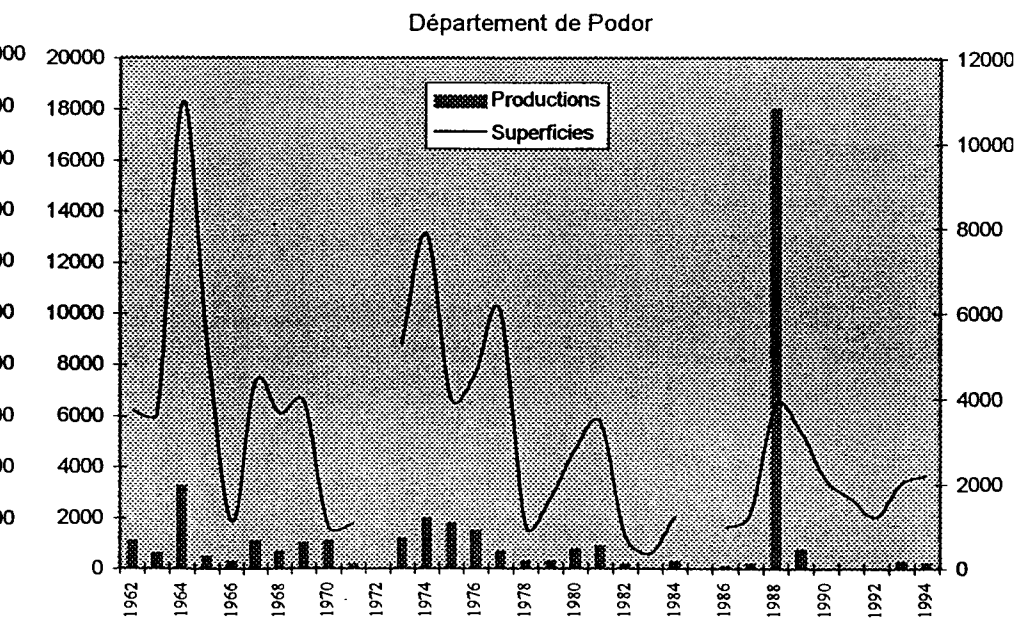
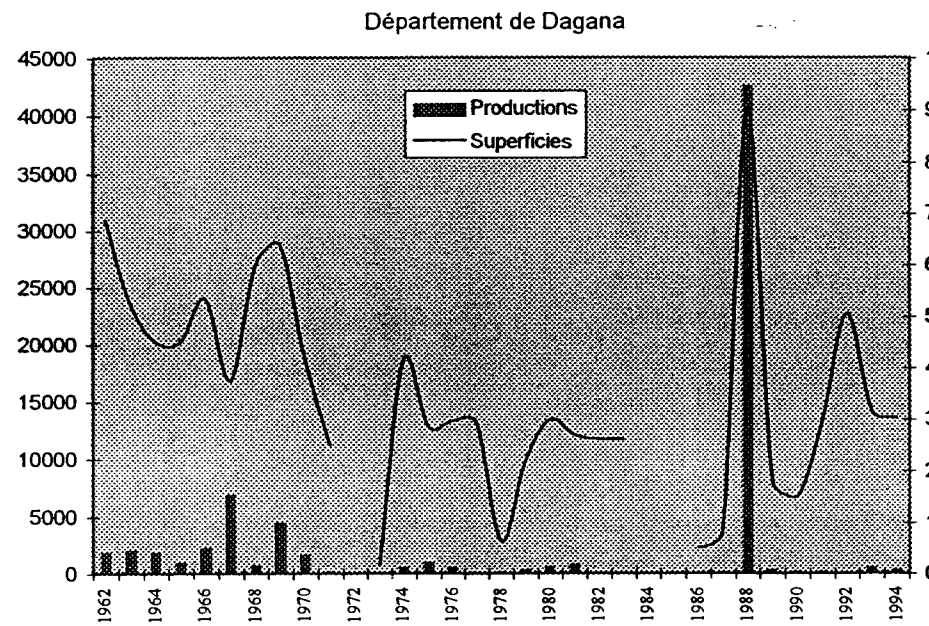
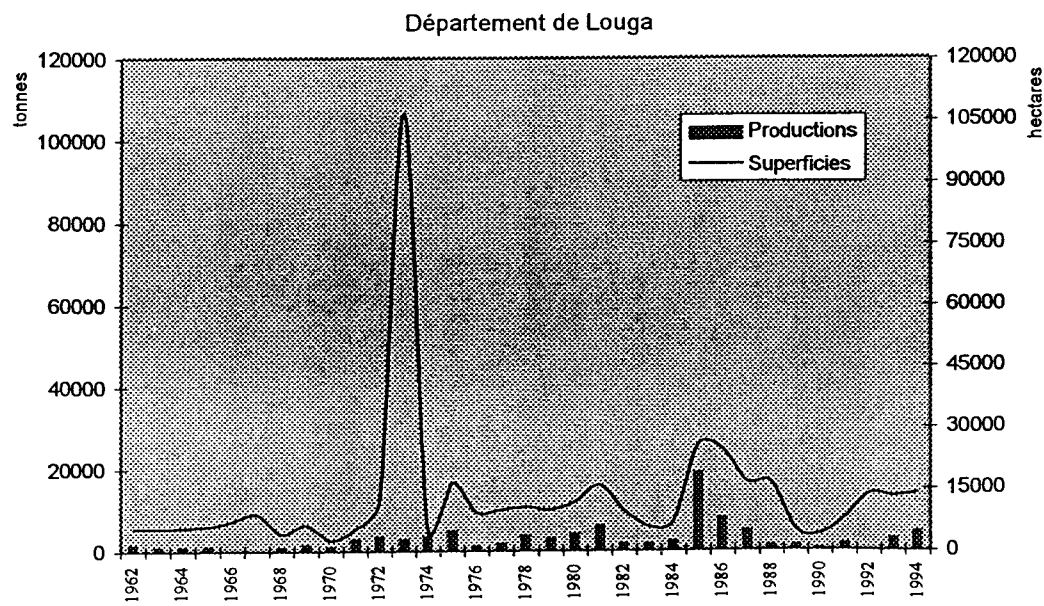
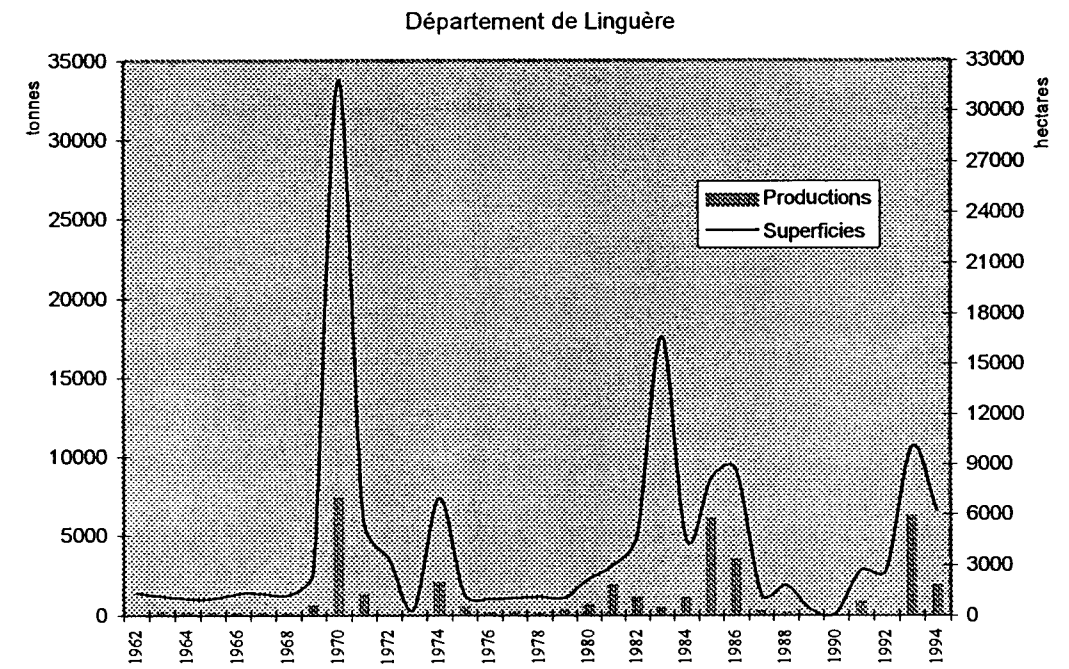
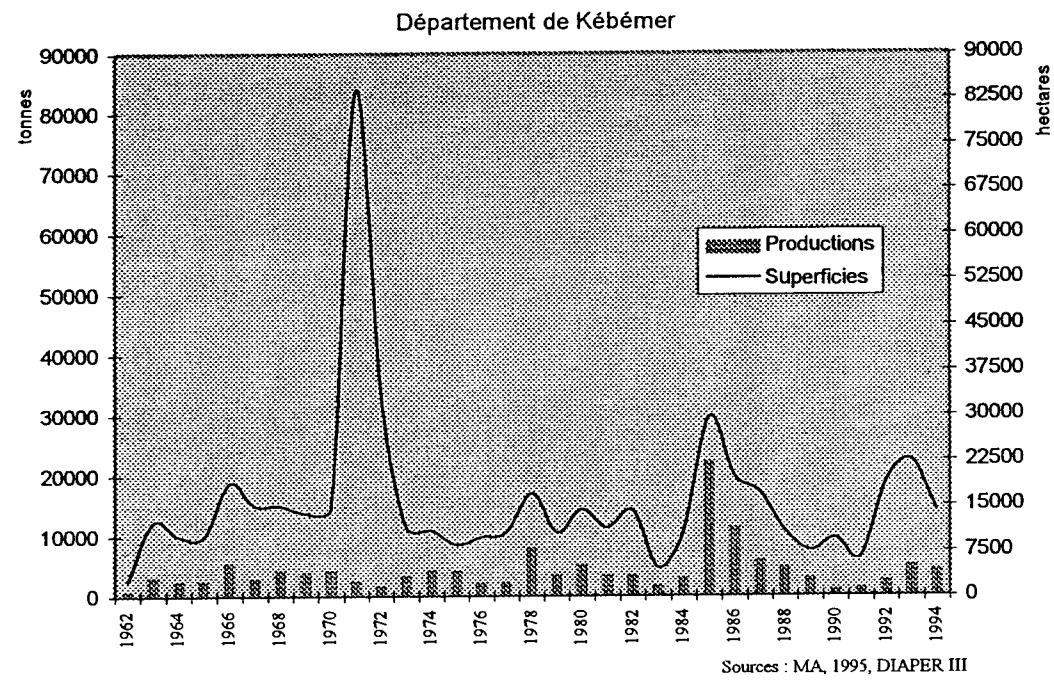


D. de Podor



Sources : MA, 1995, DIAPER III

Figure 11.
Production de niébé.



Sources : MA, 1995, DIAPER III

Bloc-notes

Lieux-dits du Nord-Ouest sénégalais

données toponymiques, enquêtes-terrain et logiques spatiales

par

El Hadj Seydou Nourou Touré
Mame Demba Thiam
Mbaye Diouf Ndiaye

Introduction.

Lorsqu'on établit un SIG les problèmes rencontrés, sont, entre autres, liés à la qualité des données. Il s'agit ici de prendre en compte des catégories d'informations toponymiques qui, le plus souvent, sont surimprimées ou surajoutées, notamment lorsqu'il s'agit de les intégrer à des images satellitaires. L'objectif de ce texte est de vérifier à partir de deux fichiers de recensements généraux de la population (1976 et 1988) la fiabilité des sources toponymiques. En essayant de comparer les données d'une année à l'autre on remarque de nombreuses erreurs qui peuvent être diversement interprétées. En effet, elles ont plusieurs causes : les photorestitutions, les enquêtes-terrain menées sans rigueur, la transcription toponymique et enfin l'omission. Les investigations montrent que l'établissement des fichiers de recensements généraux de la population est fait à l'aide des dernières éditions de cartes topographiques disponibles.

1. Problèmes et méthodes

Nombre de villages qui figuraient dans les répertoires de villages de 1976 et de 1988 ont disparu des fichiers du premier recensement ou du second. Ces disparitions relèvent le plus souvent de cas d'omission ou autres.

L'objet de ce texte est de vérifier les raisons des disparitions de villages dans les fichiers de 1976 et de 1988 et, avec elles, les sources de biais ainsi que les logiques commandant ces disparitions.

Les renseignements obtenus auprès des présidents de conseil rural et de l'administration ont été fort utiles dans ce travail. Ils ont permis de vérifier l'existence des villages et de comprendre la logique qui sous-tend les modes d'occupation de l'espace.

Les villages choisis sont situés dans les départements de Louga et de Linguère. Ils ont été tirés, en partie, par la méthode du choix raisonné afin de prendre en compte la diversité des sites selon l'ethnie résidente (*peul* ou *wolof*) et l'occupation du sol (agriculture, élevage). Un total de 31 villages devait être visité au cours d'une enquête qui a eu lieu du 10 au 14 décembre 1996. Les déplacements sur le terrain ont été effectués autour d'axes dont les tracés permettent de visiter le maximum de villages dans ces deux départements. Les visites ont été organisées autour des axes suivants :

- 1 - Mbédiène, arrondissement de Louga,
- 2 - Keur Momar Sarr, arrondissement Keur Momar Sarr,
- 3 - Dahra, Sagata, arrondissement de Sagata,
- 4 - Sakal, arrondissement de Sakal,
- 5 - Coki et Gande, arrondissement de Koki et de Gande,

2. Données sur les fichiers et principales sources de biais.

Il ressort de l'examen des données collectées que :

- parmi les villages recensés en 1976 et ne figurant pas dans le fichier du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) de 1988, 20 villages ont pu être identifiés et visités sur un total de 31. Outre ces 20 villages, il y en a un dans la Communauté Rurale de Mbédiène dont l'existence n'a pu être contrôlée. Au total, 4 ont été abandonnés, les 16 autres existent encore et ont été omis lors du recensement de 1988.

- 16 villages ont été tirés dans le fichier des villages recensés en 1988 et ne figurant pas sur le listing des villages recensés en 1976. Parmi ces derniers, 11 ont été identifiés. Dont 2 ont été créés après le recensement de 1976. Il s'agit de Bissinabe Gande créé en 1976 juste après le recensement et de Ndimb Peul qui existe seulement depuis 1988. Les 9 autres existent depuis 1976. Ce qui explique leur omission, car les documents de terrain ont été confectionnés sur la base des documents antérieurs à 1976.

Il est difficile de parler de représentativité en raison de la méthode choisie pour sélectionner les villages visités. Si l'on considère les villages recensés en 1976 et non figurés en 1988, on observe que l'investigation a permis de retrouver, toute proportion gardée, 20 villages sur 31, soit 64,52 % du total. Partant de cette hypothèse, on peut penser qu'il serait possible, selon toute vraisemblance, de retrouver, avec un repérage plus systématique environ 117 villages non recensés en 1988 en rapportant cette proportion à l'effectif total des villages non recensés en 1988 par cette opération linéaire : $[64,52 \% \times 187 = 117]$.

Ces calculs permettent de mettre l'accent, toute chose égale par ailleurs, sur les sources de biais observés au cours de cette enquête (cas d'abandon, de disparition, d'évolution, etc).

Les cas d'abandon concernent surtout le fichier de 1976 :

Villages abandonnés	Communautés Rurales	Arrondissements	Départements
Maka Touré 1	Thiamène	Coki	Louga
Boustané	Boulal	Dahra	Linguère
Solmène Boulal	Boulal	Dahra	Linguère
Thiaydou	Sagatta	Dahra	Linguère
Ndiayène Diatmy	Mboula	Yang-yang	Linguère

Ensuite le village de Ndiaré Mboul n'a pas été identifié (de la Communauté rurale de Mbédiène, Arrondissement du même nom et Département de Louga).

Enfin les cas de transcription qui modifient le toponyme sont observés dans le fichier de 1976. Deux villages sont concernés :

Villages	Transcription selon indication des villageois	Communautés Rurales	Arrondissements	Départements
Fichier 1976 Ndiathie Sèye	Ndoc Sey	Keur Momar Sarr	Keur Momar Sarr	Louga
Fichier 1988 Fass II	Fosse II	Syere	Keur Momar Sarr	Louga

La transcription est une question d'actualité, d'importance scientifique de premier ordre lorsqu'on établit une base de données à référence spatiale comme dans un SIG.

Dans la plupart des cas, il apparaît que l'abandon est souvent lié au fait que les conditions pour l'exercice d'une activité de production viable, ne sont pas remplies autour du site originel. C'est le cas de Boustane situé dans la Communauté Rurale de Dahra. Ses habitants ont dû l'abandonner, en 1986 ? Faute de pouvoir disposer des semences pour les cultures. En réalité, le village avait été créé pour gérer les champs situés autour du site. Créé en 1970, il a été abandonné depuis 10 ans selon le vice président de la Communauté Rurale. C'est aussi le cas de Solmène Boulal qui n'existe plus depuis 12 ans. Créé en 1979, ses habitants ont payé l'impôt pendant cinq ans avant de déménager dans l'arrondissement de Barkédji. Enfin, le cas de Ndiayène Diatmy dans l'arrondissement de Yang-Yang mérite d'être signalé. Ce village qui a été abandonné depuis neuf ans continue d'exister virtuellement à travers l'impôt perçu sur une liste détenue par le chef de village qui vit dans un autre village de la communauté rurale de Mboula. Les habitants de ce village sont dispersés dans d'autres villages de la même communauté rurale, mais ils continuent à émarger sur la même liste de population imposable rattachée à ce village. Une seule concession est restée dans le village que le président de la communauté rurale de Mboula n'a pas pu identifier.

Enfin, la seule concession qui restait à Thiaydou (C.R. de Sagatta, arrondissement de Dahra, département de Linguère) recensée en 1976 a été abandonnée depuis cinq ans. Ce village a connu deux exodes. Le premier provoqué par une invasion de criquets, remonte à 27 ans (1969). Les habitants sont revenus cinq années plus tard. Le second a eu lieu il y a 10 ans. Autant dire que le village, ou la concession qui en est restée, existait lors du recensement de 1988. Ses habitants se sont installés à Djam Djallé ou à Khatali distants l'un et l'autre de 500 mètres du site originel.

Maka Touré 1 est un autre village abandonné dont les habitants ont émigré vers Touba. Seul subsiste Maka Touré 2 à cause de la présence d'un forage qui fait le bonheur de son propriétaire et des occupants du village même s'il n'attire pas beaucoup de gens. Il y a aussi le cas des villages dénommés Singate (Guéladio, Hamadi Diarga et Demba Dioubo). Ces villages formaient une seule entité de 1979 à 1987. Ils se sont disloqués ensuite pour former trois entités distinctes. Singate Guéladio et Singate Demba Dioubo sont de nouveau ensemble. Singate Hamadi Diarga promet de les rejoindre en 1997, ce qui permettra de fondre les trois entités en une seule.

Reste, enfin, les cas de transcription erronée. Les villageois disent ne pas connaître Fass 2 (arrondissement de Keur Momar Sarr), recensé en 1988, qu'ils identifient à Foss 2 situé dans le même arrondissement. De même, une erreur de transcription a fait écrire Ndothie Sèye à la place de Ndotch Sèye.

S'y ajoute la multiplication des agrégats autour d'un village d'origine. Si ces nouveaux sites gardent dans tous les cas le nom du village d'origine, on ajoute à ce nom un adjectif pour différencier les villages. C'est le cas de Thiabouguel Ndiel dont la transcription correcte est Thiabouguel Ndiellé. Ce village a donné naissance à plusieurs autres sites portant le même nom Thiabouguel différencié par des numéros 1 et 2 ou par d'autres caractéristiques. On a ainsi Thiabouguel Ndielle n° 1 et n° 2, Thiabouguel Nibaane, Thiabouguel Napedjé, Thiabouguel Lumbidadi et Thiabouguel Edel. Tous ces villages continuent à payer l'impôt à Thiabouguel Ndiellé.

On a pu identifier le village de Thiaré N'diaye 2 recensé en 1988 et non en 1976. Ce village a été créé en 1943 à partir du village de Thiaré Séné. Le fondateur en avait confié la gérance à Thiaré Ndiaye en raison du jeune âge de ses héritiers. Ceux-ci ont revendiqué le pouvoir par la suite mais l'appellation de Thiaré Ndiaye est demeurée. Les descendants de Thiaré Ndiaye ont demandé et reçu au début des années 60 une carte de section qui leur permet de payer l'impôt sur une liste distincte de celle détenue par l'actuel chef de village. Ils ont revendiqué une existence administrative autonome et obtenu une légitimation. On a ainsi deux villages virtuellement distincts sur le même site.

Certes, il y a création de nouveaux villages. C'est le cas de Bissinabé Gandé créée en 1976 après le recensement et de Lougoy Tally Peul qui existe depuis 1988. En dehors des 5 villages abandonnés et qui figurent sur le fichier de 1976, tous les autres villages de ce fichier, visités au cours de cette enquête, soit un total de 17, continuent d'exister. Ils ont donc été omis au cours du second recensement.

Au total, ces omissions tiennent autant au problème de l'identification des villages qu'à la stratégie d'occupation de l'espace qui permet, surtout chez les Peul, la multiplication des toponymes à partir d'un noyau d'origine.

3. Les stratégies d'occupation de l'espace.

On peut estimer qu'à partir d'un noyau d'origine stable, se distinguent deux types d'évolution. Le premier conduit à une extension du site d'origine grâce à l'implantation de nouveaux sites dans un rayon d'environ 20 km autour du village d'origine. Le second mène à l'abandon de villages. Dans l'un et l'autre cas, on se trouve respectivement en face d'une situation d'expansion ou de régression de l'espace villageois.

Du reste, la stabilité n'est pas une tendance pérenne de l'occupation de l'espace. Elle connaît des phases de dysfonctionnement et peut, momentanément céder la place à l'instabilité. C'est le cas du village de Singate Guéladio qui s'est disloqué en trois entités distinctes avant de se reconstituer progressivement en bloc qui sera définitivement soudé en 1997. Les sites de ces villages en réalité composés chacun de 2 ou 3 concessions sont assez proches, comme le révèlent les coordonnées géographiques de Singate Hamadi Diarga (lat. 15° 25.089N / lon. 15°19.054 W) et de Singate Guéladio (lat. 15° 25.089N / lon. 15°19.054 W) obtenues avec le GPS. Ces villages sont assez proches sur le plan familial. C'est cela qui a détourné le rapprochement de ces trois entités après dislocation.

La dislocation de ces concessions peuls autour du village qui traduit une expansion de l'espace initial du village d'origine, est illustrée par le cas de Thiabouguel Ndiel (*cf. supra*).

Ces dispersions autour du village d'origine se font sur un rayon de 20 km ou plus parfois. Par exemple, Thiabouguel 1 est distant de Thiabouguel Nibaane d'une vingtaine de km. La raison de ces dispersions est liée à la recherche d'espace pour le troupeau. Le mode d'occupation de l'espace est tributaire des besoins d'espace utilisable pour le pâturage chez les Peul ou pour l'agriculture chez les Wolof. Si l'on considère les cas des villages peuls de Solmène Boulal et de Ndiayenne Diatmy ou des villages wolof de Maka Touré I et de Boustane. Les abandons de villages s'expliquent par le manque de viabilité des espaces de production autour de ces villages devenus inopérants pour l'élevage ou l'agriculture.

Les villages wolof dénommés Teud Biti sont un cas particulièrement intéressant dans l'étude des stratégies d'occupation de l'espace. Teud Biti signifie, littéralement, coucher dehors (*tëdd ci biti*, en écriture wolof). Or dehors, c'est l'ailleurs, c'est un peu l'inconnu, que l'on choisit pour éviter l'entassement sur un site devenu trop exigü par le fait de la pression démographique. C'est donc le besoin d'espace pour développer une activité de production qui détermine l'exode des habitants d'un village vers un ailleurs choisi en fonction de la capacité de charge qu'il offre pour les besoins des cultures ou des pâturages (voir données des deux recensements).

La stratégie spatiale est basée sur la recherche de nouveaux espaces propices aux activités de production. La distance du village vis-à-vis du village d'origine s'appuie sur une logique économique. Chez les Wolof comme chez les Peul, on est prêt à aller le plus loin possible du site originel pourvu que l'espace nouvellement acquis offre des possibilités de développement d'une activité économique viable et conforme à l'occupation traditionnelle de l'ethnie.

Traitement de la variable « projets » de développement Vers une typologie

par

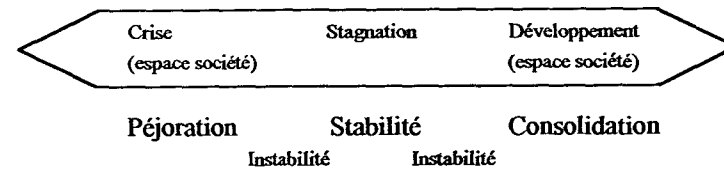
E. H. Seydou Nourou Touré

Problématique

Le problème consiste à caractériser les espaces ruraux de la zone du projet ECOSSEN en utilisant un certain nombre de variables socio-économiques. La localisation des variables recoupe celles des unités administratives correspondant à la région ou au département.

La caractérisation des espaces ruraux repose sur la typologie-classification des variables qui permet d'esquisser différentes situations conformes à celles définies dans le cadre de la problématique générale du Projet. Il se dégage trois cas de figure de cette caractérisation représentés dans le schéma ci-après proposé par L-A. Lake.

Problématique
générale du Projet
ECOSSEN



Concepts-repères
correspondants

Le référentiel ici reste l'unité administrative correspondant à l'espace de la communauté rurale. Il s'agit de caractériser l'espace-communauté rurale grâce à un certain nombre de variables socio-économiques. Ngor Ndour aura contribué de façon importante au traitement des données sur les projets, à leur classification et à la mise en forme des tableaux.

En considérant la variable projet, on admet avec Lake que la grille des projets ou l'espace-projet est lue à travers la grille de l'espace administratif. Si les variables sont représentées au niveau de la communauté rurale, alors le projet ou toute autre variable retenue pour un département ou une région figurera dans toutes les communautés rurales de département ou de la région.

L'idéal serait d'arriver, par une schématisation progressive, à dégager trois types de projet en fonction d'un nombre réduit de critères. Autrement dit, l'information doit être réduite en prenant en considération les critères les plus significatifs dans la représentation d'indicateurs de projets discriminants.

La question se pose de savoir comment sélectionner les différents descripteurs de projets pour obtenir un nombre réduit de types de projets.

Procédures de sélection des descripteurs ou attributs

Dans la typologie-classification des projets, la superficie est le seul attribut susceptible d'être traité conformément à la problématique du projet ECOSSEN. Le critère de durée, bien que moins explicite, peut aussi être retenu. On verra plus loin pourquoi les attributs tels que les résultats physiques du projet ou les bénéficiaires n'ont pas été retenus.

La superficie se décompose en superficie aménagée (Sam) et en superficie réelle cultivée (Src). Pour donner un sens à la représentation de ce descripteur on peut pondérer la superficie réelle cultivée par la superficie aménagée ou le nombre de ménages dans la communauté rurale (il s'agit bien de l'effectif théorique des ménages). On peut déterminer trois classes à partir des % de superficie réelle cultivée par rapport à la superficie aménagée. On considère que la proportion est bonne si le % est égal ou supérieur à 80%, moyen s'il est compris entre 50% et 80%, et faible s'il est inférieur à 50%.

Pour le rapport superficie par ménage on a une bonne superficie si la superficie attribuée est supérieure ou égale à 1 ha, une superficie moyenne lorsqu'elle est comprise entre 0,80 ha et 1 ha, et une superficie faible si elle est inférieure à 0,80 ha.

En résumé, les 3 classes se représentent ainsi :

	Superficie réelle cultivée/ superficie aménagée	Superficie par ménage
1	> 80%	> 1 ha
2	de 50 à 80%	> 0.80 ha
3	< 50%	< 0.80 ha

Si l'on retient un total de 7 points pour la pondération de ces différentes classes, leur répartition entre les classes 1, 2 et 3 en raison de 4 points pour la classe 1, 2 points pour la classe 2 et 1 point pour la classe 3.

Cette pondération peut être réalisée pour l'attribut durée qui serait répartie en 3 classes : la première est supérieure à 5 ans, la 2e serait comprise entre 3 et 5 ans et la 3e serait inférieure à 3 ans. Dans l'absolu, le temps du projet n'est pas significatif en lui-même. Car un projet de 3 ans peut avoir plus d'impact qu'un projet de 5 ans. Mais la combinaison de la durée avec les superficies et la superficie théorique disponible par ménage peut laisser supposer que plus la durée est grande plus l'impact du projet est important sur l'activité économique en termes de génération d'activités et de revenus.

Seul le temps des projets agricoles (comprenant l'horticulture et le projet dit rural), d'élevage et de foresterie est considérée ici. Il n'a pas la même signification que le temps d'un projet d'éducation/alphabétisation qui s'étend parfois sur quelques mois. En outre, les projets d'éducation représentent environ 4% de l'ensemble des projets, ce qui est négligeable.

La pondération des superficies et de la durée est présentée dans le tableau ci-après. On rappelle qu'il est affecté sur un total de 7 points : 4 points à la classe 1, 2 points à la classe 2 et 1 point à la classe 3 comme le montre le tableau suivant :

Pondération des classes retenues pour les attributs superficie réelle cultivée/superficie aménagée, superficie par ménage et durée :

	Nombre de points	Superficie cult./ Sup. aménagée	Sup. ménage	Durée
classe 1	4	> 80%	> 1 ha	> 5 ans
classe 2	2	50% à 80%	0,8 à 1 ha	3 à 5 ans
classe 3	1	< 50%	< 0,8 ha	< 3 ans

La moyenne des points obtenus par un projet sur la base des trois attributs permet de dire qu'un projet est favorable au développement s'il totalise 4 points, moyennement favorable avec 2 points et peu favorable avec un total < 2 points.

En revanche, l'attribut financement n'est pas retenu. Le montant du financement est une donnée absolue. Il ne donne pas d'indication sur la répartition entre le fonctionnement et les investissements et, par conséquent, pour ce dernier sur la composante technologique. Or l'aspect technologique est important, car il permet de savoir si le projet mobilise ou non un nombre important de personnes ; il a également un lien avec le niveau de mécanisation ou d'équipement. Tel qu'il est présenté, le financement n'est pas significatif en lui-même et ne permet pas d'introduire une discrimination entre les différents projets.

Pour les résultats physiques présentés en termes de quantités réalisées ou de superficies attribuées par bénéficiaires, les données sont trop lacunaires et hétérogènes pour être prises en compte ici.

Méthode de traitement

Si les projets se présentent en Y et les attributs en X dans un tableau à double-entrée, un attribut peut comporter plusieurs informations. C'est le cas de l'attribut secteur. Il y a quatre secteurs qui sont numérotés de 1 à 4. Ce sont :

- 1- Agriculture (+ horticulture et projet rural)¹
- 2- Elevage
- 3- Education (+formation)
- 4- Foresterie

La colonne II, activité, comprend 6 parties :

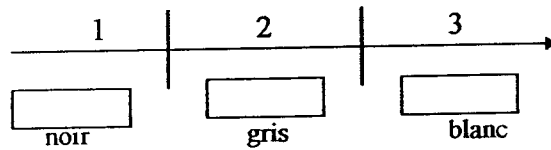
- 1. Aménagement
- 2. Appui institutionnel
- 3. Production/Ensilage
- 4. Recherche
- 5. Gestion/ Promotion
- 6. Formation.

C'est aussi le cas de la colonne III, superficie, qui se subdivise en superficie réelle/sup. am. et superficie par ménage, et de la colonne IV, durée, répartie selon le temps du projet.

On a ainsi un tableau à double entrée entre (Projets/Attribut) avec 4 colonnes principales et leurs subdivisions pour les quatre attributs retenues, soit : I : Secteur ; II : Activité ; III : Superficie ; IV : Durée.

Attributs Projets	I Secteur	II Activité	III Superficie		IV Durée			Financement
			Sup. réelle/Sup. am.	Sup. /ménage	< 3 ans	3 à 5	> 5 ans	
1								
2								
3								
n								

Pour les colonnes III et IV, les classes 1, 2 et 3 sont représentés par le niveau de valeur :



Le reclassement par rapprochement des colonnes et des lignes se fera après cette saisie.

Deux autres tableaux pourraient être réalisés à côté du grand tableau projet/attributs. Il s'agit de :

a) la représentation des projets selon l'espace et le temps permet de répartir les projets selon leur actualité par rapport à l'année de référence 1996.

On a ainsi selon la classification proposée Lake et Touré :

Les projets terminés avant 1996	Les projets actuels en cours en 1996	les projets futurs après 1996
CR ↓ Projets →	CR ↓ Projets →	CR ↓ Projets →

b) On peut ainsi avoir la fréquence des projets selon la communauté rurale ou le département et selon l'activité. De même que l'on peut avoir la fréquence des projets selon la communauté rurale et l'activité

CR	Activité					
	1	2	3	4	5	6
1						
2						
3						

Ces 2 tableaux pourraient être réalisés à côté du grand tableau projet/attributs

¹ Regroupement proposé par Ngor Ndour

La notion de base de données dans le SIG PAMAP

par

Papa Jean Diouf

INTRODUCTION

Le but de cet exposé est d'aider à une meilleure compréhension de la manière dont la Base de Données est structurée dans Pamap. Par ailleurs étant donné que ce SIG peut travailler avec des fichiers externes comportant un certain nombre de données, nous avons jugé nécessaire de faire également la description de ces types de fichiers pour ainsi aboutir à des modèles de tableaux « saisissables ».

I. TERMINOLOGIE DE LA STRUCTURE DE L'INFORMATION DANS PAMAP

Dans le SIG PAMAP on considère que, réduite à sa plus simple expression, une carte se résumerait à des points, des lignes et des polygones

1. Le point est défini dans l'espace géographique par ses coordonnées x et y. En d'autres termes il matérialise la rencontre de sa longitude et de sa latitude. Cependant pour des besoins d'expression graphique ce point peut subir des transformations; mais il n'en demeure pas moins qu'il sera toujours un point. Prenons l'exemple d'une carte où les établissements humains (villes ou villages) sont représentés par des cercles dont les diamètres sont proportionnels au nombre d'habitants. Chaque cercle si grand soit-il sera assimilé à un point dans Pamap.
2. La ligne comprend au moins deux points qui sont reliés l'un à l'autre. Dans la terminologie de Pamap, on parle souvent de vecteur.
3. Le polygone est une ligne courbe fermée.

II. LA NOTION DE BASE DE DONNEES DANS PAMAP

A. Types de Base de Données

Chaque point, ligne ou polygone peut avoir ses attributs et donc une Base de Données qui lui est propre. Le SIG Pamap fonctionne en général avec trois types de Bases de Données: Les Bases de Données ponctuelles (forages établissements humains, etc...); les vectorielles (routes, réseau hydrographique, etc...) et les polygones (régions, communauté rurales, taxons, etc...).

B. Organisation de la Base de Données et structure de l'information dans Pamap.

Cependant il convient d'ajouter que selon le type de Base de Données auquel on a affaire, on peut rencontrer des situations où des éléments considérés comme objets ailleurs deviennent de simples attributs. En effet l'exemple cité plus haut concerne une Base de Données ponctuelle. Chaque point représente un village qui se définit par un certain nombre d'attributs dont la région, le département, l'arrondissement, etc... Alors que chacun de ces attributs peut être un objet dans une Base de Données de polygones. Pour mieux comprendre la structure de l'information voire de la Base de Données dans Pamap, nous partiront de considérations plus générales. Dans tous les systèmes d'information géographique l'analyse peut s'articuler de la manière suivante :

- Ce que l'on étudie : l'objet.
- Les variables que l'on peut rattacher à cet objet.
- Les attributs de chaque variable.
- La valeur de chaque attribut.

Dans PAMAP l'organisation et la définition de la Base de Données sont intimement liées à la manière dont l'information est structurée. En d'autre termes, on doit a priori avoir une idée du type de Base de Données que l'on veut créer : (ponctuelle, vectorielle, polygonale); des attributs à rattacher aux objets d'étude et toutes les caractéristiques relatives à ces mêmes attributs : (nom, définition, type : entier naturel, décimal, caractère, longueur :en termes de caractères ou d'espaces, unité, valeur,).

La Base de Données sera complète si tous les attributs reçoivent leurs valeurs. Ces dernières peuvent se trouver dans PAMAP dans des fichiers internes d'extension . DFL ou bien provenir de fichiers externes de format ASCII

ou DBase (. DBF). Le SIG PAMAP est muni d'un programme spécial de transfert des données (GISDBASE.PRG) qui a été conçu pour fonctionner avec DBase ou Foxpro. L'utilité de DBase ou de Foxpro se justifie pour plusieurs raisons : On peut vouloir modifier la Base de Données en utilisant le programme externe soit dans le but de créer des cartes thématiques nécessitant un ensemble de conditions complexes, soit pour additionner les valeurs d'un attribut.

III. MODELES DE TABLEAUX OU DE FICHIERS SAISSISSABLES

En réalité les fichiers externes sont organisés en fonction de la manière dont les Bases de Données sont définies ou structurées. Et généralement pour qu'ils puissent être importés dans le SIG Pamap il faut s'assurer qu'ils présentent au moins un attribut que l'on peut retrouver dans la Base de Données interne. Cet attribut commun va fonctionner comme une sorte de trait d'union ou mieux, de clé d'entrée. Le plus souvent on se sert de codes pour assurer ce pont. Et ces codes sont identiques aux TAGID* qui servent à identifier les centroïdes figurant sur la carte. En définitive l'on peut dire qu'il ya une myriade de modèles saisissables. L'essentiel est de définir au préalable les variables.

Exemple : On veut concevoir un fichier ASCII (village.txt)contenant toutes les informations relatives à des villages. Chaque ligne concernera un village et son cortège d'attributs :
04112001, SAINT- LOUIS, DAGANA, MBANE, MBANE, BADJINCOBE VIDODJI, 015:46:15.00,16:10:40.00.18,VILLAGE

Ces attributs sont agencés conformément à la structure de la Base de Données définie au préalable dans Pamap.

IV. LE TEMPS CARTOGRAPHIQUE DANS PAMAP

Un système d'information géographique peut être multitemporel. L'idéal serait que dans la constitution de la Base de Données l'on puisse prendre en compte cette dimension temporelle. Malheureusement dans l'état actuel des choses ce problème n'est pas encore résolu. Cependant si nous voulons concevoir un SIG qui considère trois dates précises (t1, t2, t3), nous pouvons d'ores et déjà concevoir trois bases de données différentes aux dates t1, t2 et t3. Au moment des superpositions ces Bases de Données seront fusionnées.

ANNEXES

Il se pose, à l'heure actuelle, au plan informatique, un certain nombre de problèmes d'harmonisation ou de compatibilité entre les logiciels de traitements d'images, de cartographie pure et les SIG. Dans le souci de résoudre les problèmes pouvant surgir lors de l'importation ou de l'exportation de données entre ces différents outils, la Société PCI s'est alliée à PAMAP GIS, à SPANS GIS et à ACE.

LE GROUPE PCI ET ASSOCIES

PCI UPS INC Victoria,BC PAMAP GIS	TYDAC TECHNOLOGIES SPANS GIS EXPLORER	SERVICES CARTOGRAPHIQUES 2+1 ACE
TRAITEMENTS D'IMAGES	Images satellites Ortho images Photos aériennes	EASY PACE IMAGE WORKS FLY GCP WORKS ORTHO ENGINE
ANALYSE SPATIALE	Entrée de données (Numérisation) Importation / Exportation	PAMAP GIS SPANS GIS
CARTOGRAPHIE	Cartographie spécialisée Cartographie de qualité	ACE

Structure de l'information dans le SIG PAMAP

OBJETS	Point ou réseau de points		Etablissements humains, Equipements divers: (Forages, dispensaires, hôpitaux, etc...)			
	Ligne ou réseau de lignes		Hydrographie, routes, pistes, chemin de fer, etc...			
	Polygones ou mosaïque de polygones		Région, départements, arrondissements, communautés rurales, taxons			
ATTRIBUTS	A1	A2	A3	A4	A5	An
TYPES D'ATTRIBUTS	Entiers naturels					
	Nombres décimaux					
	Caractères (alphabétiques)					
UNITES						
LONGUEURS DES ATTRIBUTS	Nombre de caractères et d'espaces					
VALEURS D'ATTRIBUTS						

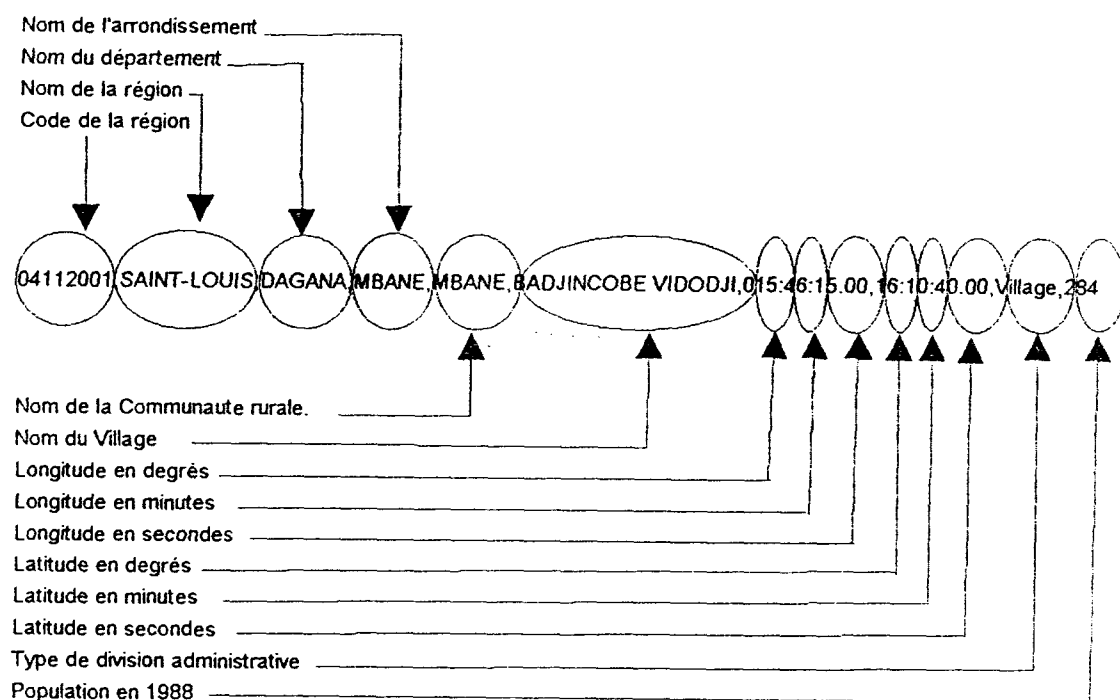
Nous pouvons noter que ce qui est considéré comme une variable ailleurs est appelé "attribut" par PAMAP

Structure de l'information dans un SIG en général

Objets	Unités adm.		Région			
			Département			
			Arrondissement			
			Communauté rurale			
Variables	V1	V2	V3	Vn		
	Pluviométrie	Population	Utilisation du sol	etc...		
Attributs	Totaux	Moyennes annuelle	Ecarts/Normale	Population 76	Population 88	Densités/C.R.
				Densités/Région	Espaces de culture	Jachères
Valeurs d'attributs					Pâturages	...

Agencement des attributs dans le fichier des villages (Village.txt)

Cet agencement s'inspire de la configuration définie au préalable dans Pamap.



RELATION ENTRE LA BASE DE DONNEES INTERNE ET LES FICHIERS EXTERNES

	Base de Données interne (.DFL)	Base de données externe (.DBF)																																																																								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Key code</th> <th>Population</th> <th>Utilisation du sol</th> <th>Pluviométrie</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A200</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A210</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B410</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>C560</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>.....</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>.....</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>.....</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>.....</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>.....</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>.....</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>.....</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>.....</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>.....</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>.....</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>.....</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>.....</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>.....</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Key code	Population	Utilisation du sol	Pluviométrie	A200				A210				B410				C560						
Key code	Population	Utilisation du sol	Pluviométrie																																																																							
A200																																																																										
A210																																																																										
B410																																																																										
C560																																																																										
.....																																																																										
.....																																																																										
.....																																																																										
.....																																																																										
.....																																																																										
.....																																																																										
.....																																																																										
.....																																																																										
.....																																																																										
.....																																																																										
.....																																																																										
.....																																																																										
.....																																																																										
Variables du système	TAGID ERROTHEME (Thème d'erreur) POLY_AREA (Surface) PERIMETER (Périmètre)																																																																									
Variables de l'utilisateur	Couleur Nom de la communauté rurale Forages Densités Paysages																																																																									

Compte-rendu d'atelier international

African-Gaim Modelling Workshop

March 3-12, 1997, Mombassa, Kenya

par

Mame Demba Thiam

Du 2 au 12 Mars 1997, s'est tenu à Mombassa (Kenya) un « Workshop » organisé par le Global Analysis Interpretation and Modelling, (GAIM), dont l'office principal est basé à l'Université du New Hampshire, USA.

Les organisateurs étaient composés d'universitaires du New Hampshire, de Nairobi, du Colorado et de Pietermarisburg (RSA). GAIM est un Projet-Pilote du Programme International Geosphere-Biosphere Program (IGBP)

Ce programme avait été appuyé par des bailleurs listés dans le document du Workshop. Les objectifs de ce travail, d'après les termes de l'appel à candidature, étaient de faire connaître aux participants une littérature qui concerne les modèles globaux dans le contexte des changements planétaires. Il s'agit des modèles hydrologiques « ACUR Models » développés par les chercheurs de l'Université de Pietermarisburg et « Century », un modèle d'évolution de la biomasse à l'échelle planétaire, développé par des chercheurs de Colorado State University. La mise au point du logiciel Century présente une difficulté majeure liée au fait qu'une seule station existe pour l'Afrique sahélienne et se trouve au Mali. Ce logiciel est difficile à manipuler, en raison des fonctions mathématiques exigées. Le dernier logiciel, dont un prototype sur support disquette a été reçu, est le logiciel « Stella ». C'est un logiciel de modélisation beaucoup plus facile à exécuter. Il fonctionne sous Windows. Son inconvénient actuel est qu'il n'existe qu'en version anglaise comme tous les autres. Nous avons aussi reçu la version sur disquette de IDRISI.

Chaque participant au Workshop devait présenter durant dix minutes ce qu'il a fait en modélisation ou en perspective. Nous l'avons fait en parlant du modèle qui est entrain d'être « imaginé » dans le cadre du Projet Écossén. Un comité d'initiative intérimaire a été mis en place. Il est composé de 6 membres. Il se réunira prochainement pour donner une suite aux projets à soumettre ou à développer et mettre sur pied un programme commun en matière de modélisation pour l'Afrique dans le cadre des programmes IGBP.

Peut-on modéliser l'environnement ?

par

Louis-Albert Lake

(Collectif) 1996. **Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement. Actes des journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés.** Cité des Sciences et de l'Industrie, Paris les 15, 16 et 17 janvier 1996. Communications orales, *Session A* : Problèmes de modélisation, conceptualisation, agrégations d'échelles, assimilation de données. *Session B* : Modélisation des systèmes complexes, nouveaux modèles, validation des modèles. CNRS, 1996, 190 + 170 p.

Dans les pages qui suivent on propose l'analyse et parfois la critique d'une sélection de communications tirées de l'ouvrage ci-dessus référencé et numéroté de I à VII (sur un total de 60). Le découpage, la plupart des sous-titres et la quasi totalité des formes de soulignement sont de nous.

I. Barraqué Bernard. Spécificité et difficulté de la modélisation dans le domaine de la gestion de l'environnement. Session A, p. 5 - 17.

Cette communication constitue une remarquable analyse critique du développement des systèmes depuis la deuxième guerre mondiale et de son rapport à l'éclosion, encore plus récente, des sciences environnementales. Ce cheminement rétrospectif est accompagné de réflexions dont la portée euristique permettra au lecteur d'entrevoir le sens profond de la modélisation actuelle ainsi que les promesses comme les incertitudes de son avenir. On tente d'en récapituler les principales étapes et les arguments-clefs.

1. De la Recherche opérationnelle (*operation research*) à l'Analyse de système.

L'*operation research* ou l'analyse de système est une invention anglo-saxonne « visant à prendre le plus rationnellement possible des décisions sur les meilleures tactiques à adopter pour remplir des objectifs militaires » durant la seconde guerre mondiale.

2. Modèles et méthodes pour la décision rationnelle.

La recherche de la rationalité analytique dans la prise de décision publique a eu deux effets principaux:

- le développement des modèles d'anticipation, de sélection de projets et (ces deux aspects à la fois) des modèles d'optimisation. Tous ces modèles reposent sur le jeu différentiel des relations entre quatre ensembles : le problème et les solutions possibles, les actions possibles, les résultats de ces actions, les critères de décision ;
- la reconnaissance d'un pouvoir de plus en plus partagé face à la découverte de la complexité.

3. La découverte de la complexité.

Pour les analystes de la décision un problème est complexe lorsqu'il présente au moins l'un des trois caractères suivants : plusieurs décideurs et donc des systèmes de valeurs (et des critères) opposés ; le contexte décisionnel est incertain ou aléatoire (non-recours possible aux probabilités) ; les variables s'influencent (d'où rétroaction des conséquences sur les causes et difficulté de simplification du problème).

Ces caractéristiques remettent en cause l'extériorité et la neutralité du sujet par rapport à l'objet. « Cette perversion de la rationalité » (où la sélection des actions dépend trop des critères du décideur) revient à justifier par des modèles des décisions déjà prises. Pour sortir de cette impasse apparaît l'idée d'une *analyse stratégique* ou d'une *analyse préalable* de la situation. Cette reconnaissance de la complexité conduit à la sophistication des méthodes d'anticipation et de celles de décision dont la séparation est remise en cause.

4. Le développement des modèles d'anticipation et décision.

La sophistication des méthodes d'anticipation se traduit par le passage de la simple extrapolation du passé observé à la construction de scénario intégrant l'incertain et le variable.

Exemples d'efforts réalisés en ce sens :

- Les américains introduisent la notion de « probabilités subjectives » en l'absence de possibilités de vérification.
- Dans les années 60 l'*analyse coût-bénéfice* (puis l'analyse «*coût-avantages*») devient l'idéal dans le domaine de l'aide à la décision. Mais, comme toutes les méthodes quantifiées, cette méthode saisit difficilement l'incertain et supporte mal le partage du pouvoir de décision.
- L'analyse multicritère se développe. Elle commence par les matrices multicritères de comparaison des solutions, dans les années 60, puis dans les années 70, par des méthodes sur les matrices elles-mêmes, c'est-à-dire l'analyse de la situation différentielle des solutions (méthode des déclassements comparés). Autre méthode célèbre : la méthode Electre en France (élimination progressive des solutions possibles grâce à des indices de concordance et de discordance entre les critères).

5. La critique du modèle de prévision autoroutier Faber-Davis

(ou la crise de l'indépendance de l'offre et de la demande).

Aux États-Unis le modèle mathématique de prévision du trafic automobile urbain est mis au point par Alan Voorhees. Il est généralisé en France sous le nom de Faber-Davis. La critique essentielle adressée à ce modèle est d'avoir été trop favorable à l'extension des autoroutes urbaines.

Ce modèle exploite surtout un principe gravitaire dérivé de la loi de Newton. L'exploitation de ce principe et la simulation prévisionnelle des variables en jeu permettent d'estimer le déficit routier à l'horizon fixé et d'en programmer le développement.

Les principales critiques de ce modèle sont :

- sa démarche séquentielle occulte le rôle essentiel de certaines rétroactions : par exemple, il ne permettait pas de traiter la sociologie du rapport étroit entre mobilité journalière et coefficient de pointe, fautiveusement séparés ;
- le modèle repose sur l'*a priori* explicite d'indépendance de la demande de déplacements et de l'offre technique de transports. Or, on a découvert que la demande est fonction de l'offre et augmente parallèlement (chaque nouveau tronçon d'autoroute est saturé qui reproduit donc la situation qu'il était censé résoudre) ;
- L'idée de transférer la formule de Newton à des phénomènes sociaux est une hérésie ancienne aux États-Unis (1956) qui s'est développée avec les « sciences régionales » pour culminer dans cette application à la circulation intra-urbaine dans les années 60.

Le modèle Faber-Davis a donc été remis en cause au nom d'une « approche à la fois plus environnementale et plus systémique des transports ». Cette tendance substitue le schéma offre-demande à d'autres paradigmes, souvent biologiques. Apparaît alors la difficulté de modéliser l'environnement et la remise en cause de la séparation sujet-objet. « La prétention à l'objectivité n'est plus tenable ».

6. « Un saut qualitatif : les méthodes d'évaluation des situations ». L'analyse des systèmes.

Alors que, d'après l'Auteur, les États-Unis connaissent un retour à l'analyse coût-bénéfice durant la «révolution conservatrice» des années Reagan, en France le débat sur la complexité se poursuit dans le cadre de l'évaluation des politiques publiques. C'est le courant de l'analyse des systèmes, dont l'un des principes-clefs est que le système constitué d'acteurs décideurs et d'objets de décision doit faire l'objet d'une étude préalable.

Deux illustrations de cette tendance :

- dans le domaine des statistiques et des probabilités : l'*analyse des données* de Benzecri. « Dans l'analyse des correspondances en particulier, il ne s'agit plus de classer les objets selon les critères de décision, mais de regarder quel ensemble de relations complexes s'établit entre les uns et les autres » ;
- dans le domaine de l'aide à la décision, c'est l'analyse structurelle illustrée en 1971 par le modèle « Popole » utilisé à l'agence financière du bassin Seine-Normandie. La méthode consiste, à partir de l'analyse qualitative de toutes les influences entre éléments du système, à identifier le poids d'influence et d'influencabilité de chaque variable par toutes les autres, ce qui permet de distinguer les conflits, les faux problèmes, les enjeux de la situation et les stratégies possibles.

7. Les excès de la vogue systémiste

(« Dynamique des systèmes et fonctionnalisme organiciste »).

« Dans les années 1970, certains ont voulu aller plus loin, et quantifier les interactions complexes entre les acteurs et les objets de leurs décisions ». La dynamique des systèmes en écologie et, en particulier, le modèle «halte à la croissance» de Jay W. Forrester à Boston. « La méthode consiste à «jouer» l'évolution des variables » à chaque étape de l'évolution étudiée et à confronter les situations générées par les différents acteurs-

joueurs. Cette approche se fit au prix d'une simplification abusive du concept de la ville et d'une naïve "naturalisation" des phénomènes sociaux.

En France également la recherche urbaine se plie à la vogue systémiste. Mais, en 1983, Guy Palmade en fait la critique radicale, dénonçant le danger de conférer un caractère général à un système fondé sur des connaissances limitées et une idéologie datée.

8. Conclusion

B. Barraqué conclut son excellent papier en faisant siennes les inquiétudes des auteurs qui constatent la persistance de la philosophie naturelle, récurrente aux États-Unis, et des dangers de ses modèles mécanistes. De ce fait, « La modélisation systémique de l'environnement est indissociable d'une réflexion philosophique » et d'une certaine « humilité ».

II. Carcin M. *et al.* Le projet Expect : application des techniques de l'intelligence artificielle et du raisonnement qualitatif à la géoprospective. Session A, p. 18-24.

1. La géoprospective.

Les études géoprospectives s'appuient sur les sciences de la terre pour élaborer des schémas de l'évolution géologique future d'un site. L'élaboration de ces schémas repose sur 3 conditions préalables :

- émettre des hypothèses vraisemblables d'occurrence de certains processus primaires déterminants pour le système étudié ;
- ces hypothèses doivent être cohérentes entre elles aux plans phénoménologique et chronologique ;
- l'évolution doit considérer les effets combinés de plusieurs phénomènes et la chronologie de ces effets.

2. Les connaissances.

- 2.1. Les paramètres. Deux types sont identifiés : - les phénomènes géologiques ou causes primaires d'évolution des variables dans le temps ; - les variables ou propriétés géologiques d'un site.
- 2.2. Les interactions causales. Ce sont les relations de causalité faisant interagir les paramètres.
- 2.3. Les données temporelles, pour déterminer les événements, leurs échelles de temps et leur enchaînement.
- 2.4. Les données spatiales : le site, son environnement régional et sa position dans un contexte de globalité.

3. Le raisonnement qualitatif.

Il permet d'exploiter la nature causale des interactions entre les paramètres du système. Avantages (par rapport aux « modèles numériques trop contraignants et rigides) : - il est conforme à la perception souvent qualitative que l'expert a de l'évolution des paramètres ; - il pallie au manque ou à l'incertitude des données quantitatives ; - il permet une représentation explicite des liens de causalité.

4. Caractéristiques du modèle proposé.

4.1. Traitement des connaissances : processus, variables et causalité. Les connaissances du domaine étudié sont prises en compte à deux niveaux d'abstraction représentés chacun par un graphe d'influence :

- le niveau *processus* qui reflète une vision phénoménologique du système étudié. Un processus est un mécanisme dont l'activation induit des changements au niveau des autres paramètres ;
- le niveau *variables* : il prend en charge les connaissances plus fines que celles du niveau précédent.

Le graphe du processus permet de fournir des explications causales sur l'évolution globale alors que le niveau variable permet de simuler des évolutions et de générer des explications plus fines.

4.2. Deux échelles spatiales pour chaque niveau : - l'échelle globale ; - les échelles régionales ou locales. Les graphes d'influence de chaque niveau (processus et variables) sont subdivisés en conséquence.

4.3. Prise en compte d'une dimension métrique du temps.

Du fait de la nature de certaines variables, il faut prendre en compte conjointement le temps et l'espace. Une variable a donc des *instants significatifs* d'évolution pour des *localisations* particulières.

4.4. Le temps discrétisé par des événements. L'évolution dans le temps d'une variable localisée est représentée par une fonction linéaire affine par morceaux appelée *historique*. Les historiques sont *construits* par propagation à travers le graphe d'influence et par contrôle de l'occurrence d'événements significatifs ou changement des conditions. L'axe temps est donc gradué par des dates d'occurrence calculées au cours de la simulation.

4.5. Segmentation et formalisation de l'espace. La segmentation de l'espace-plan, statique, est fixée *a priori* par l'expert de chaque variable. Une localisation est soit un toponyme seulement, soit un point (une coordonnée), un axe ou vecteur, une région ou polygone.

4.6. Apport complémentaire des modèles numériques. La modélisation numérique proposée pour le temps et l'espace permet une coopération entre celle-là et le modèle qualitatif. Ce dernier se charge de la construction de l'évolution temporelle alors que la première permet de connaître des valeurs ponctuellement.

III. Duroure R., Duroure C. Schémas, pré-modèles linguistiques et modèles formels. Session A, p. 49-55.

1. Problématique.

L'utilisation de modèle mathématique est parfois profondément erronée. Pour certaines situations complexes l'utilisation collective d'un langage primitif permet de hier les deux concepts-clefs que sont la *schématisation* et la *formalisation*. Telle est la fonction du *pré-modèle linguistique*.

Les Auteurs portent une attention particulière aux *conflits linguistiques* qu'il convient d'éclairer avant même d'aborder les modèles.

2. Les systèmes formalisables et les limites de leurs schématisations.

2.1.. Nature homéostatique des systèmes formalisables.

Pour qu'un système, un objet ou un problème soit formalisable, il doit ignorer l'*exception* (qui détruit la règle), il doit être reproductible en termes de *mesures*, ce qui est exclue pour les systèmes pour lesquels on ne dispose que d'une expérience (l'évolution du climat terrestre).

La formalisation d'un système quantifié aboutit donc à un modèle qui reflète une structure et des possibilités d'évolution mais pas sur la dynamique et notamment sur l'*intermittence* de cette évolution.

Ce type de modèle (caractéristique en physique) est donc *homéostatique* : il est là pour être là et vérifier sa propre cohérence ; il ne crée pas d'information et, en particulier, il n'induit pas d'activité rétroactive de portée expérimentale. Or celle-ci est la raison d'être de la recherche.

A ce stade du raisonnement des Auteurs, le *lecteur peut s'interroger* sur la portée peut-être trop générale qu'ils confèrent à leur postulat : en mécanique, en aéronautique et en bien d'autres domaines la *simulation* est précisément l'exploitation expérimentale d'un principe rétroactif. Si l'*apprentissage* y est possible c'est justement parce que l'ensemble B des connaissances produites par le système est différent sinon plus grand que l'ensemble A des connaissances assemblées en entrée.

2.2. Modèles homéostatiques et innovations

En physique, le dépassement des limites du modèle se fait soit par ajustement du même modèle pour intégrer une observation *anormale* ou pour supprimer une *contradiction*, soit par un effort théorique permettant d'élaborer un nouveau modèle.

Ces scénarios de l'innovation restent mal compris et mal utilisés des chercheurs car ils restent non-formalisables et, dans un groupe de travail, dépendants de la philosophie de chacun. Ils sont sources de conflits.

3. Les systèmes non-formalisables.

3.1. Les systèmes complexes.

La plupart des systèmes complexes ne sont pas formalisables (en économie, éthologie, biologie et pour toutes les sciences sociales). Du fait d'un contexte "presque" quantifiable on en tire des modèles dangereux pour la prévision.

Il faut donc accepter « l'existence et l'utilité de certains *pré-modèles définitivement non formels* (hors de la logique et/ou non quantifiables) » pour lesquels les mathématiques peuvent devenir *contre-productifs*.

3.2. Les pré-modèles linguistiques.

Un pré-modèle propose des *traductions* (et non des transcodages ou des analogies) entre plusieurs paradigmes formellement irréductibles.

3.3. Les pré-modèles "imágenes" : La Schématisation.

L'image, le dessin, la figure, l'icône et le symbole forment les aspects sémantiques des schémas utilisés de manière systématique par les scientifiques.

Le schéma se distingue par son *alogisme* ("hors" de la logique), sa *liberté de lecture* opposée à toute forme de langage *discursif*, sa nature *topologique* et non *géométrique* (résistance aux déformations de représentations) opposée au *symbole*, sa *"fugacité"* ou propriété de disparaître dès qu'il a joué son rôle explicatif (il permet parfois une communication instantanée).

Le lecteur-utilisateur habituel de graphiques et schémas et de leur théorie voit en quoi toutes les affirmations des Auteurs, résumées en ce point 3.3., sont inexactes. Toute l'entreprise de la *sémiologie de la graphique* de J. Bertin est bien de montrer l'inverse, à savoir que les graphiques sont des images monosémiques

et donc des outils rationnels, dont l'efficacité n'a pu être contestée par les statisticiens. Par ailleurs les Auteurs ignorent probablement que la bande dessinée est, par définition, un *langage discursif* (voir « Les spectres de la bande » d'Alain Rey⁽¹⁾, éminent linguiste et co-auteur des dictionnaires de Paul Robert) : le récit y est une collection d'images se lisant de gauche à droite et de haut en bas ! Toutefois ce manque d'information *n'infirme pas la thèse principale des auteurs* mais la renforce : un graphique tel que la matrice ordonnable est un modèle équivalent à une analyse sectorielle (sans en avoir les inconvénients ni la précision) précisément parce qu'elle réalise visuellement (et non numériquement) des transcodings entre des paradigmes formellement irréductibles. Tel est même tout l'intérêt et l'objectif ultime du « traitement graphique de l'information » (J. Bertin) que nous devrions appeler aujourd'hui « système de base de connaissances et d'analyse multivariée à structuration graphique » (par différenciation d'avec les systèmes de calcul, qu'ils soient purement numériques ou de surcroît informatisés).

4. Les recherches interdisciplinaires ne sont que des recherches "multi-unidimensionnelles".

* Interdisciplinarité* et *approche transversale* relient des schémas ou restent géométriques. L'activité de modélisation est *multi-unidimensionnelle*. Elle entraîne des conflits syntaxiques et des dérives illogiques. Les recherches interdisciplinaires sont donc insuffisantes pour la recherche de stratégies d'innovation collective.

5. Les nouveaux modèles.

Les modèles représentés par des travaux tels que ceux d'I. Prigogine, d'A. Moles ou de G. Deleuze remplacent l'idée d'une ligne de progrès (même s'il s'agit d'une transversale) par le concept d'« exploration » d'un territoire de problèmes. Dans ce contexte, les pré-modèles se situent seulement *ailleurs* dans un *territoire de problèmes*, là où « les exceptions les *perturbent* sans toujours les détruire » ; ils résistent à l'incohérence du fait de leurs propriétés d'adaptation (Alogisme, Liberté de lecture, Topologisme et Fugacité). Le courant de la modélisation formelle est singulier : son indéniable efficacité n'existe que dans « une zone particulière d'un territoire infiniment plus vaste, mais » **explorable**.

Le lecteur sait que nous critiquons les propriétés d'adaptation rappelées ci-dessus (voir point 3.2). Pour nous, le schéma peut être parfaitement logique ou rationnel mais, dans la sphère du langage qui est le sien, le visuel. Il fonctionne sur le mode analogique par transcription visuelle des principales catégories différentielles de la formalisation (Semblable ou Différent, Supérieur ou Inférieur, Avant, Pendant ou Après, Plus grand ou Plus petit, qui se transcrivent visuellement par la variation de couleur, de valeur ou de taille du graphisme). Nous dirons donc que les schémas, bien que logiques (en graphique seulement) résistent mieux à l'incohérence que les modèles mathématisés parce qu'ils ne transcrivent pas toutes les relations entre les données de l'information mais seulement des relations d'ordre qui sont par ailleurs constamment et directement lisibles au sens de visualisables. C'est l'avantage d'une *communicabilité directe* qu'ils nous offrent en perdant la précision de transcription des mathématiques qui, par contre, ne peuvent que se *lire* de manière séquentielle. L'information d'une image *se perçoit* et les données d'une équation *se lisent*. Dès lors, l'expérimentation directe et physique (visuelle, tactile, motrice) est une propriété intrinsèque du schéma de la graphique (superposer 2 cartes induit de nouvelles connaissances, mais on ne peut superposer 2 équations). Cette voie de l'expérimentation ouvre la porte à l'analyse dynamique et à l'innovation dont les Auteurs parlent et renforcent donc leur thèse.

En définitive, pour revenir au territoire qu'ils évoquent, et paraphrasant Bertin, nous dirions que l'Univers est le champ infini de l'irrationnel ; pour l'explorer nous ne disposons que de deux supports rationnels de modélisation ; le verbe de la mathématique et l'image de la graphique. Ajoutons que ces deux systèmes de signes ne sont pas irréductibles l'un à l'autre (comme le prouvent la majorité des travaux scientifiques : ils sont associés).

6. Conclusion. Les médiateurs de modèles.

Les Auteurs, avant leur conclusion, terminent leur communication sur une analyse des modèles dans le conseil d'entreprise. Nous n'étudions pas ce chapitre, trop loin de nos préoccupations mais en retenons la leçon qu'en donnent les Auteurs dans leur conclusion : leur expérience en recherche-développement ainsi qu'en sciences humaines leur fait apparaître « le besoin d'interlocuteurs qui traduisent les problèmes des uns pour les adapter aux modèles des autres ». Il faudrait donc développer cette fonction de *médiateurs de modèles* dans un vaste champ de modèles et de schémas explorés à l'aide de *méta-méthodes* par des petits groupes de spécialistes d'horizons divers.

On ne peut que souscrire à cette idée forte qui nous permet de nous demander si telle n'est pas la vocation méthodologique du Projet ECOSSEN : la procédure cartographique, par le biais d'une homogénéisation

sémantique des variables retenues, pourrait assurer la fonction de modèle ; elle serait le système de concordance des modèles d'input ; dans ce cas, en effet, le dialogue entre experts est nécessaire ; ce dialogue pourrait faire fonction de médiateur entre modèles.

IV. Matarasso Pierre. Quelques remarques sur l'intégration de modèles climatiques, biophysiques et économiques dans le cadre de recherches sur l'environnement. Session A, p. 99-104.

Cette communication définit les modèles intégrés mathématiques et en donne plusieurs exemples, tous dans le domaine des mesures de limitations de gaz à l'effet de serre. L'article se resitue ensuite au niveau plus général de la modélisation pour en proposer l'histoire dans le contexte général de l'histoire des sciences depuis Galilée.

En notes de lecture, nous retenons trois développements : la définition du modèle intégré, la différence entre simulation et optimisation, la taxinomie des événements.

1. Évolution intégrée et modèles.

Dans le domaine des sciences de l'environnement l'« évolution intégrée » est la tentative de construire des modèles *intégrés* liant les processus économiques et les comportements humains aux évolutions climatiques et biologiques résultantes.

Deux grands types de modèles sont en compétition :

- les modèles de simulation séquentielle des physiciens, biophysiciens et ingénieurs, qui utilisent des logiciels de simulation dynamique ;
- les modèles d'équilibre général statique ou inter-temporel des économistes, qui utilisent des langages dérivés de la programmation mathématique.

La théorie du contrôle optimal devrait peut-être permettre d'unifier les oppositions entre ces deux modèles.

2. Simulation ou optimisation ?

Les modèles de simulation et les modèles d'équilibre général se basent sur les systèmes d'équations « pratiquement les mêmes » où « seule la technique de résolution diffère ».

La différence entre ces modèles se situe à 3 niveaux :

- l'optimisation est plus difficile en présence d'incertitudes ;
- la simulation « se prête bien à la construction modulaire d'un modèle par établissement de *liaisons* entre de très nombreux sous-modèles hiérarchisés » ; mais l'intégration ne se situe véritablement pas plus au niveau du temps qu'à celui des variables ;
- l'optimisation est nettement moins liée que la simulation à conception physique classique du temps (continuité, déterminisme et lois du changement pour celle-là, dynamique de discontinuité, événements atomistiques, rôle des acteurs pour la première).

« Dans l'état actuel de développement des outils informatiques, la simulation reste la meilleure solution pour approcher une intégration relativement exhaustive de nombreux phénomènes très divers, tant dans l'hypothèse d'analyses de sensibilité que dans celle de l'introduction de l'incertitude ».

3. Taxinomie des événements.

La nomenclature que propose l'Auteur vise des « terminologies simples permettant une transmission du contenu et des principes de construction des modèles à des non modélisateurs ou à des échanges d'idées entre modélisateurs d'origines différentes ». Dans les modèles intégrés, on a donc plusieurs types d'événements qui se regroupent en deux ensembles distincts selon que l'on considère les unités événements ou l'ensemble des événements.

3.1. « Divisibilité et structure des événements » :

- événements divisibles (division des événements = événement divisé \equiv événements structurés par une loi sur toute l'échelle temporelle, selon la mécanique rationnelle) ;
- événements indivisibles (analyse d'activités) ;
- événements consécutifs structurés par une règle permettant des alternatives (théorie des jeux).

3.2. « Assemblages des événements, types de modèles » :

- modèles *poussés par le passé* (par l'état précédent par une loi ou une règle immuable) ;
- modèles *poussés par le passé* avec régulation et commande* (lois ou règles multiples et discontinues) ;
- modèles *tirés par le futur* (contraints par des ressources initiales et un état final défini) ;

⁽¹⁾ Chez « Les Editions de Minuit », 1978, 217 p.

- modèles à événements discrets étalés dans le temps et "coordonnés" avec propriété d'extremum sur l'assemblage des faits.

V. Godard Olivier. L'environnement, du concept au champ de recherche et à la modélisation. Session A, p. 121-127.

L'Auteur résume lui-même efficacement son propos dès les premières lignes de sa communication. Nous en reproduisons l'essentiel ci-après, augmenté de quelques précisions relevées plus bas. Le découpage et les surlignements sont de nous.

Que penser du besoin d'intégration dans les recherches sur l'environnement biophysique de l'homme ?

1. La structure sous-jacente au couple de concepts « **système-environnement** » a les attributs d'une « hiérarchie enchevêtrée », car, avec le système environnemental et l'environnement du système, il y a **deux hiérarchies inverses** (celle de la logique autoréférentielle et celle de la logique hétéroréférentielle). Le paradoxe de ces propositions tient à ce que chaque hiérarchie comprend l'autre comme moment d'elle ; le plein déploiement d'un point de vue polaire implique, à une certaine phase de son développement, l'adoption du point de vue opposé. Concrètement l'énonciateur d'un « point de vue de la globalité » environnementale étant lui-même partie prenante de la société englobée, sa connaissance ne peut surplomber la totalité du couple « environnement/société », à la différence de l'ingénieur face aux artefacts qu'il construit. Cet effort énonciateur, dans sa logique hétéroréférentielle, ne peut éviter de créer un processus de controverses et ne peut pallier à l'incomplétude des énoncés sur le sens de la globalité environnementale.

2. Les effets de la hiérarchie enchevêtrée sont renforcés par deux facteurs de complexité :

- **la pluralité des niveaux d'organisation de l'environnement** ; la remontée des niveaux peut s'accompagner d'une inversion de sens apparent des phénomènes : telle destruction locale apparaîtra au niveau supérieur comme un élément positif, à la manière des modèles « prédateur-proie » de l'écologie ;
- **la pluralité des univers de justification de l'action publique** car le « modèle de la cité » se décline sur plusieurs modes : marchand, industriel, civique, domestique, auxquels répondent autant de constructions différentes de la nature.

3. Les scientifiques sont alors entraînés dans une **circulation récurrente entre les points de vue et entre les niveaux d'organisation**. La controverse occupe ici une place-clé pour qualifier le mode d'existence de ce champ de recherche.

4. Il en résulte une **deuxième « hiérarchie enchevêtrée »** d'emboîtement entre les deux figures mobilisées pour représenter le lien entre sujets humains et êtres de la nature : la « **cité politique** » et le « **système** ». En effet, les modèles politiques et les systèmes n'organisent pas le monde de la même manière ; il s'ensuit un écart entre le sens de la réalité pour ceux qui participent de l'action dans la cité et le sens construit par un observateur dégagé des contraintes de l'action mais équipé d'un outillage technique et scientifique approprié.

5. La question environnementale accentue ainsi **la tension entre deux modalités de prise de décision collective** : la délégation à l'expertise scientifique ou l'application de schèmes sociaux éprouvés (la démocratie, la tradition, l'intérêt mutuel négocié, etc.).

VI. Guarnieri Franck, Wybo Jean-Luc. Systèmes de modèles dans les systèmes à base de connaissances. Application aux questions de l'environnement. Session A, p. 134-139.

Après avoir défini les systèmes à base de connaissances et souligné l'intérêt du développement actuel des systèmes de connaissances couplés, les Auteurs présentent une étude de cas dans le domaine de la prévention des incendies de forêts.

Nous ne retiendrons ici que les points forts du raisonnement sur les systèmes.

1. Pour les questions environnementales un **système** est : - un ensemble en relation avec son environnement ; - un ensemble de sous-ensembles en interaction ; - un ensemble se modifiant dans le temps.

2. « Le concept de système est inséparable du concept de **modèle** », celui-ci étant un « système représentatif d'un système concret ».

3. La simulation de processus environnementaux complexes nécessite l'utilisation de nombreux modèles pour le même système. A cet égard le concept de **systèmes de modèles** permet d'appréhender la complexité environnementale afin de promouvoir - une approche plus synthétique, - la mobilisation et l'organisation des connaissances, - un langage unitaire.

4. Parmi l'ensemble des modèles et outils de l'intelligence artificielle (IA), les auteurs retiennent l'approche systèmes à base de connaissances qui propose des formalismes de représentation de la connaissance et des mécanismes d'inférence de ces dernières. **Les systèmes à base de connaissances** ont trois caractéristiques : - une base de connaissance unique ; - la capacité d'inférer de nouvelles connaissances à partir des connaissances présentes ; - la possibilité pour l'utilisateur de retrouver les connaissances d'avant-inférences.

5. *Aller plus loin* dans l'effort de formalisation et d'intégration de la connaissance, c'est associer les diverses formes de modélisation dans un **système de modèles** pour résoudre un problème complexe grâce à une approche système à base de connaissances.

6. Calcul numérique et calcul symbolique, ces deux grands types de formalisme de modélisation utilisés dans les systèmes à base de connaissances, depuis une dizaine d'années, peuvent être désormais combinés au sein de **systèmes couplés**. Ceux-ci ne doivent pas être confondus avec les systèmes experts qui utilisent « aveuglement » les modèles. Les systèmes couplés sont capables de raisonner sur les conditions d'applications et les résultats des modèles. La notion de base de méthodes (notion proposée par EDORA, 1987, activity report. INRA, Laboratoire de Biométrie, Université Claude Bernard de Lyon) décrit bien la spécificité du système couplé qui associe calcul numérique et calcul symbolique.

VII. Leviandier T. Validation partielle des modèles. Modestie feinte ou ambition réelle ? Session B, p. 164-170.

Après avoir rappelé la difficulté de préciser la notion de *validation* (bien moins claire que celle de *vérification*), l'Auteur montre que le principe-même en est et peut être contesté, au point qu'il retiendrait plutôt le terme d'« *accréditation* ». Cette validation, ainsi réduite dans ses ambitions, consiste à renforcer la confiance dans les performances futures du modèle, pour un objectif donné, et son acceptation par une communauté.

L'Auteur montre ensuite, à la suite de nombreux exemples tirés de la littérature, comment la validation ne peut et ne doit prétendre consolider tout le champ de construction d'un modèle et, encore moins, toute la sphère de sa relation au réel. On peut retenir, au fil des pages, les plus fortes remarques qui ponctuent ce développement :

- On « n'attend pas du modèle une explication finale et exhaustive du système, mais un jugement sur certaines de ces hypothèses et certaines de leurs conséquences ».

- « La validation ne peut être posée uniquement comme la mesure de la satisfaction des objectifs déclarés, car la légitimité des objectifs n'est pas assurée ».

- « Il s'agit rarement de montrer que le milieu est conforme à sa représentation dans le modèle (...) mais que le niveau de précision de cette représentation est nécessaire et suffisant, ou à défaut, acceptable sur le plan du rapport coût/performance ».

En **conclusion** l'Auteur propose de reconnaître une obligation minimale des modèles et d'accepter une marge de tolérance inévitable.

- *L'obligation* : « procéder à des **validations relatives et partielles** de modèles pour en extraire la reconnaissance des facteurs essentiels ainsi que l'interprétation de certains composants du modèle » ; ces facteurs sont souvent des sous-systèmes mais ils peuvent être aussi « la géométrie, la complexité des interrelations ».

- *La tolérance* : « il est admissible de tolérer dans les modèles **certaines composantes peu sûres** en elles-mêmes, soit par manque de connaissance, soit par simplification délibérée, mais à condition de s'assurer qu'elles ne nuisent pas aux sorties du modèle que l'on veut interpréter ».

SIG : système ou fourre-tout ?

par

Louis-Albert Lake

Richard Jean-François et Beroutchachvili L. Nicolas, 1996. « Vers l'élaboration d'un système d'information sur les paysages du monde ». *Cah. Sci. Hum.* 32 (4) 96 : 823-842.

Cet article interpelle la problématique du Projet Ecosen en ce qu'il constitue, indirectement, une analyse critique de concepts-clefs tels que "global", "systèmes", "SIG" ou "paysages", concepts qui fondent largement les postulats et la démarche du Projet Ecosen.

Les auteurs insistent d'abord sur les exigences de **complétude** et de **non-contradiction** de l'information pour un SIG consacré à l'étude des **milieux naturels**. Puis ils soulignent l'intérêt des études entreprises jusqu'ici lorsque celles-ci utilisent la démarche qu'ils ont expérimentée dans divers milieux du monde. Cette démarche se fonde pour l'essentiel sur :

- une "structure du système d'information" respectant la "structure de la réalité", c'est-à-dire une démarche déductive de différenciation des paysages par segmentations successives de l'espace en unités plus petites et emboîtées ;
- une "stratification" universelle des "corps et complexes naturels" en **géohorizon** ou **hoplexol**, nuancée et codifiée grâce à un véritable "système lexical" adapté aux contraintes de l'informatisation ;
- une base de données et une expression cartographique **équivalentes** (« toute l'information de départ se retrouve dans la définition des paysages représentés sur la carte ! ») et **complètes** (elles répondent à « toutes les questions » d'utilisateurs !).

Sur le traitement du temps, par contre, les auteurs restent allusifs.

On propose ci-après plusieurs remarques de détails ou générales (en rapport avec le court compte-rendu ci-dessus) et en relation avec l'approche globalisante du Projet Écosén (Écographie du Sénégal Subsaharien).

Le champ d'intervention des auteurs limite l'intérêt de leurs remarques méthodologiques puisqu'il ne concerne que les « milieux naturels » et l'information « pouvant faire l'objet d'une **mesure physique** ». Une telle restriction peut obéir à des contraintes spécifiques ou à un jeu d'hypothèses donné, mais, cela mis à part, on s'interroge sur sa portée euristique ou méthodologique. On sait en effet que non seulement la définition même de milieux naturels pose problème, mais, surtout, que tout le problème de la modélisation depuis trente ans est précisément d'échapper à la dictature de la **mesure physique**. Tel est bien l'un des plus intéressants enjeux du colloque tenu à Paris en 1996 sur les **Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement** (voir les notes de lecture "Peut-on modéliser l'environnement ? "). La prise en compte actuelle du **qualitatif** voire du **symbolique** n'est pas une mode mais une nécessité face à la complexité croissante des phénomènes étudiés eu égard à un formalisme mathématique devenu trop étroit (voir le concept de **système couplé** de F. Guarnéri et J-L. Wybo, associant calcul numérique et calcul symbolique).

Par ailleurs, les auteurs précisent fort justement qu'« on ne peut pas tout étudier sur tout ! » et que « la recherche d'un "dénominateur" unique (...) doit éviter » l'impasse de la pluridisciplinarité et respecter le principe de "**non-contradiction**" interne de l'information. Ainsi « à quoi bon allonger la liste (de) variables (...) disparates ». C'est ainsi que les auteurs posent le problème de l'"intégration" des connaissances sur le milieu.

Ces remarques intéressent Ecosen en ce que ce projet prétend étudier l'évolution de plusieurs variables environnementales et socio-économiques. N'y aurait-il pas là le "fourre-tout" que critiquent les auteurs ?

On voit tout d'abord que l'intégration de l'information ne saurait se poser fondamentalement en terme de limitation du nombre de variables ou de disciplines en jeu. Cet aspect apparaît plutôt méthodologique voire technique, et c'est précisément le rôle de l'informatique que d'avoir réduit ces questions. Ensuite, il est aisé de remarquer que le principe de non-contradiction **ne peut se résumer** à éviter la multidisciplinarité, mais se fonde sur le **sens** commun, la signification analogue des variables. Ce qui signifie que c'est **l'objectif** du SIG qui donne du sens aux variables (et exclut donc d'office celles qui ne peuvent en avoir dans ce contexte). Ce sens fonde alors la non-contradiction interne des variables du système et le problème de comparer des variables de disciplines diverses n'est alors plus une question idéale ou théorique significative mais plutôt un problème méthodologique et technique.

C'est ainsi qu'avec le Projet Ecosen on comparera par exemple des variables tirées de thèmes aussi divers que ceux du climat, de l'occupation du sol ou des infrastructures. Le point commun à toutes les variables est une interrogation sur le développement socio-économique des zones étudiées. Toute variable retenue doit donc pouvoir générer un indicateur significatif eu égard à la question posée. De plus, l'information collectée concerne les **mêmes zones** : ce n'est pas un détail mais le point focal de l'intégration des données. On comprend bien cela en effet si l'on remarque par exemple qu'il n'y a peut-être pas de lien direct apparent entre cardiologie, urologie et stomatologie mais que le lien apparaît plus net si c'est la même personne qui a un infarctus, des calculs et une carie ! Il semble donc que le procès de la pluridisciplinarité, en soi, n'a pas de sens.

Le principe de non-contradiction repose peut-être encore plus sur le **point de vue** de l'observateur, du chercheur ou de l'utilisateur, comme l'ont si bien démontré des auteurs comme O. Godard en discutant de **la pluralité des niveaux d'organisation de l'environnement** qui « peut s'accompagner d'une inversion de sens apparent des phénomènes ». Pour qui est soucieux de recherche appliquée, c'est-à-dire de relation avec l'action publique, il est généralement aisé d'admettre, avec le même auteur, qu'il existe aussi une « pluralité des univers de justification de l'action publique » : marchand, industriel, civique, domestique... « **auxquels répondent autant de constructions différentes de la nature** ». Dans les pays pauvres (comme le nôtre) où la faiblesse des structures de régulation sociale est une donnée permanente, **il semble qu'il n'y ai pas de paysage en soi** (qu'il soit "naturel" ou pas). On sait que tel espace est un champ pour le paysan, un parcours pour l'éleveur, une zone classée pour l'État et un ... **paysage** pour le touriste ou le chercheur. Seul peut-être l'Aménagement du Territoire (l'État ?) pourrait synthétiser tous ces intérêts et points de vue différents ? A cet égard le principe de non-contradiction atteint sa limite ultime : il est difficile de dépasser les limites propres à son propre système de justification, à moins que ces limites soient prises en compte dans une autre sphère de justification, fondée, par exemple, sur l'arbitrage ou la négociation.

Enfin, dernière remarque, un "système lexical" relativement complexe pour décrire la complexité des milieux ne procède-t-il pas d'un étrange paradoxe peu compatible avec la finalité des sciences qui, espérons-le, est de servir l'homme et les sociétés ? Il est en tout cas en contradiction avec toutes les données de la théorie de l'information. En effet, la science semble moins avoir pour but de reconstituer ou de représenter le réel que de le comprendre, pour un objectif donné, par le biais de **simplification** et de **réduction**. Le but des classifications et des taxonomies n'est peut-être pas de reconstituer mais, au contraire, de dire l'essentiel en terme compréhensible. Il s'agit là d'un problème essentiel de **communication** auquel les auteurs semblent indifférents.

Bien d'autres remarques seraient à faire. On peut toutes les résumer en ajoutant que la portée "universelle" que les auteurs prêtent implicitement à leurs remarques et à leur méthodologie semblent fortement tempérée par les nombreuses limites euristiques qu'ils imposent eux-mêmes à leur réflexion.

La désertification

mythe ou réalité ?

Mainguet Monique. *L'homme et la sécheresse.* Paris, Masson, 1995, *Collection géographie*, 37 fig., 39 ph., 25 tabl., index, 335 p.

Pour qui ne connaîtrait du P^r Mainguet que sa passion pour les oasis et ses théories spectaculaires sur les transports éoliens au Sahara ou sur la morphodynamique des édifices sableux, « L'homme et la sécheresse », bien plus qu'un ouvrage didactique, s'impose comme une réflexion globale, technique, mais aussi idéelle, sur le destin de l'homme des régions arides et semi-arides.

Le spécialiste du Sahel y trouvera un réconfortant décapage de concepts aussi chargés que ceux de sécheresse, de désertification ou d'oasis. Il y trouvera surtout une tentative originale et convaincante de dévoiler, dans l'épaisseur de l'histoire, la nature des relations entre ces concepts et les groupes humains concernés, et donc le sens de la détérioration des milieux de vie en régions sèches. Telle était d'ailleurs le souci épistémologique de l'Auteur qui, dans la dernière phrase du livre, définit son entreprise par une interrogation : « Avons-nous réussi (...) (cette) géographie à dimension culturelle commandée par des données climatiques tyranniques, l'aridité et la sécheresse et à accrédi-ter l'idée que l'histoire est, dans ce cadre, un des outils de l'analyse géographique ? ».

Que ce soit une Géomorphologue qui offre un ouvrage sur une sécheresse "à hauteur d'homme", témoigne clairement d'une évolution positive des sciences géographiques depuis un demi-siècle : est définitivement discréditée la vogue des naturalistes qui imputaient tout problème, mécaniquement, soit au climat soit à l'homme. Il s'agit aujourd'hui d'approfondir une vision plus raisonnable, prudente et nécessairement plurielle (multithématique et multiscale).

Cette tendance est suffisamment perçue pour faire l'objet d'un manuel que les étudiants apprécieront ; mais elle restait peut-être insuffisamment formalisée dans le discours géographique ; c'est cela qui nous convainc que cet ouvrage est également indispensable à l'expert sahélien soucieux d'interroger la cohérence et la validité des hypothèses sous-jacentes à son travail.

Cet ouvrage sur la problématique de la sécheresse comprend quatre parties fondées successivement sur des analyses biophysique, économique, aménagiste et anthropologique.

Dans la première partie de l'ouvrage on trouve une clarification des notions d'aridité et de sécheresse, qui sont nettement distinguées. *L'aridité* associe un déficit pluviométrique permanent à d'autres conditions climatiques telles qu'une insolation forte et une faible humidité de l'air. *La sécheresse* résulte d'un déficit pluviométrique temporaire par rapport à des précipitations normales (p. 27). La première est un phénomène climatique *structurel*, alors que la seconde est *conjoncturelle*.

L'Auteur distingue ensuite plusieurs « types » de sécheresse : météorologique (précipitations inférieures à la moyenne) caractérisée au Sahel par son ampleur spatiale et sa récurrence ; hydrologique ; édaphique (diminution de l'infiltrabilité des sols) ; et agricole (p. 30-35). Cette nomenclature à tiroirs manque peut-être de liant (pourquoi n'y aurait-il pas aussi une sécheresse biologique, une écologique, etc ? et si l'infiltrabilité dépend beaucoup de l'état de surface du sol, pourquoi faire de sa détérioration l'une des expressions majeures de la sécheresse ?), mais elle permet de rappeler la diversité des manifestations et des conséquences premières de la sécheresse.

La Géographe tente ensuite de dresser un bilan critique des principales hypothèses explicatives de la sécheresse, émises par les chercheurs depuis un siècle (p. 35-39). Elles semblent toutes contestables tant la controverse dont elles sont l'objet semble profonde : rejet progressif de la théorie des cycles, démenti de la relation trop rapidement affirmée entre destruction de la couverture végétale et péjoration climatique, portée plus continentale que planétaire de la théorie d'une aridification postglaciaire croissante vers 20 000 à 18 000 B.P., et, enfin, ruine des essais de démonstration d'une avancée du désert vers le Sahel (« une des erreurs scientifiques de notre siècle » affirme l'Auteur).

Les sécheresses africaines et sahéliennes sont minutieusement décrites (p. 39-50), et le tableau 4 (p. 40) offre une bonne synthèse des recherches sur la périodisation des fluctuations climatiques au cours de ce siècle (en Afrique tropicale sèche) :

Dates	Période
1905 - 1908	peut-être intermédiaire ?
1912 - 1915	sécheresse sévère
1916 - 1924	humide
1925 - 1928	sèche
1929 - 1939	humide
1940 - 1944	sécheresse sévère
1945 - 1946	humide
1947 - 1949	sèche
1950 - 1961	humide
1962 - 1967	intermédiaire
1968 - 1973	sécheresse sévère
1974 - 1976	intermédiaire
1977 - 1985	sécheresse sévère
1987 - 1993	convenable
1994	sécheresse ?

A quelle dégradation la sécheresse de 1968-1985 a-t-elle conduit ? Est-elle réversible à l'échelle humaine ou pas ?

En illustrant ce questionnement par un aperçu de la crise pastorale de 1984-85 au Kenya et en Afrique de l'Est, M. Mainguet, sans répondre, prend à son compte la nécessité de mise en place d'un système d'alarme précoce (dont une fastidieuse liste des caractéristiques est présentée) et termine sur les « leçons » qu'il conviendrait de tirer de la dernière sécheresse au Sahel.

La principale conséquence de la sécheresse étant la « pénurie alimentaire », l'Auteur attribue ce « déséquilibre économique » à un quadruple « déséquilibre écologique » (p. 47) : celui dû aux activités de l'élevage, du fait d'un accroissement excessif de la taille des troupeaux avant la crise ; mais ce vieil argumentaire de la Banque mondiale (1985) nous semble aujourd'hui pécher par son caractère simpliste ; la deuxième cause du déséquilibre serait la conjonction entre une démographie croissante et l'appauvrissement des sols ; « la disparition des arbres » et l'urbanisation en seraient enfin les autres causes.

On peut regretter que ces banalités, anciennes et trop "écologiques", soient hissées au rang de « leçons ». Car la situation et la crise de l'élevage sont variées ; la crise agricole semble moins liée à un trop plein démographique fort contestable qu'à la crise des conditions économiques et politiques de l'agriculture spéculative ; quant à la « disparition » des arbres, elle n'est pas ubiquiste en zone sahélienne.

La deuxième partie de l'ouvrage, sur les ressources et contraintes, plus technique, présente le double avantage d'offrir un bon aperçu général sur les conditions physiques des écosystèmes secs et un rappel pratique des outils maintenant classiques de l'analyse de ces conditions (indicateur de variabilité pluviométrique, coefficient de drainage, indice de Fournier, équation universelle de perte en sol ; p. 87 - 124).

Parmi ces contraintes et conditions, M. Mainguet réserve une place importante au vent et aux édifices sableux. Le vent est défini physiquement ; les principes et mécanismes de sa dynamique sont exposés (p. 125-135). On notera au passage une intéressante classification des dunes fondées sur une heureuse articulation entre la classification d'Aufrère (dunes et régime éolien) et celle de l'Auteur elle-même (bilan sédimentaire), (p. 137).

Enfin l'Auteur livre sa théorie du système global d'action éolienne (SGAE), proposée en 1992 (p. 145-149). Dans cette métagéographie dynamique des ergs, le Sahara-Sahel est un système ouvert : après importation et accumulation de particules, il peut subir une réexportation. Longtemps aire d'accumulation, le Sahel deviendrait potentiellement, depuis la sécheresse de 1968-1985, une aire d'exportation, même s'il semble continuer avant tout d'être le terminus des grands couloirs d'exportation de sable traversant le Sahara du Sud-Ouest. La carte du SGAE (p. 147) permet de penser que le Nord-Ouest du Sénégal, terminus des sables arrachés à l'erg du Trarza, devient lui-même, avec l'erg du Ferlo, un vaste secteur d'exportation. Articulant sa théorie au modèle de Reichelt, l'Auteur conclut que l'erg ogolien, vaste désert au bilan sédimentaire positif au Pléistocène supérieur, connaît un bilan sédimentaire négatif depuis la réinstallation de la sécheresse vers 7000 B.P., l'erg fixé entre-temps se réactivant alors, « avec une accélération sous l'effet des pressions humaines ». Cette approche dynamique du SGAE à une échelle de temps géologique serait l'« une des meilleures expressions de la désertification du Sahel » (p. 149).

Dans la troisième partie du livre le lecteur trouvera des développements riches sur le génie humain face au problème de l'eau et à la lutte contre le vent (p. 153-227).

Les corrélations que l'Auteur recherche entre sécheresse et dynamique sociale, à l'échelle historique, offrent de véritables modèles conceptuels qui pourraient permettre de déchiffrer le sens des grands aménagements sahéliens : « La sécheresse conduit au génie hydraulique par étapes obligatoires : (...) une hiérarchie, peut-être une civilisation, se crée... » (p. 177). Cette hypothèse pourrait-elle donner raison plus tard, par exemple en Afrique de l'Ouest, aux pays qui ont opté pour de grands aménagements dans la partie sahélienne de leur territoire et le long des rares grands fleuves qui le traverse, au détriment de la partie Sud, plus riche en eaux mais souvent contrôlées par des sociétés moins centralisées ? L'Etat sénégalais aurait-il eu raison d'avoir choisi le fleuve Sénégal, contre Pélissier qui pensait que toutes les conditions d'émergence du grenier à riz national se trouvaient à l'opposé, au Sud, dans les savants terroirs des Flup ?

La quatrième partie de l'ouvrage s'attache à définir les mécanismes d'une éventuelle « décadence » qui apparaît lorsque, malgré tous les efforts de l'homme, la dégradation de « l'espace oasien » s'impose. C'est dans cette perspective que l'Auteur a choisi d'aborder la « désertification ».

Citant Freund, l'Auteur tient la « décadence » pour « la troisième phase du mouvement d'une même société, les deux autres étant celle de l'ascension et (...) celle de l'acmé ou floraison ». D'un point de vue plus géographique M. Mainguet schématise ainsi l'évolution de l'équilibre entre l'homme et son milieu dans la cinématique d'une civilisation (p. 230) :

développement → saturation → dépassement → usure → décadence

Au XX^e siècle les menaces sur les activités humaines se seraient aggravées et la dégradation du cadre de vie serait la marque d'une décadence que l'Auteur propose d'analyser « à travers 10 principes d'explication, la mutation des oasis, la dégradation des sols et enfin la question controversée de la désertification ».

L'Auteur rejette tous ces points de vue qui, pris isolément, n'incrimineraient « qu'une catégorie de causes ». En fait presque tous ces principes d'explication joueraient en même temps, d'autant plus sûrement que le contexte du sous-développement serait un facteur supplémentaire d'aggravation de chacun de ces principes. Refusant toutefois tout pessimisme systématique l'Auteur affirme « qu'aux notions de vulnérabilité et de fragilité ont été substituées celles de résilience, de persistance ou de résistance » tout comme la notion d'« élasticité » doit être prise en compte (« vitesse de réhabilitation après perturbation » ; p. 237).

Après avoir décrit l'espace oasien, la Géographe analyse les causes endogènes de sa mutation (dessèchement, ensablement et salinisation ; p. 254-260) et présente des études de cas variées (l'engorgement des sols au Pakistan occidental, la salinisation en Mésopotamie, la décadence de l'Aral, la dégradation de la vallée du Tarim dans le désert du Xinjiang ; p. 267-283). Ces développements sur des écosystèmes en général arides intéressent toutefois directement le chercheur sahélien soucieux de prospective : n'y a-t-il pas ici des éléments de réflexion qu'il faudrait approfondir et utiliser pour reconsidérer les aménagements et les politiques de développement actuelles en fonction d'une péjoration climatique probable, c'est-à-dire d'indices de risques de décadence décelables maintenant afin de prévoir aujourd'hui les mécanismes de résistance de demain ?

Mais les prolongements de la réflexion de M. Mainguet permettent peut-être de répondre à la question puisqu'elle consacre un chapitre entier à « la désertification, expression de la décadence » (p. 285-299).

Sur près de sept pages l'Auteur analyse et critique minutieusement l'évolution sémantique du concept, n'hésitant pas par exemple à dévoiler les non-dits politiques et l'insuffisance scientifique des définitions unanimistes (celle de PNUE proposée à la Conférence de Rio ou celle amendée par la CNUED ; p. 288). Cette critique rigoureuse est appliquée à la définition que l'Auteur elle-même proposait quelques années auparavant, puisqu'elle en souligne la spécificité : elle « insiste sur les causes humaines, les paramètres climatiques comme la sécheresse agissant comme révélateurs du processus » ; elle se situe explicitement à une échelle de temps humaine et, à cette échelle, elle tient la désertification pour un phénomène irréversible. Quelques lignes plus loin, le P^r Mainguet démontre que l'« irréversibilité » est relative, que la désertification correspond à un champ d'observation nécessairement multithématique, que les accusations faites envers l'élevage traditionnel sont de plus en plus contestées et, enfin, que la « notion de capacité de charge est parmi les plus contestées » (p. 291).

Après cette approche globale, l'Auteur tente alors une critique multithématique du concept, démontrant, thème par thème, la fragilité des logiques de validation de la notion de désertification et, surtout, l'extrême complexité du jeu d'échelles nombreuses et variées sur lequel elle devrait nécessairement se fonder.

Au terme de ce travail ascétique, M. Mainguet aboutit à une conclusion étonnante : « **La désertification est-elle le vrai problème ?** ». Elle donne plusieurs exemples d'adaptations heureuses à la sécheresse sinon de conséquences positives (p. 299) et termine son ouvrage sur « Des notes d'espoir » en tentant de montrer que le génie humain, les technologies et la maîtrise de la démographie sont les « pivots d'un développement » durable (p. 303).

Si l'on exclut cette insistance sur la maîtrise de la démographie (idée fixe dont, paradoxalement, on peut trouver maints contre-arguments dans l'ouvrage lui-même), on ne peut que souscrire à ce démontage en règle du mythe de la désertification. Pour le spécialiste sahélien ce nettoyage épistémologique devrait être reçu comme une clarification du champ de recherche et une meilleure identification de son objet, dépouillé de toute idéologie déterministe, mais chargé d'influence : celle de l'homme, qu'il s'agisse de l'homme inhibé par un système économique ou politique inique ou, au contraire, de l'homme galvanisé par la sublimation de ses plus grandes forces intérieures en une dynamique sociale constructive. Que cette leçon d'humanisme soit magistralement proposée par une spécialiste des sciences de la terre ne lui donne que plus d'autorité.

Somme toute, bien qu'inégal, juxtaposant parfois des banalités à des argumentaires scrupuleux, des listes à des raisonnements, des passages touffus à des démonstrations lumineuses, « L'homme et la sécheresse » apparaît toutefois comme un ouvrage fondamental. On y trouve en effet bien articulées les théories physiques des plus audacieuses et la vivifiante anthropologie anti-conformiste d'un Chercheur qui observe l'Afrique et l'Asie depuis 30 ans. C'est la richesse de cette profonde expérience d'objectivation que le lecteur retiendra sans doute et qui l'interpellerà de manière vigoureuse.

Louis-Albert Lake

Participation à la Conférence Internationale Zone côtière Canada '96, *Coastal Zone Canada '96*
Les zones côtières : gestion intégrée et développement durable. Rimouski (Québec), 11-17 Août 1996

La flèche littorale de Joal (Sénégal) cinématique et aménagement

par

Mame Demba Thiam

Résumé

Le système lagunaire de Joal est bordé sur sa partie océanique par une flèche sableuse qui se développe sur environ 6 km de long et 600 m de large. Malgré son exigüité, cette flèche constitue le site d'une ville particulière avec une population qui a connu récemment une croissance exponentielle.

A l'aide de documents iconiques diversifiés (cartes anciennes, photographies aériennes et images satellitaires), le comportement dynamique a été suivi. Il apparaît, en effet, que l'évolution n'est pas seulement dépendante des conditions hydrodynamiques.

Tout compte fait, les résultats ne montrent pas une évolution linéaire. Cependant, la tendance globale révèle un allongement très important, dont le déclenchement serait fortement conditionné par l'aménagement d'une route et la perturbation du fonctionnement lagunaire dans ses relations avec l'océan. En même temps, on observe une forte action érosive dans la partie médiane de la flèche. Ce site est la partie plus densément occupée par l'habitat et les autres activités notamment celles concernant la transformation artisanale des produits halieutiques.

La forte évolution affectant la flèche sableuse a entraîné, comme une alerte, l'intervention des autorités locales. Ces dernières ont entrepris quelques actions sans procéder à des études préalables en vue d'une meilleure connaissance des phénomènes.

Il semble clair qu'en milieu côtier on peut obtenir, à l'aide de documents facilement disponibles, des résultats significatifs qui permettent de formuler des recommandations qui peuvent être utiles aux décideurs et permettre un aménagement adéquat.

Notre participation a été rendue possible grâce à l'appui du CRDI qui a pris en charge les frais de déplacement et de séjour. Le Projet Écossén a couvert les frais d'inscription (cf. Rapport de Mission, Septembre 1996, 5 p. + communication).

* Cette étude, par sa localisation (au sud de la zone d'étude du Projet Écossén), ne concerne pas directement le présent rapport. Toutefois le thème (cinématique et aménagement) nous intéresse, ce qui justifie la présentation du résumé ci-dessus. Note du Chef de Projet.