



Rapport de mission

**Construction d'une série temporelle de variables sectorielles pour
la mise au point du cadre d'analyse de la sécurité alimentaire**

David BOGGIO
Biométricien

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES 1

1 CONTEXTE..... 2

1.1 LE CADRE D'ANALYSE DE LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE. *.....a.**.. 2

1.2 TERMES DE RÉFÉRENCE 2

2 RÉSULTATS 2

2.1 BASE DE DONNÉES.. 2

2.2 METHODES D'INTERPOLATION UTILISÉES 2

2.3 HOMOGÉNÉISATION DES DONNÉES. 2

2.3 DONNÉES OBTENUES 3

JEU MAXIMAL DE DONNÉES COMPLÈTES 4

3 CONCLUSION 4

ANNEXE : DONNÉES SÉRIELLES DE LA BASE DE DONNÉES PAR DÉPARTEMENT FI-
PAR VARIABLE ELABORÉE 5

1 Contexte

1.1 Le cadre d'analyse de la sécurité alimentaire

La CASPAR met au point un modèle pour analyser en terme de diagnostic et de pronostic l'état de sécurité alimentaire des populations au Sénégal à partir de données sectorielles. En préalable à ce travail statistique une base de données a été constituée. Pour des raisons de disponibilité de données et de variations dans les protocoles de collecte, la base de données nécessitait une harmonisation.

1.2 'Termes de référence

Les étapes suivantes ont été identifiées pour constituer une base de données à même de permettre de mettre au point le modèle du cadre d'analyse de la sécurité alimentaire.

1. Intégration des données sectorielles dans une base de données relationnelles
2. Recherche du plus grand jeu de données complet
3. Identification des données manquantes à interpoler
- 1. Validation des hypothèses et mise au point de modèles d'interpolation
5. Interpolation géographique ou temporelle des données manquantes à partir des modèles
6. Harmonisation des échelles d'étude (proportionnalité à la superficie, au nombre d'habitants . . .)
7. Agrégation des variables sectorielles en indicateurs synthétiques

2 Résultats

2.1 Base de données

Une base de données relationnelles a permis de gérer de façon optimale la somme de données à confronter. Celle-ci a permis de créer des variables synthétiques, proportionnelles à la population par exemple.

La figure 1 présente un extrait de la base de données « Sécurité alimentaire » développée sous Microsoft Access 97.

2.2 Méthodes d'interpolation utilisées

Pour une même variable, deux cas se sont présentés :

- Un département aberrant ou manquant
- Une année aberrante ou manquante.

A partir d'une analyse de variance, les effets « année » et « département » ont été calculés, afin d'estimer les individus manquants.

2.3 Homogénéisation des données

Pour synthétiser des variables en une seule (par exemple les production de tomate, choux, oignon.. .), les quantités ont été converties, en valeurs commerciales estimées, puis fusionnées en une seule variable « revenu issu de l'activité maraîchère »

Afin de pouvoir travailler sur des variables de dimension comparable d'un département à l'autre, toutes les quantités ou valeurs commerciales ont été corrigées par la population du département.

Ainsi, toutes les variables introduites dans le modèle peuvent être analysées simultanément, et, pour un département donnée l'effet « population » n'est pas confondu avec l'effet « facteurs environnementaux ».

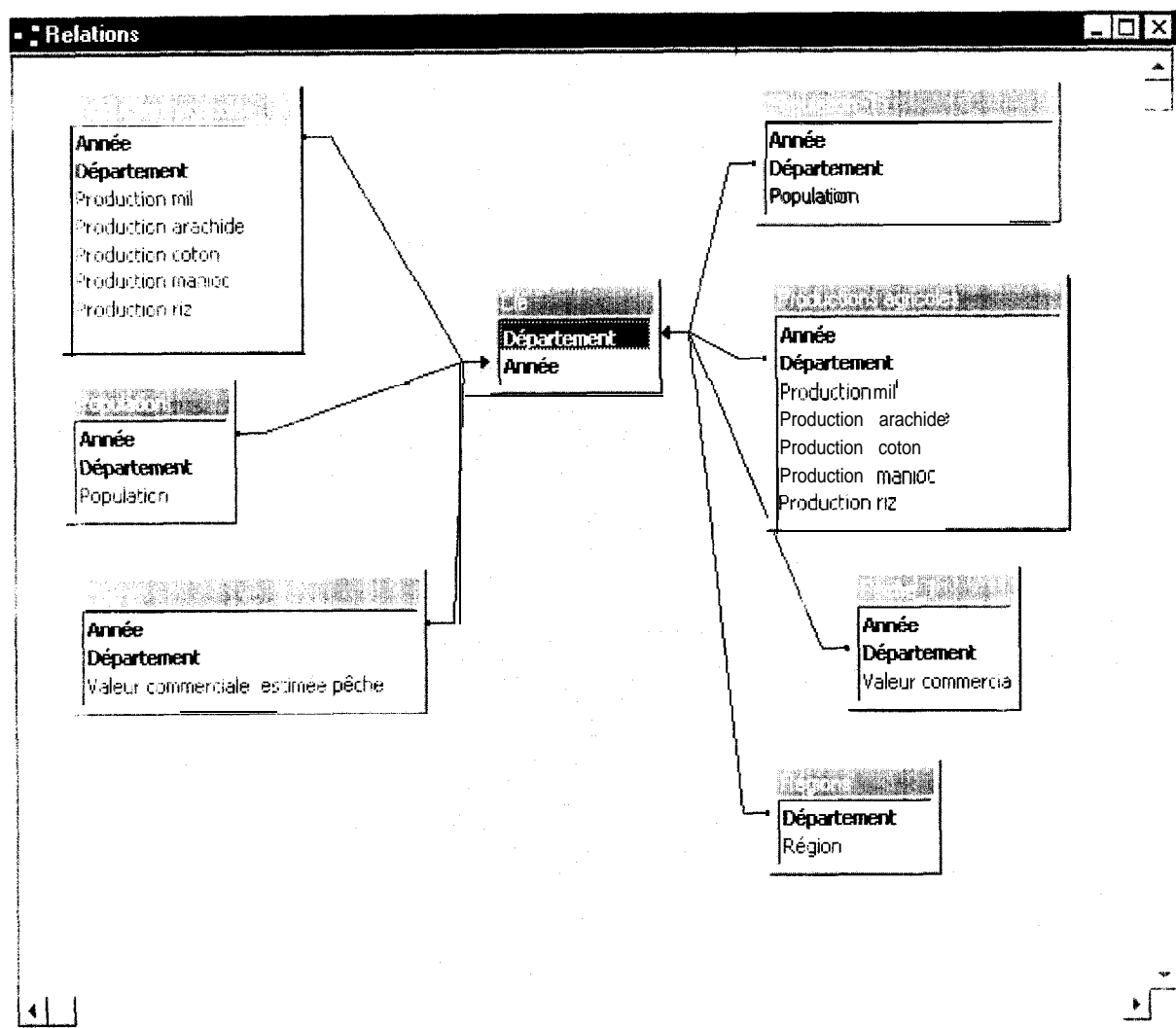


Figure 1 : Base de données "Sécurité alimentaire" - exemples de relations

2.4 Données obtenues

Les séries obtenues sont présentées pour chaque secteur en annexe.

On observe que: les séries sont loin d'être complètes, surtout en ce qui concerne les données sanitaires. Celles-ci comportant beaucoup de lacunes, aucune interpolation n'était raisonnablement possible.

2.5 Jeu maximal de données complètes

Les analyses statistiques multivariées nécessitent des données complètes. c'est-à-dire que toutes les variables doivent avoir des valeurs pour tous les individus. l'individu choisi ici étant la combinaison année*département. Le jeu maximal de données complètes, en considérant à la fois les données « effets » (données sanitaires) et les données « causes » (ressources) est ici composé de 42 individus (Figure 2).

Département	1994	1995	1996
Bakei	*		*
Bambey		*	
Bignona			
Dagana	*	*	*
Dakar	*	*	
Diourbel		*	*
Fatick	*	*	
Foundiougne	*	*	*
Gossas	*	*	*
Kafrine			
Kaolack			
Kébémér	*	*	*
Kédougou	*		
Kolda		*	
Linguère			*
Lougū			*
Matam	*	*	*
Mbacké	*		
Mbour	*		*
Nioro			
Oussouye		*	*
Pikine	*	*	*
Podor			
Rufisque			
Sédhiou			
Tambacounda	*	*	
Thiès			*
Tivaouane	*	*	*
Vélingara			
Ziguinchor			

(* : données complètes pour toutes les variables considérées)

Figure 2 : jeu maximal de données complètes

3 Conclusion

Pour les variables « d'effet », la disponibilité en données n'est pas suffisante pour permettre leur utilisation dans un modèle statistique multivariri, ni même pour estimer les individus manquants par interpolation. Par contre, les variables « de cause » sont disponibles sur une série de 8 années, de 1990 à 1997. (elles-zi ont été validée), les données aberrantes ré-estimées, les échelles de mesures harmonisées, ce qui autorise leur utilisation dans un modèle statistique.

Annexe : données sérielles de la base de données par département et par variable élaborée

Département	Taux d'anémies	Production de mil (par tête)	Production de sorgho (par tête)	Production d'arachide de bouché (par tête)	Production d'arachide d'huilerie (par tête)	Production de manioc (par tête)	Production de riz (par tête)	Production de maïs (par tête)	Nombre d'UBT par tête	Taux de consultants	Revenus eaux et forêts par tête	Taux de malnutris	Valeur commerciale estimée maraichage par tête	Taux de naissances de moins de 2500g	Valeur commerciale pêche par tête	Taux de déficit pondéral	Taux carences
Bakel	1991, 1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1991	1994-1996	1991, 1996, 1997	1994-1996	1989-1997	1994-1996		1994-1996	1994-1996
Bambey	1994-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997		1994-1996	1995-1997	1991-1995	1995	1991-1996		1995-1996	1991-1996
Bignona		1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1991	1996			1991-1997	1995-1996	1990-1998	1996	
Dagana	1994-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1991-1994, 1996, 1997	1994-1996	1990-1994, 1996-1997	1994-1996	1989-1997	1994-1996	1991-1997	1994-1996	1994-1996
Dakar	1994-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997		1994-1996		1994-1995	1991-1997	1994-1995	1990-1997	1994-1995	1994-1996
Diourbel	1995-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997		1995-1996	1995-1997	1995-1996	1994-1997	1994-1996		1994-1996	1995-1996
Fatick	1994-1995	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1994, 1996, 1997	1994-1996	1990-1995	1994-1996		1994-1996	1990-1995	1994-1996	1994-1996
Foundiougne	1994-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1994, 1996, 1997	1994-1996	1990-1995	1994-1996	1993-1997	1994-1996	1990-1995, 1997	1994-1996	1994-1996
Gossas	1994-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1994, 1996, 1997	1994-1996	1990-1995	1994-1996		1994-1996		1994-1996	1994-1996
Kaffrine	1995-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997		1990-1994, 1997			1994-1996		1994-1996	1996
Kaolack		1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997		1990-1994, 1997	1995		1995		1995-1996	
Kébémer	1994-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1994-1996	1994-1997	1994-1996	1993-1997	1994-1996	1991-1997	1994-1996	1994-1996
Kédougou	1994	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1991	1994-1995	1991-1996, 1997	1994		1994-1996		1994	1994
Kolda	1995-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1991	1995-1996	1995-1997	1995	1991-1997	1995		1995	1995-1996
Linguère	1995-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1995-1996	1990-1998	1996		1995-1996		1995-1996	1995-1996
Louga	1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1996	1990-1998	1996	1993-1997	1996	1991-1997	1996	1996
Matam	1994-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1991-1994, 1996, 1997	1994-1996	1990-1994, 1996, 1997	1994-1996	1989-1997	1994-1996			1994-1996
Mbacké	1994-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997		1994-1996	1995-1997	1994-1996	1995	1994-1996		1994-1996	1994-1996
Mbour	1994	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997		1994-1996		1994-1996		1994-1996	1991-1997	1994-1996	1994-1996
Nioro	1994-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1994-1996	1990-1994, 1997	1994-1996		1994-1996		1994-1996	1994-1996
Oussouye		1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1991	1996			1991-1997	1995	1990-1998		
Pikine	1995-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997		1995-1996		1995-1996	1991-1997	1995-1996	1990-1997	1995-1996	1995-1996
Podor	1994-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1991-1994, 1996-1997	1994-1996	1990-1994, 1996-1997	1994-1996	1989-1997	1994-1996		1994-1996	1994-1996
Rufisque	1995-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997		1996			1991-1997	1995		1995	1996
Sédhiou	1995	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1991	1996	1995-1997	1995	1991-1995, 1995-1997	1994-1995			1995
Tambacounda	1994-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1991	1994-1996	1991-1992, 1996, 1997	1994-1996		1994-1996		1994-1995	1994-1996
Thiès	1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997		1996		1996	1990-1997	1994-1996	1991-1997	1995-1996	1996
Tivaouane	1994-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997		1994-1996		1994-1996	1990-1997	1994-1996	1991-1997	1994-1996	1994-1996
Vélingara	1994-1996	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1991	1995-1996	1994-1997	1995	1991-1997	1994-1995		1994	1995-1996
Ziguinchor		1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1990-1997	1991				1991-1997	1995	1990-1998		

18 AOÛT 1999



Rapport de mission

Alimentation en données et appui méthodologique au cadre d'analyse de la sécurité alimentaire au Sénégal,

Benoît SARR, Bioclimatologue

David BOGGIO, Biométricien

Table des matières

1	CONTEXTE	1
---	----------	---

1.1	LE CADRE D'ANALYSE DE LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE	1
1.2	TERMES DE RÉFÉRENCE	1
1.2.1	MISSION 1: DÉFINITION D'OUTILS ET DE MÉTHODOLOGIES POUR LE SUIVI DE LA CAMPAGNE AGRICOLE ET L'ESTIMATION DES RENDEMENTS DES PRINCIPALES CULTURES PLUVIALES AU SÉNÉGAL	1
1.3.2	MISSION 2 : APPUI MÉTHODOLOGIQUE À LA MISE AU POINT DU CADRE D'ANALYSE DE LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE AU SÉNÉGAL	1

2	MISSION 1 : DÉFINITION D'OUTILS ET DE MÉTHODOLOGIES POUR LE SUIVI DE LA CAMPAGNE AGRICOLE ET L'ESTIMATION DES RENDEMENTS DES PRINCIPALES CULTURES PLUVIALES AU SÉNÉGAL	2
---	--	---

2.1	INTRODUCTION	2
2.2	MATÉRIEL ET MÉTHODES	2
2.2.1	ECHANTILLONNAGE ET ÉLABORATION D'INDICES DÉPARTEMENTAUX	2
2.2.1.1	Echantillonnage	2
2.2.1.2	Passage de l'échelle stationnelle à l'échelle départementale	3
2.2.2	LA MODÉLISATION DES CULTURES	3
2.2.2.1	Le modèle AraBHY	3
2.2.2.2	Estimation de la productivité du mil, du sorgho, du maïs	3
2.2.2.2.1	Production potentielle et production réelle	3
2.2.2.2.2	Estimation de la productivité des cultures	3
2.2.3	FORMULATION DES RENDEMENTS	4
2.2.3.1	Ren rendements potentiels	4
2.2.3.1.1	Maïs	4
2.2.3.1.2	Mil	7
2.2.3.2	Ren rendements paysans	5
2.3	RESULTATS	6
2.3.1	DURÉE 11-w. MOYENNE DE LA SAISON DES PLUIES (1961-1990)	6
2.3.2	RENDEMENTS POTENTIELS MOYENS OU RENDEMENTS MAXIMA MOYENS DES CULTURES PLUVIALES (1961-1990)	7
2.3.2.1	Estimation des rendements potentiels moyens du mil	7
2.3.2.2	Estimation des rendements potentiels moyens de l'arachide	8
2.3.2.3	Estimation des rendements potentiels moyens du maïs	9
2.3.3	SUIVI AGROCLIMATIQUE DE CULTURES PLUVIALES AU COURS DE L'HIVERNAGE 1998	10
2.3.3.1	La simulation des rendements paysans du mil (hivernage 1998)	10
2.3.3.2	Estimation des rendements paysans en grains du sorgho pluvial	1

3	MISSION 2 : APPUI MÉTHODOLOGIQUE À LA MISE AU POINT DU CADRE D'ANALYSE DE LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE AU SÉNÉGAL	12
---	--	----

3.1	INTRODUCTION	12
3.2	PROPOSITION DE MÉTHODOLOGIE POUR LA DÉTERMINATION DES SITUATIONS D'INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE	12
3.2.1	NOTIONS PRÉLIMINAIRES	12
3.2.1.1	Définitions	12
3.2.1.2	Principes de base de la démarche	12
3.2.1.3	Modèles multivariés	12

3.2.2	ECHELLE D'ETUDE	13
3.2.2.1	Départementale	13
3.2.2.2	Nationale	13
3.2.3	LES VARIABLES ETUDIÉES	13
3.2.3.1	Domaines couverts	13
3.2.3.2	Classification des variables	13
3.2.3.2.1	Structurel/conjoncturel	13
3.2.3.2.2	Instantanée/a posteriori	13
3.2.3.2.3	Disponibilité au cours de l'année	13
3.2.3.2.4	Taille de la série historique	14
3.2.4	MISE EN ŒUVRE	14
3.2.4.1	Individu	14
3.2.4.2	Etape 1 : identification des situations de crise et construction de l'indice de crise	14
3.2.4.3	Etape 2 : modélisation de l'indice de crise	14
3.2.4.4	Modèles de diagnostic	14
3.2.4.5	Modèle de pronostic	14
3.2.5	CALIBRAGE DE L'INDICE DE CRISE	15
3.2.6	FAIBLESSES DE LA DEMARCHE	15
3.3	MISE EN ŒUVRE D'UN MODÈLE BASÉ SUR LES FACTEURS PRÉSUMÉS À L'ORIGINE DE L'INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE	15
3.3.1	DONNÉES UTILISÉES	15
3.3.2	ANALYSE STATISTIQUE	15
3.3.2.1	ACP	15
3.3.2.2	Analyse de variance	16
3.3.2.3	Modélisation des individus	18
3.3.2.4	Régression Stepwise	18
3.3.2.5	Paramétrage modèle	19
3.3.3	DÉVELOPPEMENT INFORMATIQUE DU MODÈLE	19
3.3.3.1	L'architecture de la base de données	19
3.3.3.2	Outils de traitement et de présentation de l'information	20
3.3.3.2.1	Gestion de données (Menu « Données »)	20
3.3.3.2.2	Analyse	23
3.3.3.2.3	Sortie	24
3.3.4	LIMITES DE LA MÉTHODE	24
3.3.5	PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS	25

4 ANNEXES

26

4.1 ANNEXE 1 : STATIONS SYNOPTIQUES ET PLUVIOMÉTRIQUES UTILISÉES POUR L'ÉTUDE

26

1 Contexte

1.1 Le cadre d'analyse de la sécurité alimentaire

La CASPAR met au point un modèle pour analyser en terme de diagnostic et de pronostic l'état de sécurité alimentaire des populations au Sénégal à partir de données sectorielles.

A la suite d'une mission à Thiès des responsables de la CASPAR et de la réunion du mercredi 24 juin 1998 du groupe de travail chargé de l'élaboration de la mise en œuvre de cadre d'analyse de la sécurité alimentaire au Sénégal, le CERAAS a été ciblé comme organisme de recherches susceptible de fournir des informations sur les productions potentielles et réelles des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide, mil, sorgho, maïs etc.), en vue d'alimenter le modèle de pronostic et de diagnostic de la sécurité alimentaire au Sénégal.

1.2 Termes de référence

L'appui proposé par le CERAAS a été réparti en deux missions, la première concernant la modélisation des rendements potentiels des cultures à partir de données agroclimatiques, la seconde consistant en un appui méthodologique à l'analyse et à l'exploitation de l'information.

1.2.1 Mission 1 : définition d'outils et de méthodologies pour le suivi de la campagne agricole et l'estimation des rendements des principales cultures pluviales au Sénégal

Etape 1 :

- Alimentation de la base de données SISAAR en données de rendement potentiel des principales cultures vivrières au Sénégal à l'échelle départementale pour la période normale 1961-1990.

Etape 2 :

- Estimation des rendements espérés paysans de la campagne 1998.

Qualifications requises : agro-bioclimatologue, spécialisé dans le domaine du développement des modèles de cultures, du suivi de la campagne agricole de l'estimation et de la prévision de la production agricole.

1.2.2 Mission 2 : appui méthodologique à la mise au point du cadre d'analyse de la sécurité alimentaire au Sénégal.

Etape 1 :

- Validation de la démarche de modélisation du cadre d'analyse de la sécurité alimentaire au Sénégal.

Etape 2 :

- Traitements primaires de l'information, validation des changements d'échelle, agrégation de données.
- Appui à l'analyse des données brutes, à l'élaboration d'indices, à la construction et la validation des modèles de pronostic et de diagnostic,

Etape 3 :

- Présentation des résultats sur SIG, élaboration de cartes thématiques.

Qualifications requises : biométrie, informatique, Système d'information Géographique.

2 **Mission 1 : définition d'outils et de méthodologies pour le suivi de la campagne agricole et l'estimation des rendements des principales cultures pluviales au Sénégal**

2.1 Introduction

A partir d'une collecte d'informations de nature agronomique et climatique (tableau 1) caractérisant le comportement et les performances des cultures pluviales sur l'ensemble du territoire sénégalais, les rendements potentiels des cultures ont été estimés. Les rendements en milieu réel ont été évalués à partir des données précédentes complétées par l'observation de leur Ctat en cours et en fin de campagne agricole.

Des outils et des méthodologies pour le suivi des cultures et la prévision des rendements des principales cultures pluviales au Sénégal ont été mis ai point à partir de modèles de bilan hydrique et de productivité des cultures :

Des indicateurs agroclimatiques susceptibles d'aider les décideurs et les acteurs de la filière agricole à apprécier précocement la vulnérabilité d'un espace géographique donné ont été propos&.

2.2 Matériel et méthodes

L'analyse de l'impact des facteurs agronomiques et bioclimatiques sur les rendements des principales cultures pluviales au Sénégal se fera par simulation du bilan hydrique et de la productivité des cultures sur l'étendue du Sénégal à partir des données climatiques historiques de stations d'observations. La période normale 1961-1990 qui a l'avantage de contenir des années humides et des années sèches sera prise en compte. Dans certains cas, la série climatique disponible la plus longue pourra être utilisée.

Variables			Produits disponibles	Méthodes
Climat	Sol	Plante		
Pluviométrie journalière, Evaporation, Evapotranspiration potentielle.	Point de flétrissement (pF 4,2), Capacité au champ (pF3), Réserve utile, (RU)	Coefficients culturaux (Kc), Croissance racinaire, Leaf area index (LAI), Durée du cycle en jours ou en degré-jours.	ARABHY, SARRA, DHC, CLIMAT	Modélisation, IRESP
Autres variables				
1 Travail du sol, Fertilisation			Dates de semis, Densité de semis	

Tableau 1 : Facteurs physiques et environnementaux et modèles de développement utilisés en vue de la prévision et l'estimation des rendements des cultures

2.2.1 Echantillonnage et élaboration d'indices départementaux

2.2.1.1 Echantillonnage

Plusieurs niveaux sont prii en compte :

- l'échelle agroclimatique (synoptique) correspondant à la répartition des stations dont les données suivantes existent : pluviométrie journalière et évapotranspiration potentielle (données mesurées ou interpolées)
- l'échelle départementale sur laquelle les statistiques agricoles sont établies au Sénégal ;

2.2.1.2 Passage de l'échelle stationnelle à l'échelle départementale¹

- utilisation de la méthode géostatistique du krigeage pour avoir une représentation continue de la variable étudiée ;
- à partir des données vraies observées pour plus de 70 postes pluviométriques : création par interpolation géographique de 60 000 points fictifs sur l'ensemble du territoire sénégalais (fichier Grid) : à l'aide du logiciel de cartographie Surfer (Golden Software) ;
- exportation du fichier Grid vers une représentation vectorielle géocodées des départements du Sénégal sous MapInfo (logiciel de SIG : Système d'Information Géographique) ;
- calcul à partir des points fictifs de moyennes ou d'indices départementaux.

2.2.2 La modélisation des cultures

2.2.2.1 Le modèle AraBHy

Depuis 1990, le CERAAS a développé une approche de valorisation des résultats des expérimentations agrophysiologiques obtenus en conditions semi-contrôlées par la définition d'outils dynamiques de modélisation des processus de la croissance et de la productivité agricole. Le modèle AraBHy est un modèle semi-déterministe ajoutant à la simulation du bilan hydrique des cultures, les réactions des plantes aux différents facteurs du milieu. Il est architecturé autour de trois compartiments : sol - plante - atmosphère : il permet d'estimer : le taux de satisfaction des besoins en eau des cultures, les flux de matière sèche (feuilles, tiges, gousses, etc) AraBHy est utilisé comme outil de prévision des récoltes à l'échelle du territoire nationale. AraBHy sera utilisé pour fournir les rendements potentiels de l'arachide.

2.2.2.2 Estimation de la productivité du mil, du sorgho, du maïs

2.2.2.2.1 Production potentielle et production réelle

La notion de production potentielle correspond ici à la production maximale que peut atteindre la culture lorsque le seul facteur limitant est la disponibilité en eau. Le développement de la culture se fait alors dans les conditions optimales suivantes : dates de semis, travail du sol, fertilisation, densité de semis, absence de facteurs abiotiques (criquets, ravageurs, maladies incontrôlables).

En effet, il existe systématiquement un décalage entre le rendement agronomique possible (rendement potentielle) et celui effectivement atteint par les agriculteurs qui font face à de multiples contraintes : financières, disponibilité en intrants, itinéraires techniques non respectés. Cependant, l'intensification n'est pas sans risques car elle augmente la sensibilité de la culture en conditions de déficit hydrique (Projet ESPACE 1990, CERAAS, 1997 et 1998).

2.2.2.2.2 Estimation de la productivité des cultures

La méthodologie est fondée sur la simulation du bilan hydrique décadaire. De nombreux modèles de simulation peuvent être utilisés (AraBHy, DHC, SARRA, BIPODE). Ces modèles de simulation permettent de contrôler l'ensemble des variables et des paramètres d'entrée du bilan hydrique d'une culture :

- variables liées à la culture :
 - date de semis ;
 - durée du cycle ;
 - vitesse racinaire ;
 - coefficients culturaux (Kc).
- variables liées à la parcelle :
 - environnement climatique : pluviométrie journalière, évapotranspiration potentielle ;
 - profondeur maximale de racinement ;

¹ M David Boggio (Biométrien spécialisé en SIG) a participé à l'élaboration des indices départementaux

- caractéristiques hydrodynamiques du sol et réserve utile disponible (RU) ;
- ruissellement (méthode du seuil, méthode OSRTOM).

L'évapotranspiration réelle (ETR) de la culture est obtenue par l'équation générale :

$$ETR = P + DS + R + Dr$$

avec P pluie, DS = variations de stock d'eau du sol, R = ruissellement et Dr = drainage.

L'indice de réponse à l'eau (IRESP) est un indicateur hydrique lié à la productivité des cultures². Il permet dès le terme du cycle de donner une estimation des niveaux de rendements que les conditions d'alimentation en eau permettent d'espérer. Pour le maïs, le mil et le sorgho on a :

$$IRESP1 = TSAT(c) * TSAT(pc)$$

IRESP1 correspond au produit du TSAT sur le cycle au TSAT durant la phase critique.

TSAT(c) = taux de satisfaction des besoins en eau durant le cycle, exprime le taux de confort hydrique déterminant la production de matière sèche totale

TSAT(pc) = taux de satisfaction des besoins en eau durant la phase critique, caractérise l'état hydrique de la plante au moment de la floraison / formation laiteuse des grains (mil sorgho) ou de la fécondation / remplissage de l'épi (maïs),

$$TSAT = ETR / ETM, ETM = Kc * Etp ;$$

TSAT correspond aux besoins théoriques en eau de la plante

$$IRESP2 = TSAT(pc) * ETRcum(c)$$

IRESP2 correspond au produit du TSAT durant la phase critique et de la consommation totale en eau sur l'ensemble du cycle. C'est l'indice de rendement espéré maximum. Ces indices sont reliés aux rendements observés dans des bonnes conditions agronomiques en station expérimentale (IRESP2 pour les rendements potentiels) ou aux rendements en parcelles paysannes (IRESP1, rendements réels) par une relation linéaire de la forme :

$$RDT \text{ potentiels en grains (Kg/ha)} = a \text{ IRESP2} + b$$

$$RDT \text{ paysans en grains (Kg/ha)} = a \text{ IRESP1} + b$$

A et b varient avec le matériel végétal considéré et le système de cultures*.

2.2.3 Formulation des rendements

2.2.3.1 Rendements potentiels

2.2.3.1.1 Maïs

Les relations liant le rendement du maïs aux indicateurs du bilan hydrique sont obtenues sur la base des résultats d'essais agronomiques dans le cadre du Pro-jet n° 2 du Réseau maïs de la CORAF (1991).

Le rendement potentiel maximum d'une culture intensive de maïs est obtenu grâce à une relation linéaire significative entre l'IRESP2 et les rendements en grains obtenus en station dans différentes régions. Cette fonction de production est de la forme :

$$RDT \text{ potentiel du maïs} = 17,3 * IRESP2 (mm) - 1470 \quad R^2 = 0,91$$

Il est associé à la date de semis (date de semis au plus tôt, c'est-à-dire à l'occurrence 8 années sur 10) qui offre une durée optimale de la saison culturale et un IRESP2 le plus élevé.

² Ces outils et méthodes ont été présentés le 20 août 1998 au cours de la réunion du groupe de travail de la CASPAR.

Le Logiciel SARRA permet de prendre en compte l'effet des facteurs climatiques, pédologiques et agrotechniques sur l'indicateur IRESP2 qui est utilisé pour la simulation de l'effet de l'intensification sur le rendement espéré pour une ressource pluviométrique donnée.

Dans le cas où la pluviométrie est abondante (autour de 1000 à 1200 mm), l'IRESP2 calculé est toujours supérieur à 90% l'excès d'eau surtout entre le 30 et le 60^{ème} jour (floraison) a un effet dépressif sur le maïs. Le drainage en profondeur réduit les potentialités maïsicoles de ces zones. La relation linéaire ajustée devient comme suit :

$$RDT \text{ potentiel du maïs} = 4689 - 7,81 * Exc \text{ (mm)} \quad R^2 = 0,70 \quad Exc : \text{excès d'eau en mm}$$

2.2.3.1.2 Mil

$$RDT \text{ potentiel du mil} = 6,96 * IRESP2 - 257; \quad R^2 = 0,84, \quad n=74.$$

2.2.3.2 Rendements paysans

Le suivi agroclimatique des cultures a été réalisé à partir d'enquêtes en milieu paysan, auprès des Inspections Régionales et des chefs de secteur agricole du Sénégal.

Les informations suivantes ont été recueillies :

- Espèces et variétés cultivées ;
- Installations des cultures : dates de semis ou de ressemis ;
- Phases phénologiques des cultures : durée du cycle semis- maturité et ZONES, dates de la phase critique des cultures;
- Ennemis des cultures : criquets, sauteriaux, oiseaux, insectes, enherbement des champs ;
- Etat de satisfaction des besoins en eau et dégâts liés au déficit hydrique;
- Collecte de la pluviométrie journalière

Cette collecte a été faite à partir d'une centaine de stations pluviométriques des réseaux de la Direction de la Météorologie nationale (D.M.N.), de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (I.S.R.A.), de la Direction de l'Agriculture (D.A.).

La méthodologie utilisée comprend la mesure en champ paysan du rendement final sur des sites représentatifs des différentes zones agroécologiques du pays. L'ensemble de ces observations est stocké dans une base de données; et son exploitation permet l'étude des relations statistiques existant entre le rendement en champ paysan (avec un faible niveau d'intensification et à l'exclusion de toute attaque de prédateurs) et les indicateurs de bilan hydrique pour des situations paysannes non intensifiées

$$RDT \text{ espérés mil (kg/ha)} = 10,9 * IRESP1 (\%) + 52,7$$

$$RDT \text{ sorgho (kg/ha)} = 1130 * IRESP1 (\%) - 128 \text{ (Cortier et al, 1991)} \quad R^2 = 0,71$$

Les rendements espérés en milieu paysan seront disponibles dès la maturité des cultures

2.3 RESULTATS

2.3.1 Durée utile moyenne de la saison des pluies (1 961-1 990)

REGION	DEPARTEMENT	Durée (jours)
Dakar	Dakar	90
	Pikine	88
	Rufisque	87
Diourbel	Bambey	85
	Diourbel	87
	Mbacké	88
Fatick	Fatick	99
	Foundiougne	109
	Gossas	96
Kaolack	Kaffrine	104
	Kaolack	104
	Nioro	112
Kolda	Kolda	127
	Sédhiou	124
	Vélingara	132
Louga	Kébémér	73
	Linguère	79
	Louga	64
Saint-Louis	Dagana	55
	Matam	85
	Podor	61
Tambacounda	Bakel	108
	Kédougou	131
	Tambacounda	118
Thiès	Mbour	96
	Thiès	87
	Tivaouane	
Ziguinchor	Bignona	124
	Oussouye	129
	Ziguinchor	127

La durée utile de la saison des pluies est la période qui s'écoule entre la date optimale de semis (pluie de semis réussi) et la date (à partir du 1^{er} octobre) à laquelle la réserve utile en eau disponible le long du profil racinaire ne permet plus de satisfaire tout ou partie des besoins hydriques de la culture

2.3.2 Rendements potentiels moyens ou rendements maxima moyens des cultures pluviales (1961-1990)

La notion de rendement potentiel d'une culture correspond ici au rendement maximal que peut atteindre la culture lorsque le seul facteur limitant est la disponibilité en eau. Le développement de la culture se fait alors dans les conditions optimales³ suivantes dates de semis, travail du sol, fertilisation, densité de semis absence de facteurs abiotiques (acridiens, ravageurs, maladies incontrôlables).

23.2 1 Estimation des rendements potentiels moyens du mil

REGION	DEPARTEMENT	Rendement (kg/ha)
Dakar		750
	Pikine	774
	Rufisque	849
Diourbel	Bambey	952
	Diourbel	961
	Moacké	943
Fatick	Fatick	1321
	Foundiougne	1724
	Gossas	1163
Kaolack	Kaffrine	1292
	Kaolack	1486
	Nioro	1762
Kolda	Kolda	2569
	Sédhiou	2648
	Vélingara	2888
Louga	Kébémér	621
	Linguère	632
	Louga	402
Saint-Louis	Dagana	184
	Matam	700
	Podor	196
Tambacounda	Bakel	1597
	Kédougou	2565
	Tambacounda	1958
Thiès	Mbour	1195
	Thiès	
	Tivaouane	968
Ziguinchor	Bignona	2631
	Oussouye	3001
	Ziguinchor	3029

³Dates optimales de semis : semis réussi si dans les 20 jours qui suivent une pluie supérieure ou égale à 20 mm, on enregistre moins de dix jours de stress hydrique sévère (ETR/ETM inférieures ou égales à 30 %)

2.3.2.2 Estimation de:: rendements potentiels moyens de l'arachide⁴

REGION	DEPARTEMENT	Rendement (kg/ha) 1
Dakar	Dakar	1304
	Pikine	1328
	Rufisque	1408
Diourbel	Bambey	1592
	Diourbel	1586
	Mbacké	1518
Fatick	Fatick	1892
	Foundiougne	2129
	Gossas	1699
Kaolack	Kaffrine	1828
	Kaolack	1956
	Nioro	2102
Kolda	Kolda	2615
	Sedhiou	2505
	Velingara	2662
Louga	Kébémér	1182
	Linguère	1011
	Louga	810
Saint-L. ouis	Dagana	363
	Matam	1299
	Podor	262
Tambacounda	Bakel	2399
	Kédougou	2605
	Tambacounda	2426
Thiès	Mbour	1792
	Thiès	1577
	Tivaouane	1344
Ziguinchor	Bignona	2480
	Oussouye	2613
	Ziguinchor	2587

⁴ L'auteur a été appuyé par Mile Yaye Couna Sylla, informaticienne au CERAAS.

2.3.2.3 Estimation des rendements potentiels moyens du maïs

REGION	DEPARTEMENT	Rendement (kg/ha)
Dakar	Dakar	
	Pikine	
	Rufisque	
Diourbel	Bambey	
	Diourbel	
	Mhacké	
Fatick	Fatick	1885
	Foundiougne	2628
	Gossas	1446
Kaolack	Kaffrine	1674
	Kaolack	2089
	Nioro	2 5 9 1
Kolda	Kolda	347s
	Sédhiou	3457
	Vélingara	3347
Louga	Kébémér	
	Linguère	
	Louga	
Saint-Louis	Dagana	
	Matam	
	Podor	
Tambacounda	Bakel	2075
	Kédougou	3464
	Tambacounda	2425
Thiès	Mbour	
	Thiès	
	Tivaouane	
Ziguinchor	Bignona	3199
	Oussouye	2985
	Ziguinchor	3241

2.3.3 Suivi agroclimatique de cultures pluviales au cours de l'hivernage 1998

2.3.3.1 La simulation des rendements paysans du mil (hivernage 1998)

REGION	DEPARTEMENT	Rendement (kg/ha)
Dakar	Dakar	647
	Pikine	630
	Rufisque	625
Diourbel	Bambey	600
	Diourbel	605
	Mbacké	607
Fatick	Fatick	726
	Foundiougne	835
	Gossas	690
Kaolack	Kafrine	736
	Kaolack	784
	Nioro	852
Kolda	Kolda	913
	Sédhiou	955
	Vélingara	873
Louga	Kébémér	466
	Linguère	489
	Louga	362
Saint-Louis	Dagana	275
	Matam	564
	Podor	342
Tambacounda	Bakel	774
	Kédougou	885
	Tambacounda	785
Thiès	Mbour	696
	Thiès	623
	Tivaouane	525
Ziguinchor	Bignona	959
	Oussouye	977
	Ziguinchor	980

2.332 Estimation des rendements paysans en grains du sorgho pluvial

REGION	DEPARTEMENT	Rendement (kg/ha)	--
Dakar	Dakar	727	
	Pikine	703	- - - -
	Rufisque	678	
Diourbel	Bambey	632	
	Diourbel	466	- - - -
	Mbacké	638	
Fatick	Fatick	635	
	Foundiougne	828	
	Gossas	633	
	Kaffrine	726	- - - -
Kaolack	Kaolack	747	- - - -
	Nioro	839	
Kolda	Kolda	976	
	Sédhiou	944	
	Vélingara	944	
Louga	Kébémér	396	
	Linguère	456	
	Louga	275	- - - -
Saint-Louis	Dagana	274	
	Matam	399	
	Podor	309	
	Bakel	785	
Tambacounda	Kédougou	809	
	Tambacounda	791	
Thiès	Mbour	699	- - - -
	Thiès	609	
	Tivaouane	469	
	Bignona	907	
Ziguinchor	Oussouye	922	- - - -
	Ziguinchor	960	

3 Mission 2 : appui méthodologique à la mise au point du cadre d'analyse de la sécurité alimentaire au Sénégal.

3.1 Introduction

Après l'identification des exigences des utilisateurs du modèle d'une part, et des données théoriquement disponibles, une proposition de méthodologie a été formulée (3.2). Celle-ci nécessite des données dites « d'effet », indisponibles à l'heure actuelle en quantité suffisante.

C'est pourquoi une seconde proposition est formulée, moins pertinente et moins robuste que la première, mais qui permet d'aborder certains aspects de la mise en œuvre d'un modèle, et crée une plate-forme d'échange sur les performances et les limites de la modélisation. L'architecture proposée peut intégrer une autre paramétrisation, ce qui signifie que dès que la méthodologie proposée en 3.2 pourra être appliquée il sera aisé d'en intégrer les paramètres dans le modèle proposé en 3.3.

3.2 Proposition de méthodologie pour la détermination des situations d'insécurité alimentaire

3.2.1 Notions préliminaires

3.2.1.1 Définitions

La notion d'observatoire de la sécurité alimentaire recouvre deux aspects :

- ❑ **La détermination de zones sensibles** : il s'agit de délimiter les zones les plus sujettes à des situations de crise
- ❑ **Le diagnostic de la situation courante** : il s'agit de prendre une décision sur le degré de crise alimentaire d'une zone déterminée à une date donnée, à partir d'indicateurs instantanés et pertinents.

Deux indices peuvent être définis :

- ❑ **L'indice de crise** mesure le degré de sécurité alimentaire d'une zone à une date donnée.
- ❑ **L'indice de vulnérabilité** est un indice qui caractérise la propension d'une zone à être en situation de crise. Il peut être calculé en intégrant sur plusieurs années l'indice de crise (calcul historique) ou en modélisant le comportement de l'indice de crise dans des situations variées.

3.2.1.2 Principes de base de la démarche

- ❑ La méthode ne cherche pas à modéliser de façon déterministe l'apparition d'une crise alimentaire à partir de phénomènes physiques, agronomiques, démographiques ou économiques. Les seules décisions qui sont prises le sont au niveau du choix des variables, mais non au niveau des paramètres de calcul.
- ❑ La méthode ne cherche pas à appliquer le même modèle à tous les départements ou groupes de départements. Chaque région a sa propre stratégie de production et d'échange de richesses, et le modèle tente de respecter ces diversités.
- ❑ La démarche requiert un grand nombre d'informations pour sa mise en œuvre, mais seules quelques-unes serviront au fonctionnement courant du modèle.

3.2.1.3 Modèles multivariés

Dans la démarche poursuivie, des méthodes d'analyse multivariée sont mises en œuvre. Pour les appliquer, les variables utilisées doivent impérativement être indépendantes les unes des autres, au risque de conclure à des aberrations. En effet, une forte liaison entre deux variables explicatives risque de focaliser sur elles le calcul de la variable expliquée, et ainsi occulter totalement les autres variables.

La méthodologie d'obtention des variables doit donc être recueillie avec les variables elles-mêmes.

3.2.2 Echelle d'étude

3.2.2.7 Départementale

Toutes les informations doivent être disponibles au niveau départemental pour les raisons suivantes

- ❑ C'est un des niveaux principaux de recueil de l'information
- ❑ C'est le principal niveau d'intervention des acteurs en cas de crise. Une analyse subjective au sein du département permet alors de déterminer les zones prioritaires.

3.2.2.2 Nationale

Certaines variables de dimension nationale peuvent être considérées, mais elles doivent servir à élaborer des variables de dimension départementale, afin de normaliser certaines données entre les années d'étude.

3.2.3 Les variables étudiées

3.2.3.1 Domaines couverts

Les variables qui permettent d'élaborer le modèle doivent couvrir sur des séries les plus longues possibles les domaines suivants :

Productions (végétales, animales, ...)

Echanges

Etat des populations (sanitaire, ...)

3.2.3.2 Classification des variables

Toutes les variables répertoriées sont intégrées dans une grille d'analyse qui détermine le niveau d'analyse auquel elles appartiennent. Plusieurs critères semblent pouvoir discriminer les variables :

3.2.3.2.1 Structurel/conjoncturel

Les variables structurelles sont les données constantes dans le temps. Il s'agit de données telles que les données physiques, environnementales, certaines données démographiques, etc.

3.2.3.2.2 Instantanée/a posteriori

Les variables instantanées (par exemple les prix des aliments ou les volumes céréaliers produits) reflètent la situation alimentaire avec un délai de faible durée. Elles sont souvent difficiles à interpréter et doivent pour cela être confrontées dans des modèles instantanés.

Des variables sont dites a posteriori pour deux raisons :

Elles sont lentes à élaborer, ou sont élaborées à un pas de temps élevé (par exemple les importations, disponibles annuellement)

Intrinsèquement, elles reflètent un phénomène antérieur à leur date d'apparition (mortalité infantile, maladies,

1. Le décalage entre le phénomène et la manifestation de la variable doit être estimé. Ce type de variable est d'interprétation plus aisée, mais doit être proscrit pour le suivi instantané de la situation de sécurité alimentaire. Il est par contre précieux pour analyser l'historique des crises.

3.2.3.2.3 Disponibilité au cours de l'année

Il est important de connaître sur quelles variables il est possible de se baser de façon exceptionnelle, et quelles autres peuvent être incluses dans un modèle de suivi, car seules celles-ci pourront y être intégrées. Les mêmes variables doivent en effet servir à l'élaboration du modèle et à son fonctionnement.

Il est donc important de disposer d'assurances ou de protocoles d'accord sur la fourniture des informations.

3.2.3.2.4 Taille de la série historique

La méthodologie repose sur l'analyse de situations historiques, la priorité étant donnée aux données les plus récentes. Il faut donc tenter de reconstituer les séries les plus longues possibles, car c'est la série la plus courte qui détermine le nombre d'années prises en considération dans l'élaboration du modèle.

3.2.4 Mise en œuvre

La méthode utilise des techniques d'analyse multivariée, c'est à dire qu'il y a plusieurs variables sont prises en compte simultanément pour calculer les paramètres des modèles. Toutes les variables doivent donc être disponibles au moment de la mise en œuvre de l'analyse.

3.2.4.1 individu

L'individu, ou enregistrement de base est l'objet sur lequel porte l'information la plus précise. Dans le cas étudié, il s'agit d'un département par an.

Pour toutes les variables étudiées, tous les couples département x année doivent être renseignés

3.2.4.2 Etape 1 identification des situations de crise et construction de l'indice de crise

A partir de variables conjoncturelles a posteriori, voire instantanées, un indice de crise est construit pour déterminer les situations de crises des individus année x département.

Une analyse en composantes principales (ACP) est menée sur une sélection de variables pertinentes qui reflètent une situation de crise (état sanitaire des populations, mortalité infantile, morbidité, maladies dues à la malnutrition...). L'ACP permet de produire un indice qui intègre toutes ces variables, appelé l'indice de crise.

L'indice de crise peut alors être calculé pour chaque individu année x département.

3.2.4.3 Etape 2 modélisation de l'indice de crise

Une régression multiple permet de modéliser une variable (la variable expliquée) en fonction d'un nombre élevé d'autres variables (précisément $n-1$ variables, n étant le nombre d'individus).

L'indice de crise peut être modélisé en fonction de variables conjoncturelles instantanées. Ce modèle repose sur les observations des situations de crises des années précédentes, et des indicateurs qui ont permis de les révéler.

On dispose ainsi d'un outil qui calcule le degré de crise associé à une situation dont les variables instantanées sont d'interprétation complexe.

Si besoin est, cette démarche peut être appliquée indépendamment à chaque département ou groupe de départements pour respecter les spécificités locales.

3.2.4.4 Modèles de diagnostic

Plusieurs modèles de diagnostic peuvent être construits, à des pas de temps différents. On peut ainsi envisager :

- Un modèle annuel mis en œuvre en Octobre pour déterminer si la production estimée suffira à la consommation du pays, et si non pour combien de temps (en l'augmentant artificiellement pour abaisser l'indice de crise à son seuil critique).
- Un modèle basé sur des variables à très haute fréquence, comme par exemple les prix sur les marchés qui permet de déterminer instantanément l'état de crise d'un département.

3.2.4.5 Modèle de pronostic

Le calcul de l'indice de vulnérabilité associé à chaque département peut être :

- une intégration sur plusieurs années de l'indice de crise (méthode historique)
- une projection des valeurs moyennes et extrêmes de l'indice de crise

3.2.5 Calibrage de l ‘indice de crise

La décision d’intervention est basée en premier lieu sur une valeur critique de l’indice de crise. qu’il convient de calculer grâce aux situations historiques.

3.2.6 Faiblesses de la démarche

- ❑ L’indice est établi de crise de façon déterministe, car le choix des variables qui le composent est sujet à la disponibilité de celles ci.
- ❑ Une hypothèse de base qui sous-tend l’ensemble de la démarche est que les mêmes situations conduisent aux mêmes effets. Peut-être existe-t-il des crises nouvelles qui se manifestent sous des formes différentes, situations que le modèle ne saurait détecter..
- ❑ Beaucoup de données sont nécessaires à l’analyse, dont une partie devra être abandonnée faute d’intérêt statistique. Les protocoles d’accord doivent donc être souples sur ce point.
- ❑ Toutes les variables intégrées au modèle ont servi au calcul de ses coefficients. L’absence de l’une d’elles rend dangereux l’utilisation du modèle.

3.3 Mise en œuvre d’un modèle basé sur les facteurs présumés à l’origine de l’insécurité alimentaire

3.3.1 Données utilisées

Les analyses ont porté sur des variables recueillies dans 30 départements sur 8 années, de 1992 à 1997 Les variables utilisées sont les suivantes :

Code	Description
PMAISTET	Production de maïs par tête
PRIZTET	Production de riz par tête
PSORCHOT	Production de sorgho par tête
PMAN IOCT	Production de manioc par tête
PMILT ET	Production de mil par t ê t e
PCOTONTE	Production de coton par tête
PARAHTET	Production d’arachide d’huilerie par tête
PARABTET	Production d’arachide de bouche par tête
VMARTET	Revenu; des productions maraîchères par tête
NUBTET	Nombre d’UBT par tête
REVEFTET	Revenu; des productions forestières par tête
VPECHETE	Revenu; des productions halieutiques par tête
REVNAGTE	Revenu; non agricoles par tête-

Tableau 2 : Variables utilisées dans l’analyse

3.3.2 Analyse statistique

Toutes les analyses ont été conduites au moyen du logiciel SAS.

3.3.2.1 A C P

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) sur 13 variables a permis de déterminer des axes qui résument au mieux la variabilité issue des variables. Leur contribution à l’explication de la variation totale est résumée dans le tableau 3.

Vecteur propre	Valeur propre	Contribution	Contribution cumulée
PCR1	3.2984	0.2537	0.2537
PCR2	2.2751	0.1750	0.4287
PCR3	1.3532	0.1041	0.5328
PCR4	1.1212	0.0862	0.6191
PCR5	1.0239	0.0788	0.6978
PCR6	0.8719	0.0671	0.7649
PCR7	0.7990	0.0615	0.8264
PCR8	0.6755	0.0520	0.8783
PCR9	0.5160	0.0397	0.9180
PCR10	0.3636	0.0280	0.9460
PCR11	0.3536	0.0272	0.9732
PCR12	0.2063	0.0159	0.9891
PCR13	0.1422	0.0109	1.0000

Tableau 3 : ACP, vecteurs et valeurs propres, contributions brutes et cumulées

L'interprétation de ces axes se fait à l'aide de la matrice de corrélation entre les vecteurs propres et les variables (une corrélation forte entre un vecteur propre et une variable s'identifie à un coefficient de corrélation de valeur absolue proche de 1).

Variable	PCR1	PCR2	PCR3	PCR4	PCR5
PMAISTET	0.4236	0.2655	-0.0240	0.0987	0.1997
PRIZTET	-0.1521	0.2454	-0.0265	-0.2022	0.6970
PSORG HOT	0.4275	0.2355	-0.0311	0.1119	0.0631
PMAN IOCT	-0.0766	-0.0535	0.5774	0.4117	-0.1479
PMILTET	0.3164	-0.4794	0.0048	-0.0037	0.0843
PCOTONTE	0.3054	0.3805	0.0292	0.2854	0.1117
PARAHTET	0.3919	-0.3404	0.1251	-0.1527	0.0798
PARABTET	0.2379	-0.4302	-0.0962	-0.1342	0.2044
VMARTET	-0.2099	0.0930	0.5321	-0.3951	0.1006
NUBTET	0.2559	0.2476	0.1725	-0.5268	-0.0425
REVEFTET	0.2078	0.2131	0.0135	0.1082	-0.3072
VPECHETE	-0.2290	-0.0185	-0.3879	0.2461	0.2831
RE:VN 4CTE	0.0070	-0.1405	0.4185	0.3722	0.4407
Interprétation	Production céréalière	Cultures industrielles	Agriculture diversifiée, pêche et revenus non agricoles	Agriculture diversifiée, élevage et revenus non agricoles	Riziculture et revenus non agricoles

Tableau 4 : Matrice de corrélation entre les vecteurs propres et les variables

Il ressort de cette analyse que les individus (départements*années) s'organisent selon des combinaisons de variables (vecteurs propres) qui expriment des stratégies de production. Avant d'aller plus loin, il faut déterminer par une analyse de variance si cette organisation est le fait de facteurs géographiques ou temporels.

3.3.2.2 Analyse de variance

Une analyse de variance (ANOVA) permet de déterminer les facteurs qui expliquent la variation observée dans les valeurs que prend une variable. Si un facteur est significatif, alors la quantité « Pr > F » est inférieure à 0.05

(ceci signifie que la probabilité que les effets de toutes les modalités du facteurs soient nuls est inférieure à 5%, ce qui revient à dire qu'au moins un effet est non nul).

Variable vecteur propre 1

Source de variation	Ddl	SCE	CM	Test F	Pr > F
Année	7	9.76	1,39	4.91	0,00
Département	29	720.86	24.86	87.45	0,00
Erreur	203	57.70	0,28		
Variation totale	239	788.33			

Variable : vecteur propre 2

Source de variation	Ddl	SCE	CM	Test F	Pr > F
Année	7	3,44	0,49	1.81	0,09
Département	29	485.37	16,74	61.83	0,00
Erreur	203	54,95	0,27		
Variation totale	239	543.76			

Variable : vecteur propre 3

Source de variation	D d l	SCE	CM	Test F	Pr > F
Année	7	3,29	0,47	1,90	0,07
Département	29	269.95	9,3	37,67	0,00
Erreur	203	50,17	0,25		
Variation totale	239	323.40			

Variable : vecteur propre 4

Source de variation	Ddl	SCE	CM	Test F	Pr > F
Année	7	0,80	0,11	0,52	0,82
Département	29	222.43	7,67	34,80	0,00
Erreur	203	44,74	0,22		
Variation totale	239	267.97			

Variable vecteur propre 5

Source de variation	Ddl	SCE	CM	Test F	Pr > F
Année	7	4,79	0,68	1,94	0,07
Département	29	168.34	5,80	16.46	0,00
Erreur	203	71,60	0,35		
Variation totale	239	244.72			

Tableaux Sa. 5b,5c,5^e,5f : analyses de variance des effets Année et Département sur les vecteurs propres

Pour le vecteur propre 1 apparaît un effet année. ce qui signifie que certaines années se différencient par des valeurs différentes L'analyse des moyennes par la méthode de Student-Newman-Keul (SNK) montre que les années 1996 et 1997 ont des coordonnées plus faibles que les autres années sur le vecteur propre 1, en plus de l'effet département.

Année	Moyenne	Groupe (SNK)
1990	0.51400	A
1993	0.1152	BA
1995	0.1087	BA
1991	0.1052	BA
1994	0.0479	BA
1992	0.0264	BA
1996	-0.2057	BC
1997	-0.4323	C

Tableau 6 : Test de regroupement de moyennes de Student-Newman-Keul pour le vecteur propre 1

Les moyennes dont le groupe contient la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Student-Newman-Keul.

Pour les vecteurs propres 2 à 5, seul l'effet « département » est significatif. Pour le vecteur propre 1, malgré l'effet « année », l'effet « département » persiste, ce qui valide l'approche géographique de l'explication de la variabilité des variables.

Il est également possible de considérer que les années sont des « répétitions » des départements, même si celles-ci sont inévitablement liées entre elles.

3.3.2.3 Modélisation des individus

Chaque individu peut être représenté par un vecteur dans la base constituée par un point O et les l vecteurs propres. Pour tout individu M on a :

$$\overrightarrow{OM} = \sum_{i=1}^l \lambda_i \overrightarrow{V_i}$$

où λ_i est la coordonnée de l'individu M sur le vecteur propre V_i

D'autre part, si l'on modélise, pour chaque département, les vecteurs propres par les variables X_k de façon à obtenir :

$$\overrightarrow{V_i} = a_i + \sum_{k=1}^p \alpha_{ik} \overrightarrow{X_k}$$

on peut obtenir une approximation de \overrightarrow{OM} par :

$$\overrightarrow{OM} = \sum_{i=1}^l \lambda_i \left(a_i + \sum_{k=1}^p \alpha_{ik} \overrightarrow{X_k} \right)$$

La dernière étape consiste donc à modéliser, pour chaque département, les vecteurs propres par les variables, au moyen d'une régression Stepwise.

3.3.2.4 Régression Stepwise

La régression Stepwise permet de déterminer le jeu minimal de variables nécessaire à la modélisation satisfaisante d'une variable, ainsi que les coefficients multiplicateurs des variables.

Par exemple, cette méthode a permis de déterminer que pour le département de Bambey, le vecteur propre 1 se modélise de la façon suivante :

$$PCR_1 = -1,273 + 0,01 \times 0,1: PSORGHOT + 0,0045 \times PMILTET + 0,00418 \times PARAHTET + 0,334 \times NUBTET + 0,00068 \times REVEFTET + 0,000000394 \times REVNAGTE$$

De même, pour tous les départements et les 5 premiers vecteurs propres, les coefficients de régression ont été calculés, puis multipliés par les coordonnées des départements sur les vecteurs propres. Ainsi, un département mal représenté par un vecteur propre a une coordonnée sur cet axe proche de 0, et lors de la multiplication les variables qui modélisent celui-ci prennent un poids très faible.

3.3.2.5 Paramétrage modèle

Pour chaque département, on obtient un jeu de coefficients qui permet de résumer l'ensemble des variables de départ en un indicateur unique.

Département	Intercept	Priztet	Psorghot	Reveftet	Revnagte	Vmartet	Vpechete
Bakel	-1.71E+00	7.62E-03		-1.59E-04	-6.86E-05	-1.46E-04	
Bambev	3.41E-01		1.43 E-02	-4.17E-02	1.07E-05	-1.63 E-04	
Bignona	7.58E-02	-3.27E-03	4.64E-03		1.44E-05		-8.01E-06
Dagana	6.44E-01	4.75E-02	9.60E-03		1.63E-05	3.16E-05	2.38E-04
Dakar	3.86E+00				-2.14E-05	-4.64E-05	1.13 E-04
Diourbel	2.42E+00		-1.72E-02	2.08E-03	-2.27E-05	-3.17E-05	
Fatick	1.86E+00	-8.40E-03	-1.58E-02		-1.24E-05		5.00E-05
Foumbiou	-2.81E+00	6.81E-02	-8.86E-03	-2.19E-03	1.19E-05	-1.55E-04	3.17E-05
Gossas	3.05E-01		-9.94E-03	-1.02E-04	-5.46E-06		

Tableau 7 : extrait du tableau de paramétrage du modèle

3.3.3 Développements informatiques du modèle

3.3.3.1 L'architecture de la base de données

Le modèle a été programmé sous Microsoft Access 97 en langage Visual Basic et SQL. Ceci permet :

- une grande compatibilité avec d'autres applications (la plupart utilisent les formats d'échange de Microsoft Windows),
- une exploitation approfondie et personnalisée des données par une interrogation des tables sources du modèle,
- un reparamétrage du modèle

La base de données contient 7 tables :

- Années*Deps : données historiques par département et par année
- Classes : définition des classes
- Modèle : paramètres du modèle
- Régions : liste des régions et des départements du Sénégal
- Saisie : table temporaire de saisie
- Simulations : table de stockage de données temporaires simulées
- Tempo : table temporaire d'analyse de données

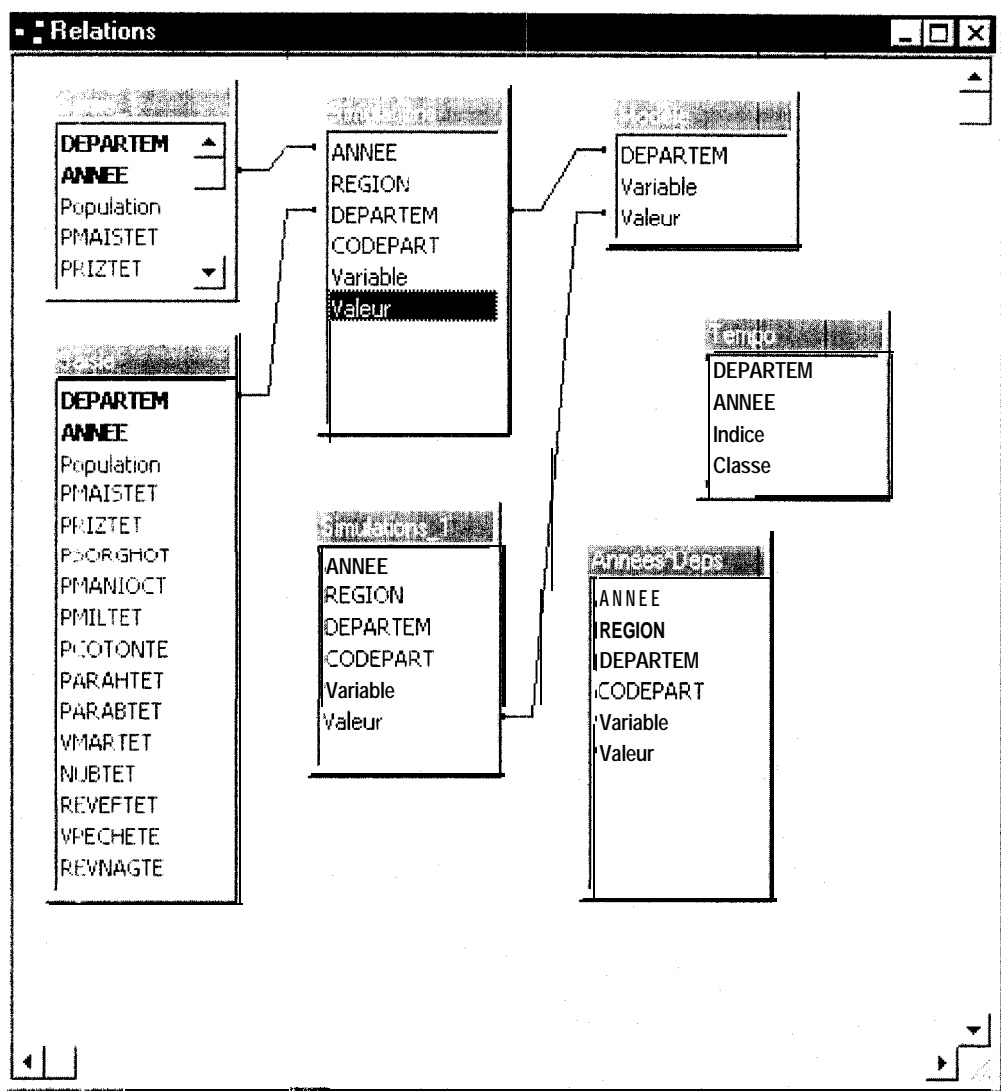


Figure 1 : extrait de l'architecture de la base de données modèle

Les données sont tout d'abord saisies à l'aide d'un formulaire dans la table « Saisie », puis mises à jour dans la table « simulations ». Si l'utilisateur le désire, Il peut stocker ces données dans la table « Années*Deps ». Les tables « Années*Deps », « simulations » et « Modèle » présentent une structure qui leur permet d'être multipliées entre elles comme des matrices. Le lien entre les champs « variable » de ces tables autorise une multiplication des champs « Valeur », qui, au moyen d'une fonction de regroupement « Somme » conduit au calcul de l'indice. L'avantage de cette architecture est sa souplesse. Il est ainsi possible d'ajouter ou de supprimer des variables sans avoir à modifier l'ensemble des outils programmés. Seuls les champs de la table « Saisie » et du formulaire « Saisie » doivent être mis à jour.

3.3 3.2 Outils de traitement et de présentation de l'information

3.3.3.2.1 Gestion de données (Menu « Données »)

• Saisie

Une interface de saisie apparaît, qui permet de saisir les données par variable, puis de les transférer dans la table « Simulations » pour être analysées.

Saisie : Formulaire

Département :BAKEL

Terminer saisie

Population:0Habitants

Année :2000

Mettre à jour

Production maïs :tonnes

Production riz :tonnes

Production sorgho :tonnes

Production manioc :tonnes

Production mil :tonnes

Production coton :tonnes

Production arachide huilerie :tonnes

Production arachide de bouche :tonnes

Valeur commerciale maraîchage :FCFA

Nombre d'UBT :UBT

Revenu eaux et forêts :FCFA

VCE pêche :FCFA

Revenus non agricoles :FCFA

Ajouter enregistrement

Département suivant

Enr: 1 sur 1 (Filtré)

Figure 2 : fenêtre de saisie

- Importation

Une passerelle avec Microsoft Excel permet d'utiliser des données sous ce format. La base de données active Excel, et il est possible d'utiliser celui-ci en cliquant sur le bouton représentant son icône. Les données peuvent être ensuite mises à jour dans la tabke « Simulations ».


Cadre d'analyse sécurité alimentaire

[Edition](#)
[Affichage](#)
[Insertion](#)
[Format](#)
[Outils](#)
[Données ?](#)



Importation : Formulaire					
REGION	DEPARTEM	NUBTET	PARABTET	PARAHTET	PCOTONTE
DAKAR	DAKAR				
DAKAR	PIKINE				
DAKAR	RUFISQUE				
DIOURBEL	BAMBEY				
DIOURBEL	DIOURBEL				
DIOURBEL	MEACKE				
FATICK	FATICK				
FATICK	FOUNDIOUGNE				
FATICK	GOSSAS				
KAOLACK	KAFFRINE				
KAOLACK	KAOLACK				
KAOLACK	NIORO DU RIP				
KOLDA	KOLDA				
KOLDA	SEDHIOU				
KOLDA	VELINGARA				
LOUGA	KEEEMER				
LOUGA	LINGUERE				
LOUGA	LOUGA				
SAINT-LOUIS	DAGANA				
SAINT-LOUIS	MATAM				
SAINT-LOUIS	PODOR				
TAMBACOUNDA	BAKEL				

Année 2010



Enregistrer dans la table
"Simulations"

Quitter (sans enregistrer)

Figure 3 : fenêtre d'importation (Extrait)

- **Modification**

Un module permet de déplacer des séries annuelles de la table « Simulations » vers la table « Années*Deps », et également de supprimer des séries annuelles de ces deux tables. Cette dernière option est protégée par un mot de passe.

Modifier tables : Formulaire

Type de table

Historique

Simulation

Année:

Transférer vers Historique

Supprimer

Quitter

Figure 4 : Fenêtre de modification

3.3.3.2 Analyse

- Représentation des indices par des classes

Les indices ont été traduits, en classes dans la table « Classes ». Ces classes peuvent être modifiées en limites et en nombre au moyen de la commande « Options », « Modifier les classes ».

Classes : Table

	Classe	Limite inférieure (>)	Limite supérieure (<=)
	A : Difficultés	-10	6
▶	B : Limite	6	16
	C : Normale	16	26
	D : Opulence	26	50
*		0	0

Enr: 14 2 sur 4

Figure 5 : fenêtre de définition des classes

- Représentation cartographique des données

L'élément « Cartographique » du menu « Analyse » propose de représenter les classes indices par une analyse graphique. Il est possible de choisir entre les données de la table « Simulations » ou « Années*Deps » d'imprimer la carte de visualiser la table de données, et de modifier les options de la carte (bouton « Editer carte »).

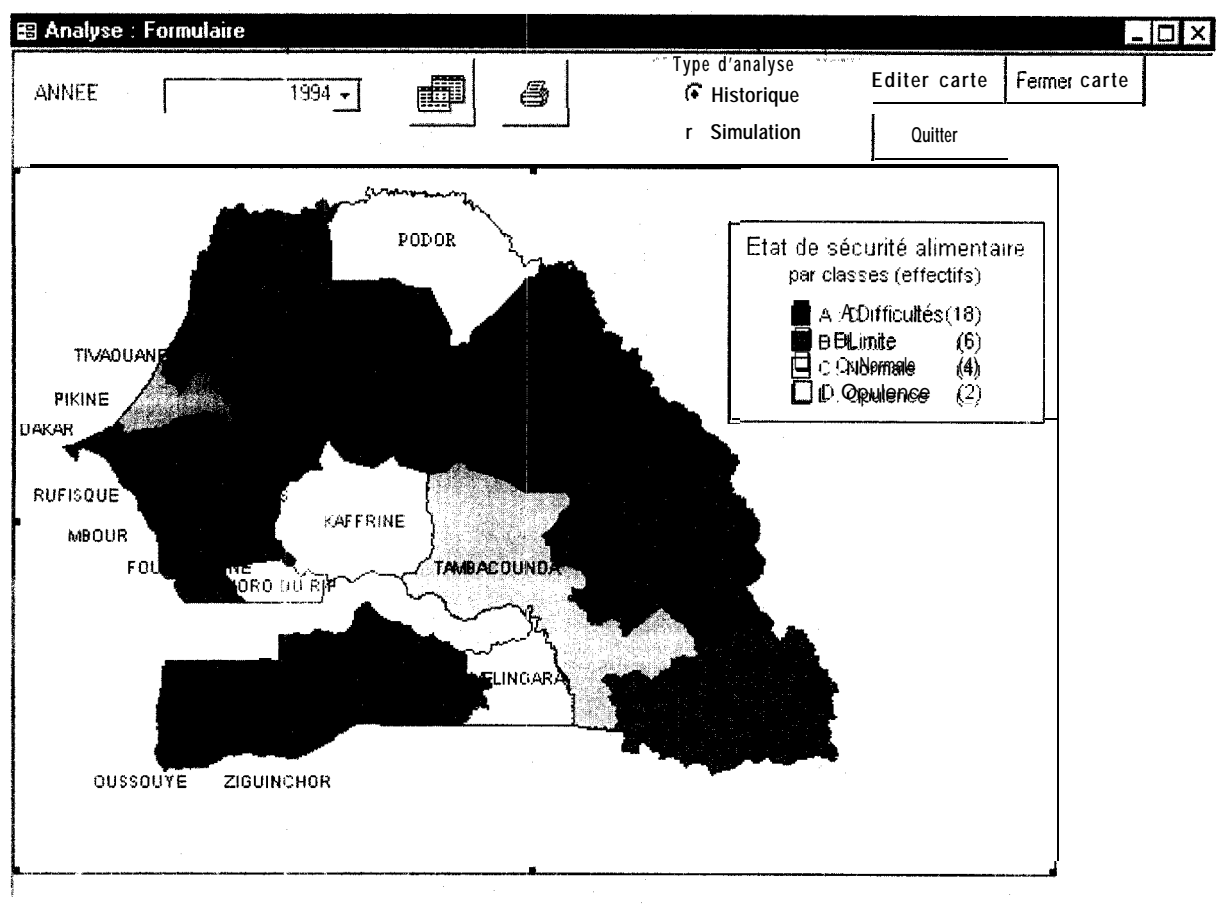


Figure 6 : fenêtre d'analyse cartographique des classes d'indices

- Requêtes de synthèse

Des requêtes accessibles depuis le menu « Analyse » permettent de visualiser l'évolution interannuelle de la situation. Il est ainsi proposé :

- Données classes : synthèse interannuelle des classes d'indice
- Fréquences : nombre d'occurrences de chaque département dans les classes d'indice
- Historique des classes : analyse croisée Année*Département=Classe
- Historique des indice : analyse croisée Année*Département=Indice

3.3.3.23 Sortie

3 options de sortie sont proposées :

- fenêtre base de données : affiche la fenêtre de la base de données, qui permet l'accès aux tables, aux requêtes, et autres objets de Microsoft Access.
- Menu base de données : affiche la barre de menu de base de données.
- Quitter : ferme la base de données et Microsoft Access.

3.3.4 Limites de la méthode

L'indice obtenu est un indicateur économique, ce qui sous-tend que le niveau de sécurité alimentaire d'un département dépend de son niveau de production de richesses. Cette approche est contestable, car elle ne tient pas compte des stratégies de compensation au niveau inter-annuel et local, ni des infrastructures du type sanitaire, communications etc.

Le modèle a été mis au point à partir de données historiques, donc n'est valable que pour des valeurs qui ne s'éloignent pas de celles observées sur cette série historique. Le modèle devient donc obsolète dès que les valeurs observées sortent de la gamme des valeurs historiques.

Pour des raisons de disponibilité en données, l'indicateur n'est pas relié à des variables d'effet, qui caractériseraient le niveau de confort des populations. C'est un indicateur qui exprime le niveau de performance économique du département.

3.3.5 Perspectives et recommandations

Afin de pouvoir utiliser le modèle dans l'état actuel de la banque de données, celui-ci doit être calibré, c'est à dire que les valeurs de l'indice doivent être mises en relation avec des niveaux de sécurité alimentaire. Une enquête ou une analyse des données d'« effet » devrait permettre d'une part de valider l'approche « production », et d'autre part de définir des classes de sévérité de la crise alimentaire.

La meilleure solution consiste à utiliser la démarche de modélisation qui intègre les variables d'effet (cf 3.2), et de recalculer les paramètres du modèle à partir de cette analyse. Pour cela, la banque de données doit être impérativement complétée, surtout par des données qui reflètent la situation alimentaire au niveau départemental.

4 ANNEXES

4.1 ANNEXE 1 : Stations synoptiques et pluviométriques utilisées pour l'étude

Département	Site	Longitude	Latitude
Podor	Podor	-14.56	16.38
	N'Diourm	-14.39	16.31
Dakar	Dakar	-17.5	14.733
Bakel	Bakel	-12.46	14.89
	Kidira	-12.21	14.46
	Balla	-13.16	14.01
	Goudiry	-12.71	14.18
Bambey	Bambey	-16.46	14.69
	Baba garage	-16.48	14.95
Bignona	Bignona	-16.27	12.67
	Diouloulou	-16.58	13.03
Linguère	Dahra	-15.27	15.2
	Linguère	-15.2	15.4
Diourbel	Diourbel	-16.23	14.64
	N'Doulo	-16.13	14.75
	N'dindy	-16.16	14.91
Fatick	Fatick	-16.39	14.33
	Niakhar	-16.4	14.46
Gossas	Gossas	-16.08	14.50
	Guinguinéo	-15.95	14.33
Kaffrine	Kaffrine	-15.55	14.10
	Birkilane	-15.75	14.13
	Koungheul	-14.83	13.96
	Maleme-Hoddar	-15.30	14.08
	Bourel	-15.53	14.28
Kaolack	Kaolack	-16.06	14.13
	Ndoffane	-15.93	13.91
	Gandiaye	-16.26	14.25
Kébémér	Kébémér	-16.45	15.36
	Darou Mousty	-16.03	15.03
	N'dande	-16.53	15.266
	Sagatta	-16.16	15.28
Kédougou	Kédougou	-12.21	12.56
	Saraya	-11.78	12.78
	Simenti	-13.30	13.05
Oussouye	Oussouye	-16.53	12.48
	Cap Skirring	-16.75	12.90
	Kabrousse	-16.71	12.35
Nioro-du-Rip	Nioro-du-Rip	-15.78	13.73
	Médina sabakh	-15.59	14.5

Département:	Site	Longitude	Latitude
Dagana	Saint-Louis	-16.27	16.03
	Rao	-16.41	15.91
	Dagana	-15.5	16.51
	Richard-Toll	-15.7	16.45
Sédhiou	Sédhiou	-15.55	12.78
	Diattacounda	-15.77	12.48
	Marsassoum	-16	12.81
Tambacounda	Tambacounda	-13.68	13.71
	Missirah	-11.7	13.083
	Koumpentoum	-14.55	13.98
	Koussanar	-14.08	13.86
Tières	Thiès	-16.95	14.80
	Thiénaba	-16.79	14.76
	Pout	-17.08	14.75
	Khombole	-16.42	14.46
Tivaouane	Tivaouane	-16.81	14.94
	Thilmakha	-16.25	15.03
	M'Boro	-16.88	15.13
Foundiougne	Toubacouta	-16.48	13.78
	Sokone	-16.38	13.88
	Foundiougne	-16.46	14.11
Ziguinchor	Ziguinchor	-16.26	12.55
	Nyssia	-16.36	12.45
Kolda	Kolda	-14.96	12.88
Vélingara	Vélingara	-14.68	13.09
Louga	Louga	-16.13	15.67
	Keur Momar sarr	-15.96	15.93
	Sakal	-16.23	15.83
M'Backé	M'Backé	-15.95	14.85
	Sadio	-15.55	14.80
Matam	Matam	-13.25	15.65
	Ranéro	-13.96	15.3
Rufisque	Rufisque	-17.3	14.73
	Sébikotane	-17.11	14.76
Pikine	Pikine	-17.38	14.73
M'Bour	Mbour	-16.96	14.41
	Joal	-16.85	14.16