

VULNERABILITE DE L'AGRICULTURE PLUVIALE DANS LE BASSIN DE LA VOLTA

Analyse de l'impact de la variabilité des pluies et le risque
de sécheresse sur le rendement et la gestion des
exploitations agricoles



Abir Ben Slimane

Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, France

2008

Volta Basin Focal Project Report No. 13

CGIAR Challenge Program on Water and Food



VULNERABILITE DE L'AGRICULTURE PLUVIALE DANS LE BASSIN DE LA VOLTA

**Analyse de l'impact de la variabilité des pluies et le risque de sécheresse
sur le rendement et la gestion des exploitations agricoles**

Abir Ben Slimane

Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, France

2008

Ce document doit être cité de la façon suivante :

Ben Slimane, A., 2008.- *Vulnérabilité de l'agriculture pluviale dans le bassin de la Volta*. Volta Basin Focal Project Report No 13. IRD, Montpellier, France, and CPWF, Colombo, Sri Lanka, 86 p.

Résumé : Le facteur climatique joue un rôle déterminant dans la gestion des ressources agricoles. Dans notre travail, nous nous sommes focalisé sur l'étude de l'impact du phénomène du changement climatique et du risque de sécheresse, sur le rendement et la gestion des exploitations agricoles dans le bassin versant de la Volta en Afrique de l'Ouest. Ce site d'étude se caractérise par un gradient pluviométrique très hétérogène à l'échelle spatio-temporelle, aggravée par des épisodes de sécheresse qui ont contribué à l'accroissement des crises agricoles et à empirer la situation socio-économique déjà fragilisée dans cette zone. Ainsi, et suite à une typologie des différentes exploitations agricoles préexistantes sur le bassin versant, nous avons analysé la dynamique du fonctionnement socio-économique de ces dernières en étudiant les différents moyens d'ajustements déployer en vue se prémunir contre ses risques relatifs aux changements climatiques. L'objectif visé par ce travail, est d'évaluer le degré de vulnérabilité de l'agriculture pluviale sur le bassin versant de la Volta, en analysant l'impact du changement climatique sur la productivité agricole et sur la situation économique des exploitations agricoles. Les résultats obtenues montrent, une dégradation de la situation Socio-économique des agriculteurs suite aux manifestations des périodes de sécheresse, ainsi qu'une répartition spatiotemporelle hétérogène de la vulnérabilité agricole sur le bassin versant, avec une contribution plus au moins efficace des moyens d'ajustements qui restent toutefois insuffisants.

Mots clés : Changements climatiques, vulnérabilité, agriculture pluviale, analyse socio-économique, moyens d'ajustements.

Abstract: The climatic factor plays a determining role in the management of the agricultural resources. In our work, we focused on the study of the impact of the climate change phenomenon and the risk of dryness on the yield and the management of farms in the Volta catchment in West Africa. This site of study is characterized by a very heterogeneous pluviometric gradient in the spatiotemporal scale, aggravated by dryness episodes, which contributed to the increase of the agricultural crises and to worsen the socioeconomic situation already weakened in this zone. Thus, and following a typology of the various pre-existent farms on the catchment, we analyzed the dynamics of the socio-economic working of these last, by studying various means of adjustments deployed in sight to guard itself against its risks relating to the climate changes. The objective aimed by this work, is to estimate the degree of vulnerability of rain agriculture on the Volta catchment, by analyzing the impact of the climate change on the agricultural productivity and on the economic situation of farms. The obtained results show, a degradation of the Socio-economic situation of the farmers following the manifestations of periods of dryness, as well as a heterogeneous spatiotemporal distribution of the agricultural vulnerability on the catchment, with a contribution at least effective of the adjustments means which remain however insufficient.

Keywords: Climates changes, vulnerability, rain agriculture, socio-economic analysis, adjustments means.

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à témoigner ma gratitude en vers tous ceux qui m'ont aidée et encouragée à le réaliser.

Je remercie tout d'abord, Monsieur Jacques LEMOALLE pour sa confiance, sa patience, sa présence, son investissement tout au long de mon stage et ses conseils avisés.

Mes remerciements vont particulièrement à Monsieur Philippe LE GRUSSE, pour son encadrement, pour son soutien, pour ses conseils et ses orientations et pour avoir été toujours à mon écoute.

J'adresse également ma reconnaissance la plus profonde à Mademoiselle Isabelle TERRASSON pour l'aide essentielle qu'elle m'a accordée, ses précieuses remarques et ses conseils judicieux qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Merci à tous les membres du personnel de l'IRD Montpellier (Maison des Sciences de l'Eau), pour leur dynamisme et leur bonne humeur, et je tiens à remercier les personnes qui m'ont aidé au cours de mon stage.

Je remercie aussi les membres de jury qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail.

Mes remerciements s'adressent particulièrement à ma famille et mon fiancé, qui m'ont soutenu et encouragée tout au long de mes études.

Enfin je remercie tous les stagiaires et les doctorants du laboratoire pour les moments passer ensemble. Un grand merci à tous mes amis et mes collègues de travail à l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier.

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| Introduction..... | 8 |
| Partie I: Analyse Bibliographique Et Présentation De La Zone D'étude..... | 11 |
| Chapitre 1. Changement climatique et risque de sécheresse :Impacts, Adaptation et Vulnérabilité. | 11 |
| I. Le changement climatique : | 11 |
| II. Causes du changement climatique : | 11 |
| III. Conséquences du changement climatique :..... | 12 |
| IV. Adaptation aux changements climatiques | 13 |
| V. La vulnérabilité aux changements climatiques:..... | 14 |
| VI. Le changement climatique : une préoccupation internationale. | 15 |
| Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude « le bassin versant de la Volta » | 16 |
| I. Localisation géographique du bassin versant la Volta : | 16 |
| II. Caractéristiques climatiques et hydriques du bassin versant : | 17 |
| III. Présentation de la zone d'étude : | 18 |
| III.1. Le Burkina Faso : | 18 |
| III.1.1. Localisation géographique et situation administrative: | 18 |
| III.1.2. Démographie et contexte social..... | 18 |
| III.1.3. La topographie..... | 19 |
| III.1.4. Le climat..... | 19 |
| III.1.5. Hydrographie et ressources en eau | 19 |
| III.1.6. Economie et agriculture | 20 |
| III.1.7. Les Sols et occupation des terres..... | 20 |
| III.2. Le Ghana | 21 |
| III.2.1. Localisation géographique et répartition administrative | 21 |
| III.2.2. Démographie et contexte social | 21 |
| III.2.3. Topographie : | 22 |
| III.2.4. Le climat..... | 22 |
| III.2.5. Hydrographie et ressources en eau | 22 |
| III.2.6. Economie et agriculture..... | 23 |
| III.2.7. Occupation des terres | 23 |
| IV. Les cultures pluviales à l'échelle de notre bassin versant | 23 |
| IV.1. Le Mil | 23 |
| IV.2. Le Sorgho..... | 24 |
| IV.3. Le maïs..... | 24 |
| IV.4. Production du mil, sorgho et maïs dans Burkina Faso et Ghana..... | 25 |
| Chapitre 3. Problématique et objectifs du travail..... | 26 |
| I. Problématique et Objectifs | 26 |
| II. Commande du stage | 27 |
| III. Démarche générale et hypothèses de travail | 27 |
| Partie II..... | 29 |
| Matériel Et Méthodes | 29 |
| Chapitre 1 : Choix des outils de travail..... | 30 |
| Chapitre 2 : Base de données et analyse typologique des exploitations agricoles..... | 32 |
| I. Traitement des données..... | 32 |
| II. Classification des exploitations agricoles de Ghana : | 35 |
| II.1. Présentation de SPAD : | 35 |
| II.2. Objectifs et Démarche | 35 |
| II.3. Résultats de la typologie :..... | 37 |
| II.4. Caractéristiques des classes et des sous-classes..... | 40 |

| | |
|--|-----------|
| Chapitre 3 : Analyse Socio-économique de la dynamique du fonctionnement des exploitations agricoles sur le bassin versant de la Volta : | 43 |
| I. Présentation d'un GRAFCET : | 43 |
| II. Hypothèses et descriptif de l'analyse socio-économique: | 43 |
| III. Construction d'un Modèle de calcul | 47 |
| Partie III: Simulations Et Interprétation Des Résultats | 54 |
| Chapitre 1 : Choix des Exploitations Types et des conditions de simulations | 55 |
| I. Choix des Exploitations Types : | 55 |
| II. Choix des années de simulations | 58 |
| III. Autres conditions de simulations | 58 |
| III.1. Les apports des migrants | 58 |
| III.2. Seuil d'achat du bétail : | 59 |
| III.3. Choix monétaire : Franc CFA | 59 |
| III.4. Condition initiale des simulations des deux périodes (1951 à 1960 et de 1971 à 1980) | 59 |
| Chapitre 2 : Simulations annuelles et pluriannuelles du développement agricole des exploitations types... | 60 |
| I. Simulations sans apport extérieur des migrants | 60 |
| I.1. Cas de l'exploitation de Maïs : | 60 |
| I.2. Cas de l'exploitation de Sorgho | 62 |
| I.3. Cas de l'exploitation de Cassava | 64 |
| I.4. Cas de l'exploitation du Mil | 64 |
| II. Simulations avec apport extérieur des migrants | 65 |
| II.1. Cas de l'exploitation de Maïs | 65 |
| II.2. Cas de l'exploitation de Sorgho | 67 |
| II.3. Cas de l'exploitation de Cassava | 68 |
| II.4. Cas de l'exploitation type Mil | 68 |
| III. Vulnérabilité de l'agriculture pluviale dans le bassin versant de la Volta | 70 |
| Conclusion et perspectives | 72 |
| BIBLIOGRAPHIE | 74 |
| ANNEXES | 76 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1 (a et b): Evaluation de l'augmentation de la température à l'échelle mondiale..... | 12 |
| Figure 2: Carte de la localisation géographique du bassin versant de la Volta..... | 16 |
| Figure 3: Répartition pluviométrique sur le bassin de la Volta..... | 17 |
| Figure 4 : localisation de Burkina Faso..... | 18 |
| Figure 5 : Carte de localisation du Ghana..... | 21 |
| Figure 6 : Production céréalière au Ghana en 2000 et 2001..... | 25 |
| Figure 7 : Représentation de la répartition des variables sur l'axe 1 et 2..... | 37 |
| Figure 9: Représentation de la répartition des variables sur l'axe 2 et 4..... | 38 |
| Figure 10 : Diagramme représentatif de la classification des exploitations du Ghana..... | 39 |
| Figure 11 : Composantes principales d'un GRAFCET..... | 43 |
| Figure 12 : Représentation graphique de la dynamique du fonctionnement économique des exploitations agricoles dans le bassin versant de la Volta..... | 46 |
| Figure 13 : Répartition des rendements du maïs selon les types d'années..... | 49 |
| Figure 14 : Principaux Systèmes de culture du bassin versant de la Volta..... | 57 |
| Figure 15 : Simulation économique de l'exploitation de Mais entre 1951-1960 et 1971-1980..... | 60 |
| Figure 16 : Evolution du bétail entre deux périodes de simulations différentes(51-60 et 71-80) sur l'exploitation de maïs..... | 61 |
| Figure 17 : Evolution du stock final (Kcal) entre deux périodes différentes..... | 61 |
| Figure 18 : Evolution de la trésorerie pour les deux périodes d'étude..... | 62 |
| Figure 19 : Evolution du bétail entre deux périodes de simulations différentes (51-60 et 71-80) sur l'exploitation de sorgho..... | 62 |
| Figure 20 : Evolution du stock final (Kcal) entre deux périodes différentes..... | 63 |
| Figure 21 : Evolution de la trésorerie pour les deux périodes de simulation..... | 63 |
| Figure 22 : Evolution de la trésorerie pour les deux périodes de simulation..... | 64 |
| Figure 23 : Evolution du stock final (Kcal) entre deux périodes différentes..... | 65 |
| Figure 24 : Evolution du bétail entre deux périodes de simulations différentes (51-60 et 71-80) sur l'exploitation de maïs..... | 66 |
| Figure 25 : Evolution du stock final (Kcal) entre deux périodes différentes..... | 66 |
| Figure 26 : Evolution de la trésorerie pour les deux périodes de simulation..... | 66 |
| Figure 27 : Evolution du bétail entre deux périodes de simulations différentes (51-60 et 71-80) sur l'exploitation de sorgho..... | 67 |
| Figure 28 : Evolution de la trésorerie pour les deux périodes de simulation..... | 67 |
| Figure 29 : Evolution de la trésorerie pour les deux périodes de simulation..... | 68 |
| Figure 30 : Simulation économique de l'exploitation du Mil entre 1951-1960 et 1971-1980..... | 68 |
| Figure 31 : Evolution du bétail entre deux périodes de simulations différentes (51-60 et 71-80) sur l'exploitation de mil..... | 69 |
| Figure 32 : Evolution du stock final (Kcal) entre deux périodes différentes..... | 69 |
| Figure 33 : Evolution de la trésorerie pour les deux périodes de simulation..... | 70 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Productions céréalières prévisionnelles 2004/05 à Burkina Faso, comparées à celles de 2003/04 et à la moyenne des cinq dernières années (en tonnes)..... | 25 |
| Tableau 2 : Tableau final récapitulatif des données relatives aux exploitations agricoles du Ghana..... | 34 |
| Tableau 3 : Variables utilisées pour la typologie des exploitations agricoles..... | 36 |
| Tableau 4 : pourcentage d'explication des variables sur les 4 axes étudiés..... | 36 |
| Tableau 5 : Présentation du modèle de calcul sur Excel..... | 53 |
| Tableau 6 : Détermination des types des années..... | 48 |
| Tableau 7 : détermination du Rendement du maïs..... | 49 |
| Tableau 8 : caractéristiques des exploitations types..... | 55 |
| Tableau 9 : Caractéristiques des différents ménages des villages de Dosin et Thiougou..... | 56 |
| Tableau 10 : Seuil d'achat du bétail..... | 59 |
| Tableau 11 : Comparaison entre manque et besoin de l'exploitation type du Mil entre les deux périodes d'étude..... | 65 |

Introduction

De nos jours, le changement climatique représente le phénomène le plus étudié à l'échelle mondiale, étant donné les impacts et les perturbations importantes qu'il peut procurer sur un grand nombre d'équilibres biologiques. En effet, des signaux alarmants ; manifestés surtout par le réchauffement de la terre ; confirment qu'un dérèglement planétaire climatique est en progression.

Ce déséquilibre climatique est attribué, une fois de plus, aux activités anthropiques particulièrement relatives à l'industrialisation, qui exercent des pressions aussi fortes que les systèmes naturels les plus complexes (tels que le climat) se trouvent troublés.

La grande variabilité du régime pluviométrique observée surtout dans les pays de l'Afrique de l'ouest, constitue un aléa à risque évident, spécifiquement sur les ressources en eau et les activités agricoles et donc sur le développement socioéconomique des populations, qui se trouvent face à une grande incertitude quant aux quantités de pluies qui seront disponibles dans le futur.

L'agriculteur qui se trouve face à cette situation critique, tente d'atténuer l'impact défavorable de ces perturbations climatiques, par la mise en place de pratiques d'adaptations et d'ajustements visant la diminution de la vulnérabilité de l'agriculture, et surtout celle des cultures pluviales, au risque de sécheresse. En effet, les effets de la sécheresse relative au changement climatique sont transversaux, et il en résulte de graves répercussions directes sur l'agriculture et les ressources hydriques, ainsi que des impacts indirectes qui touchent surtout l'économie et la santé humaine.

Le bassin versant de la Volta, zone de notre étude, constitue un exemple très représentatif de ce cadre de changement climatique, vu sa structuration très particulière qui s'échelonne d'un régime sahélien à l'extrême nord (400 mm /an), à un contexte complètement équatorial au sud avec des précipitations qui peuvent dépasser largement les 1200 mm /an.

Ce gradient climatique se trouve affecté aussi bien, par une distribution spatiotemporelle pluviométrique très extrêmement changée, et par des épisodes secs qui ont contribué à la diminution totale des quantités des pluies d'à peu près 150 mm/an, suite à un déplacement des isohyètes de 200 km vers le sud.

Cette situation de risque a mis en danger les composantes socioéconomiques et environnementales, déjà fragilisées, des différentes régions du bassin versant et surtout la partie nordique qui se caractérise par une agriculture familiale pluviale très prépondérante, avec des conditions favorables à l'accroissement de la vulnérabilité dans ces régions.

Des équipes de recherche de l'IRD, ont décidé d'intervenir dans le cadre du projet « Bassin Focal Project Volta » qui lui-même est dirigé par le Challenge Programme of Water and Food (CPWF). Ce projet a pour but d'analyser la pauvreté, la disponibilité, l'utilisation et la gestion de l'eau, en plus de l'analyse des systèmes de productions agricoles et leurs inter-relations, afin d'en dégager des axes de recherches prioritaires et des stratégies de développement prometteuses à l'échelle du bassin versant étudié.

Mon stage se rapporte à l'étude de la vulnérabilité de l'agriculture pluviale dans le bassin de la Volta, en cherchant à comprendre l'impact de la variabilité des pluies et la manifestation de plus en plus prononcée des périodes de sécheresses, sur les rendements et la gestion des exploitations agricoles.

Le présent travail s'inscrit dans le cadre décrit ci-dessus, qui à travers l'analyse socio-économique de la dynamique du fonctionnement des exploitations agricoles et l'élaboration d'un petit modèle de simulation,

nous avons essayé d'évaluer à différents niveaux spatiales du bassin versant, la vulnérabilité des agriculteurs pluviaux face au risque de sécheresse et de variabilité pluviométrique.

Ce rapport est composé de trois parties essentielles :

- Une première partie, qui présente la problématique dans laquelle s'inscrit ce travail ainsi que la description de la zone d'étude.
- Une deuxième partie qui illustre les différentes approches utilisées et notre méthodologie de travail. Cette étape comporte trois phases ; à savoir :
 - La Création d'une base de données et typologie des exploitations agricoles (Ghana) avec une technique d'analyse des données (SPAD).
 - Analyse socioéconomique du fonctionnement de ces exploitations avec présentation des différentes solutions d'ajustements envisagées par les agriculteurs pour subvenir aux besoins.
 - Elaboration d'un modèle de calcul sur Excel, grâce auquel nous allons pouvoir faire des simulations et d'étudier le comportement des exploitations agricoles à l'échelle annuelle et pluriannuelles, entre deux périodes de simulation très représentatives (avant et au cours des périodes de sécheresse critiques) pour l'évaluation de la vulnérabilité des systèmes agricoles à l'échelle du bassin.
- La troisième et dernière partie, est relative aux résultats finals obtenus suite aux simulations, et à leurs interprétations.

Partie I :

*Analyse Bibliographique
Et Présentation De La Zone D'étude*

Z11Partie I

Analyse Bibliographique Et Présentation De La Zone D'étude

Chapitre 1. Changement climatique et risque de sécheresse : Impacts, Adaptation et Vulnérabilité.

I. Le changement climatique :

De nos jours, le changement climatique se trouve au cœur des préoccupations environnementales et écologiques auxquelles la communauté internationale doit faire face. D'autant plus que l'avenir risque de renforcer cette préoccupation sérieuse et menaçante.

On désigne par changements climatiques, tous changements durables et cycliques du climat global de la terre, qui sont attribués directement ou indirectement à l'activité humaine responsable de la modification de la composition globale de l'atmosphère, qui viennent s'ajouter aux variabilités naturelles du climat.

Par ailleurs, le réchauffement climatique constitue actuellement le plus grand danger représentatif de ce phénomène de changement climatique, et le plus grand défi que doit relever l'humanité au cours de ce siècle.

Pour décrire ces changements, il faut choisir des indicateurs simples et représentatifs (La température moyenne de la surface du globe, le niveau de la mer et les océans...), ce qui n'est pas évident à faire, vu la variabilité temporelle et spatiale de la propagation d'un tel phénomène climatique d'une zone à une autre, d'où la difficulté de cerner et de prédire l'évolution exacte d'un tel fait désastreux.

II. Causes du changement climatique :

Le changement climatique est le fruit d'interaction naturelle et du forçage externe (anthropique).

Les causes naturelles : désignent l'ensemble des variations des paramètres naturelles relatives aux processus propres de la terre, et des interactions entre et au sein même des éléments du système climatique.

Elles sont le résultat de la variation de l'activité solaire, le volcanisme qui présente une influence significative mais limitée dans le temps, ou encore la dérive des continents et le pouvoir réfléchissant de la terre.

Les causes anthropiques : le problème climatique provient essentiellement des émissions anthropiques de gaz à effet de serre (*Annexe 1*), qui augmentent de jour en jour tout en modifiant la composition chimique de l'atmosphère et provoquant ainsi la hausse des températures et l'évolution du problème du réchauffement de la planète.

La plupart des activités humaines sont à l'origine de cette émission (agriculture, élevage, industrialisation, déchets, transports...).

L'ensemble des variations naturelles se fait sur des périodes très grandes, ce qui favorise une certaine adaptation écologique ; Contrairement aux changements anthropiques qui se caractérisent par leur rapidité et par l'ampleur de leurs impacts menaçants et fragilisants des écosystèmes.

En résumé, il est opportun de distinguer entre les variations naturelles du climat et les Changements Climatiques. Les premiers étant d'origine naturelle en revanche, les seconds seraient la conséquence de l'activité humaine sur l'environnement en général, et l'atmosphère en particulier (CIEDE, 2001).

III. Conséquences du changement climatique :

Depuis plus de 25 ans, le phénomène le plus représentatif de ce changement climatique à l'échelle mondiale, est le réchauffement planétaire. En effet, au cours du siècle dernier, la terre s'est réchauffée de 0,76°C en moyenne, avec des hausses de température variable d'une zone à une autre (En Europe, la température moyenne a augmenté de 1°C).

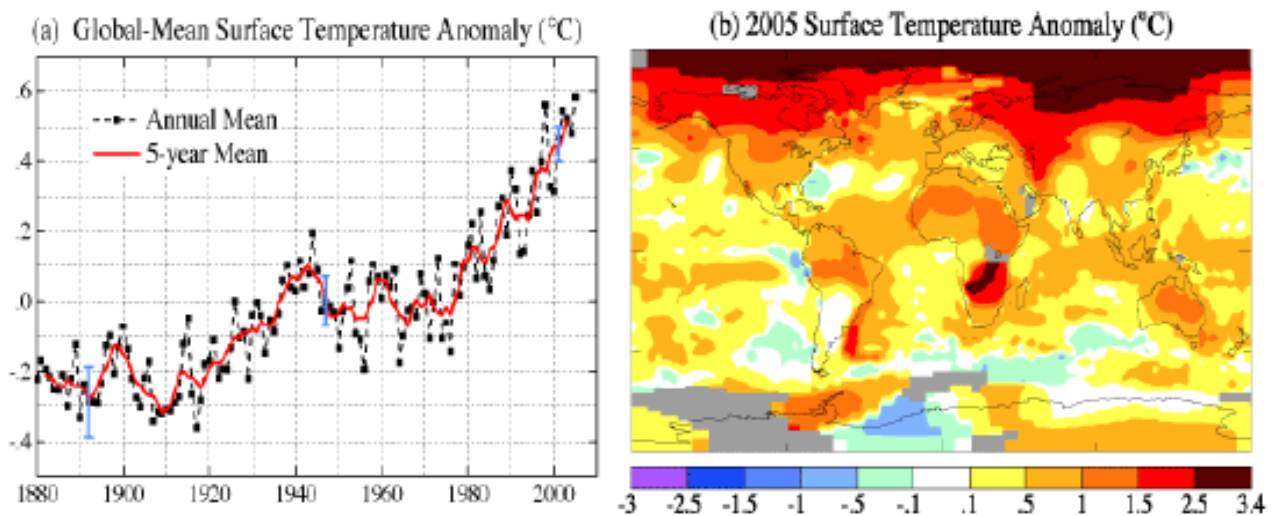


Figure 1 (a et b): Evaluation de l'augmentation de la température à l'échelle mondiale.

(Dron D., 2006)

Les principales conséquences du réchauffement de la planète sont :

- Une augmentation continue de la température, estimée de 1,4 à 5,8°C en 2100;
- Une augmentation du niveau de la mer, suite à la fonte des glaciers et l'instabilité des pergélisols, et par conséquence l'élargissement et l'augmentation du nombre des lacs glaciaires et des avalanches.
- Elargissement des surfaces touchées par la sécheresse, des inondations très sévères et une modification très importante des régimes et du volume des précipitations.
- Baisse de l'écoulement hydrique dans certains cours d'eau des zones naturelles continentales humides.
- Dégradation de la qualité et de la quantité des ressources en eau: en raison de la baisse pluviométrique et du réchauffement dans certaines régions, on aura prolifération des végétaux envahissants dans l'eau, liée à la diminution de la vitesse de propagation des débits. Entravant ainsi la pêche, le fonctionnement des aménagements hydrauliques (agricole, électricité...) et constituant un lieu favorable pour la multiplication des maladies dangereuses comme le paludisme, sans oublier la diminution du niveau de la recharge des nappes souterraines et des retenues des barrages, et donc insuffisance d'alimentation en eau potable.
- Variation de la fréquence et de l'intensité de certains phénomènes extrêmes, et augmentation du nombre des victimes des catastrophes naturelles et des maladies qui deviennent de plus en plus fréquentes...
- Une perturbation de l'équilibre biologique de certains écosystèmes, tels que des événements printaniers précoces (migration précoce des oiseaux et des poissons...), le déplacement de l'aire de répartition d'espèces animales et végétales vers les pôles et les altitudes supérieures.

- Réchauffement des lacs et des rivières dans beaucoup de régions, provoquant la perturbation de leur structure thermique et la qualité de l'eau.
- Des conséquences préjudiciables sur la santé humaine : tels que la mortalité accrue en Europe à raison de l'élévation de la température, les vecteurs des maladies infectieuses et de malnutrition dans certaines zones...
- Risque de multiplication des conflits autour de l'eau.
- Une perturbation économique notable surtout pour les régions où l'agriculture joue un rôle central dans le PIB régional et dans l'occupation de la population active.
- Impacts sur la gestion agricole et les cultures : la production agricole est liée à la concentration atmosphérique en CO₂, à la variation de la température, et à l'alimentation en eau et en nutriments. L'intégration différentielle entre ces facteurs, nous permet de déceler un certain nombre d'impact du réchauffement climatique sur le fonctionnement biologique de certaines cultures (surtout pluviales).

En effet, une variation climatique se manifeste surtout par une augmentation de la température et/ou une diminution des pluies, et donc on aura un risque de produire une augmentation des infestations par les insectes, des dommages aux cultures, un accroissement des mauvaises herbes, des flambés de cas de maladies, des problèmes de planification et de manque de fiabilité des prévisions, une évolution de l'érosion, et surtout une augmentation du stress hydrique et des sécheresses et donc des pertes considérables en terme de productions.

Tel est le cas par exemple des régions sahéliennes en Afrique d'ouest, où les conditions de plus en plus sèches et les précipitations incertaines sont à l'origine de la réduction de la saison de la poussée, et donc des faibles rendements et productions agricole dans une région où les besoins alimentaires sont de plus en plus indispensables et nécessaires pour faire face à une évolution alarmante de la malnutrition.

Le risque d'aggravation de ces impacts dans le futur est d'autant plus important que les mesures de protection et d'adaptation au changement climatique sont moins développées et moins adéquats.

Ainsi une mise en place des mesures d'adaptation s'avère nécessaire et très urgente.

IV. Adaptation aux changements climatiques

La capacité d'adaptation d'un système désigne sa capacité à s'ajuster aux changements climatiques et aux dommages potentiels, à tirer parti des occasions et à faire face aux conséquences.

Cette capacité d'adaptation peut être améliorée en intégrant la prise en compte des impacts des changements climatiques dans la planification du développement (*GIEC, 2007*).

Une large gamme de moyens d'adaptation potentiels, est actuellement disponible pour les sociétés humaines. Ces mesures d'adaptations peuvent varier en allant des moyens technologiques (protection des côtes, projets d'infrastructures et prévention des inondations..), aux comportements (changement des choix des produits alimentaires et des activités réactives...), à la gestion (changement des pratiques agricoles...) et aux politiques (planification la gestion de l'eau...).

Par exemple, il existe plusieurs stratégies d'adaptations pour réduire la vulnérabilité des cultures (surtout pluviales, ou celles ne disposant que d'une irrigation complémentaire) au manque d'eau :

-Stratégie d'esquive : qui consiste à modifier la durée du cycle culturale de la plante en l'ajustant avec la disponibilité de l'eau (éviter la coïncidence entre période demande en eau- période faible pluviométrie...), par le choix de cultures semées à l'automne ou en fin d'hiver, le choix d'une avancée de la date de semis ou encore choisir des variété plus précoces.

-Stratégie d'évitement : consiste à réduire la densité de peuplement et/ou la fertilisation azotée, pour limiter le développement de la surface foliaire et donc la transpiration (*INRA, 2006*).

L'objectif de cette stratégie est de réduire la demande en eau durant une période bien déterminée dans le cycle de la culture, pour servir comme ressources dans les phases ultérieures.

-Stratégie de tolérance : choix d'espèces ou de variété supportant et tolérant le stress hydrique et la sécheresse, aptes à prélever de l'eau en profondeur (exemple : le sorgho et le tournesol...). En effet, l'analyse de la sécheresse récente montre que les agriculteurs s'ajustent tout d'abord par changement d'assolement en choisissant les cultures d'été à besoin d'irrigation limitée.

-L'augmentation de la disponibilité initial de l'eau : grâce à plusieurs techniques culturales telles que : le travail du sol...

En effet, le rôle des pratiques s'affirment au fil du temps en allant de l'utilisation des engrais, des produits phytosanitaires, amélioration variétales jusqu'au recours à l'irrigation.

La combinaison de ces stratégies permet de réduire l'impact du stress hydrique .Le développement durable peut réduire la vulnérabilité future au changement climatique, par le biais d'amélioration de la capacité d'adaptation. Toutefois, il est probable que celle-ci ralentit le rythme d'avancement de ce développement.

Ces mesures d'adaptation dépendent énormément des facteurs de risques géographiques et climatiques spécifiques, ainsi que les contraintes institutionnelles et politiques.

Un portefeuille de mesures d'adaptation et d'atténuation du changement peut diminuer les risques associés aux changements climatiques (*GIEC, 2007*). Ce portefeuille constitue un mélange de stratégie qui comprend l'ensemble des mesures et des moyens l'atténuation, d'adaptation, de développement technique et de la recherche.

Les mesures d'adaptation peuvent être, soit à long terme et dans ce cas, elles visent l'harmonisation des récoltes, l'amélioration des systèmes de gestion de la ressource en eau, l'adoption de nouvelles technologies et la diversification vers d'autres secteurs économiques ; soit ce sont des mesures d'adaptation sans dimensions temporelles, axées dans l'optique d'un développement durable qui permet d'atteindre simultanément les objectifs d'adaptation au climat et de durabilité, en modifiant les politiques de manière à diminuer la pression sur les ressources, à améliorer la gestion des risques environnementaux et à renforcer la capacité d'adaptation.

V. La vulnérabilité aux changements climatiques:

La vulnérabilité est le degré auquel un système est sensible ou susceptible de faire face aux effets néfastes des changements climatiques, notamment à la variabilité du climat et ses extrêmes. Elle est une mesure relative, dépendant de la nature, de l'ampleur et du rythme de la variation du climat auquel le système considéré est exposé, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d'adaptation. Cette vulnérabilité peut être accentuée par la présence d'autres pressions (non climatiques) qui résultent par exemple de la répartition inégale de l'eau, la pauvreté, l'insécurité alimentaire, de conflits...

La vulnérabilité aux changements climatiques varie sensiblement dans sa nature et dans son degré d'une région à une autre. Cette vulnérabilité touche la plupart des systèmes naturels et une partie importante des systèmes humains. Parmi les systèmes particulièrement sensibles à l'évolution du climat, on peut mentionner les ressources en eau, l'agriculture, la foresterie, la santé humaine, etc.

Cette vulnérabilité est particulièrement importante pour les pays en développement, celles possédant un PIB annuel moyen faible, donc des pays pauvres qui n'émettent pratiquement pas de gaz à effet de serre.

L'Afrique est un continent très vulnérable aux changements climatiques. Les effets néfastes des changements climatiques affecteront en Afrique, principalement les ressources en eau, avec une diminution de la disponibilité de 75%, et accentueront la désertification qui représente une grande menace pour la gestion durable des ressources en mettant en péril la sécurité alimentaire et l'approvisionnement en eau.

VI. Le changement climatique : une préoccupation internationale.

Le changement climatique est une problématique internationale, qui a suscité l'intérêt général des différents pays, et la mise en place de plusieurs mesures législatives qui visent la limitation des effets néfastes de ce phénomène désastreux.

La plus importante mesure législative entreprise à l'échelle internationale, est la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), qui a été signée au sommet de la terre à Rio en juin 1992 par 176 Etats. La Convention est entrée en vigueur le 21 mars 1994. L'objectif ultime de la Convention est de stabiliser les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique (humaine) du système climatique (CIEDE, 2003).

Au cours de La troisième Conférence des Parties à la CCNUCC ; destinée à l'évaluation des efforts consentis par les différentes parties membres vis-à-vis de la mise en œuvre de cette convention ; tenue à Kyoto en Décembre 1997, un Protocole y a été pour la première fois formulé et les problèmes clés y ont été explicitement cités. Ce Protocole enrichit la Convention en y ajoutant de nouveaux engagements plus rigoureux et détaillés que ceux prédéfinies auparavant.

Le Protocole de Kyoto ne deviendra juridiquement contraignant que lorsqu'au moins 55 pays, dont des pays développés comptant pour au moins 55% de leurs émissions de dioxyde de carbone en 1990, l'auront ratifié (CIEDE, 2003).

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude « le bassin versant de la Volta »

I. Localisation géographique du bassin versant la Volta :

Le bassin versant de la Volta, est un bassin transfrontalier situé à l'Afrique de l'ouest, s'étendant sur une superficie évaluée à 417 000 km².

A peu près 83% de ce bassin s'étale sur les territoires de Burkina Faso et Ghana, alors que le reste, soit 17%, est réparti sur quatre autres pays, à savoir : le Togo, le Bénin, le Mali et la Côte d'Ivoire (figure 2).

Et bien que la part du bassin versant localisée au Togo ne représente que 6,4% de la totalité du bassin, ce dernier mérite beaucoup d'importance puisqu'il représente à peu près 47% du territoire national du pays.

De même, malgré que la superficie représentative du bassin de la Volta au Mali est relativement très faible, celle-ci détient une richesse en ressources naturelles très considérable par rapport à l'aridité du reste du pays.

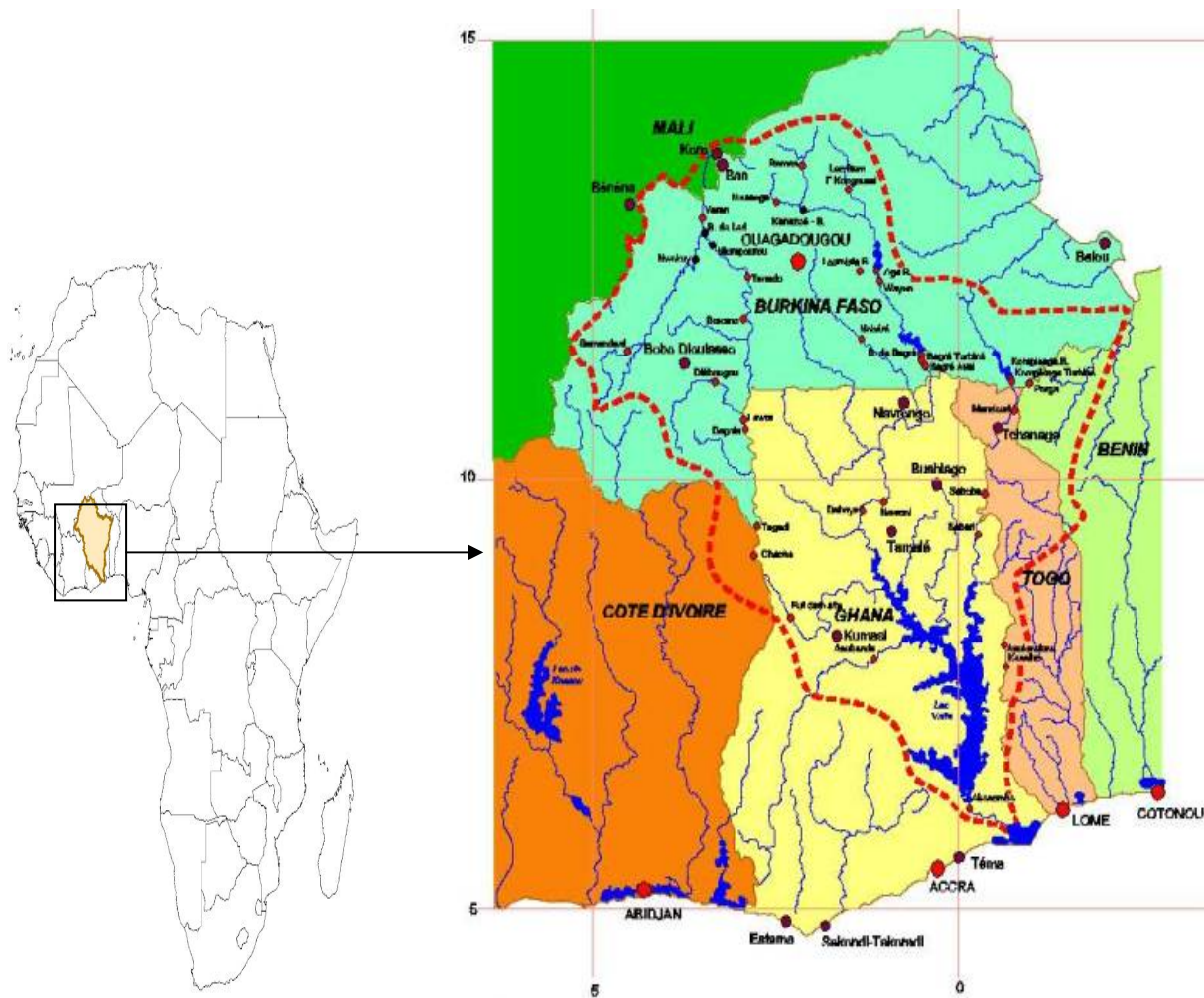


Figure 2: Carte de la localisation géographique du bassin versant de la Volta.

II. Caractéristiques climatiques et hydriques du bassin versant :

Le bassin de la Volta se caractérise par un contraste climatique et pluviométrique très fort entre le nord et le sud. En effet, on observe un gradient climatologique différent, qui passe du sahélien vers l'extrême nord du bassin, avec une pluviométrie moyenne équivalente à 500 mm/an ; se caractérisant aussi par une variabilité temporelle et spatiale très nette ; vers un contexte climatique équatorial vers le sud, caractérisé par une pluviométrie assez importante qui peut atteindre plus que 1400 mm/an distribuée sur deux saisons (figure 3).

L'écoulement des rivières dans un bassin versant s'effectue normalement de la partie amont humide pour alimenter les parties aval du bassin, généralement asséchées et arides.

Mais dans le bassin versant de la Volta c'est le contraire qui se passe, puisque l'amont de ce dernier draine les régions semi-arides, où l'écoulement des rivières est saisonnier, pour alimenter les parties inférieures enrichies progressivement avec les bassins inférieurs (sauf la partie supérieure du Volta Noire, où la rivière ne transmet pas de l'eau pour les parties inférieures).

De plus, à partir des années 70, plusieurs pays de l'ouest africain, ont assisté à un changement climatique considérable ; cette situation a été aggravée par des périodes de sécheresse consécutives qui ont engendré la chute du niveau pluviométrique de 150 mm/an. Ce changement entre deux périodes différentes a créé une accentuation des demandes en eau et de la sécurité en eau. Et donc un risque menaçant sur la productivité agricole et le bien-être de la population (la pauvreté, la sécurité alimentaire...).

Donc, la grande difficulté réside dans le fait de trouver une gestion satisfaisante de l'eau pour les parties asséchées du bassin, afin de soulager la pauvreté, d'améliorer la productivité agricole et de conserver l'environnement.

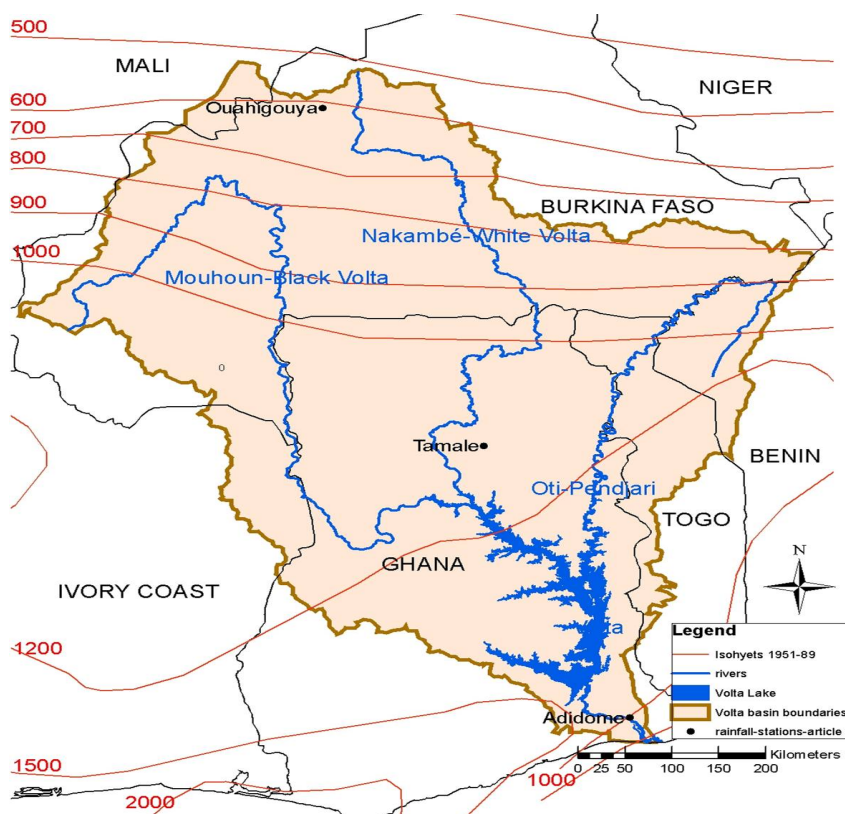


Figure 3: Répartition pluviométrique sur le bassin de la Volta. (IRD)

III. Présentation de la zone d'étude :

Notre zone d'étude va se limiter aux parties du bassin versant, situées sur les territoires du Burkina Faso et du Ghana, vu qu'elles occupent la part la plus importante de ce bassin (83% de la superficie totale du bassin).

III.1. Le Burkina Faso :

III.1.1. Localisation géographique et situation administrative:

Le Burkina Faso tient son ancien nom de Haute Volta aux 3 fleuves qui le traversent : Mouhoun (ex Volta Noire), le Nakambé (ex Volta Blanche) et le Nazinon (ex Volta Rouge).

C'est un pays sahélien continental situé en plein cœur de l'Afrique de l'ouest. Il couvre une superficie de 274 200 km².

Sa frontière terrestre est étendue sur 3192 km. Il n'a pas d'accès sur la mer du fait qu'il est limité par 6 pays ; à savoir : le Mali au Nord, le Niger à l'Est, le Bénin au Sud-est, le Togo et le Ghana au Sud, la Côte d'Ivoire au Sud-Ouest (figure 4).

Le Burkinabé est divisé en 45 provinces et 13 régions administratives.



Figure 4 : localisation de Burkina Faso

(www.fr.wikipedia.org/wiki/burkina_Faso)

III.1.2. Démographie et contexte social

La population du Burkina Faso est estimée à 13 902 972 habitants (2005), avec une densité de l'ordre de 50,7 habitant/km², et un taux de croissance annuel évalué à 3%.

La structure par âge montre une jeunesse de la population avec un âge moyen évalué à 15,5 ans. Le taux de natalité est évalué à 45,62 ‰, contre un indice de fécondation élevé estimé à 6,47 enfants /femme. Par contre, le taux de mortalité est beaucoup moins faible avec 15,6 ‰.

La part de la population urbaine ne constitue que 18,3% de la population totale. Ce qui montre l'importance de la population rurale dans ce pays. Le taux de migration totale, aussi bien interne qu'à l'étranger, affleure 13% du total de la population en 1996.

Le taux d'alphabétisation est égale à 26,6% alors que le nombre moyen passé à l'école est seulement de 4 ans/ habitant. L'accès à l'eau potable n'est possible que pour 51% du total de la population.

La situation sanitaire reste peu satisfaisante au Burkina. Elle a été aggravée par le SIDA, et par la prolifération d'autres types de maladies (le paludisme, les schistosomias, la dracunculose, le choléra...) qui contribuent énormément à l'augmentation des taux de morbidité et de mortalité.

III.1.3. La topographie

C'est un pays très plat, puisque le point le plus culminant de ce territoire est le Tenakourou, qui ne dépasse pas les 747 m à l'ouest. La latitude moyenne est de 400 m, et la majorité du pays est située entre 250 et 350 m de l'altitude.

La platitude et l'uniformité du pays n'excluent pas quelques variations locales. En effet, on peut distinguer deux grands domaines topographiques (2 paysages):

- Une immense pénélaine façonnée dans le massif précambrien, s'étend sur les $\frac{3}{4}$ du pays et formant un relief très largement vallonné avec par endroit quelques collines isolées.

- Et un massif gréseux qui occupe le sud ouest du pays. Il représente la partie la plus élevée et la plus accidentée du Burkina Faso, avec un culminant « le Ténakourou ». Le socle environnant est dominé par une couverture sédimentaire de grés et des falaises.

III.1.4. Le climat

Le Burkina Faso possède un climat intertropical à caractère soudano-sahélien, avec deux saisons contrastées et de longueur inégale : une saison des pluies, qui dure 4 mois (mi-juin à septembre) au nord et 6 mois au sud (mi-avril à mi-octobre), avec des précipitations comprises entre 300 et 1200 mm/an, et une saison sèche durant laquelle souffle l'harmattan, un vent chaud et sec originaire des hautes pressions sahariennes.

3 grandes zones climatiques peuvent être distinguées :

- Zone sahélienne au nord du pays (avec pointe désertique): elle représente 25% de la surface totale du pays, et elle reçoit en moyenne 400 à 600 mm/an de pluies, avec des températures assez élevées variables de 15 à 45°C.

- Zone soudano-sahélienne : la plus vaste région climatique de Burkina, ayant des températures et des pluies intermédiaires, avec une saison pluvieuse de 4 à 5 mois.

- Zone soudanienne : au sud du pays avec plus de 900 mm /an et des températures moyennes relativement basses. La saison des pluies dure 6 mois avec des maxima qui peuvent atteindre 1300 mm/an.

Les précipitations sur tout le Burkina sont très variables d'une année à une autre, et au cours de la même saison d'une zone à une autre. Depuis une vingtaine d'années, on observe une période de sécheresse avec translation des isohyètes vers le sud.

Les amplitudes journalières et annuelles des températures augmentent du Sud vers le Nord, et l'évapotranspiration est élevée, elle varie entre 1 854 mm/an au Sud et 2 225 mm/an au Nord. C'est un dégradé de ce qu'on peut trouver en Afrique, et qui évolue d'une zone désertique vers l'extrême nord, qui se transforme graduellement en savane vers le sud.

III.1.5. Hydrographie et ressources en eau

Le Burkina Faso se caractérise par un réseau hydrographique assez développé qui s'organise en trois bassins principaux, qui globalement drainent annuellement environ 8 milliards de m³.

- **Le Bassin de la Volta** : le plus important des bassins, il s'étend au centre et à l'ouest du pays sur une superficie de 178 000 km². Il est constitué par des sous bassins majeurs suivants:

- Mouhoun (ex volta noire): Seul cours d'eau permanent avec un bassin versant de 92 000 km², prend sa source sur le versant du nord dans une région où les précipitations dépassent 1 000 mm/ an. Il coule d'abord vers le nord-est puis s'infléchit brusquement vers le sud. Il parcourt le pays sur une distance d'environ 860 km.

-Nakambé (ex volta blanche): Il prend sa source à l'est de Ouahigouya, dans une région qui reçoit 500 à 600 mm d'eau par an. Il draine un bassin versant de 50 000 km². Il draine toute la partie centrale et le nord du plateau central et ne coule que pendant la saison des pluies.

- Nazinon (ex volta rouge): Lui et son principal affluent la Sissili, drainent la partie sud-ouest du plateau central avec un bassin versant de 20 000 km². Leur régime hydrologique est très voisin de celui du Nakambé.

-la Pendjari : qui forme la frontière sud-est du Burkina avec le Bénin, reçoit en rive droite trois affluents dont les bassins versants totalisent 21 600 km².

Les eaux de ses bassins se rejoignent au centre de Ghana, où elles forment le lac Volta. Ce bassin draine annuellement vers le Ghana 5,2 milliards de m³ d'eau.

- **Le bassin de la Comoé**: d'une superficie de 18 000 km², il draine l'extrémité sud-ouest (zone la plus arrosée avec 1000 à 1300 mm/an) du pays. Il prend sa source au Burkina mais l'essentiel du parcours se situe en Côte d'Ivoire. Le volume annuel drainé par la Comoé est de 1,3 milliards de m³.

- **Le bassin du Niger** : Il draine le nord-est et l'est du pays avec une superficie de 72 000 km². Il comprend un grand nombre de petits cours d'eau à écoulement temporaire. En année de pluviométrie normale, ce bassin draine un volume de 1,5 milliard de m³ d'eau. Sur cet ensemble hydrographique, il a été construit une multitude de retenues d'eau, dont la capacité de stockage est estimée à 6,2 milliards de m³.

En dehors du réseau hydrographique, il existe des bassins fermés qui alimentent de nombreuses grandes mares ou lacs naturels.

D'après l'état des lieux des ressources en eaux, réalisé en 2001 par le ministère de l'environnement, il s'est avéré qu'il n'existe pratiquement aucune ressource souterraine renouvelable à Burkina Faso, à cause des fluctuations des aquifères depuis une vingtaine d'années.

III.1.6. Economie et agriculture

Le Burkina Faso est considéré comme l'un des pays les plus pauvres du monde; Presque la moitié de la population vit en dessous du seuil de la pauvreté, principalement à cause de l'aridité de la région et la faiblesse des ressources naturelles. En effet, le produit intérieur brute (PIB), a été évalué en 2003 à 314\$ / habitant/an, qui demeure très faible malgré la hausse de 4% de sa valeur durant les 5 dernières années.

Les secteurs productifs du pays sont : le secteur primaire qui conserve son rôle de locomotive de l'économie (environ 40% du PIB en 2003), et surtout de l'emploi puisqu'il fait travailler 86% de la population. Le secteur secondaire, qui contribue pour 18% à la création de richesse, est peu développé. Enfin, les services contribuent à 42% du PIB, grâce à la dynamique du commerce (*Atlas de l'Afrique, 2005*).

La production agricole, qui contribue à 80% des exportations, est formée principalement par les céréales (mil, sorgho, maïs et le riz) qui occupent presque 83% des surfaces cultivées, et qui ont une production moyenne de 3 millions de tonnes. Le sorgho étant la principale production suivie, du mil puis du maïs, alors que la production du riz, a connu une évolution remarquable ces dernières décennies à cause de la croissance de la demande en ce produit qui commence à prendre place dans l'habitude alimentaire de la population. Toutefois, le pays représente le premier producteur du coton au sud du Sahara, principalement dédié à l'exportation. 87% des exploitations agricoles du pays, sont de type familiaux vivriers généralement céréaliers marqués par une faible productivité.

L'aide internationale contribue également pour une grande part de l'économie du pays.

III.1.7 Les Sols et occupation des terres

Le territoire de Burkina Faso présente une grande variabilité pédologie, on distingue :

-Les sols ferrugineux tropicaux : couvrent plus de la moitié du territoire, ils ont une forte rétention de l'eau et pauvre chimiquement - les sols sodiques ou halomorphes à structure dégradée : présents dans la zone sahélienne et quasiment incultes - les sols minéraux bruts ou lithosols dépourvus d'activités biologiques et de matière organique. - les sols peu évolués d'érosion, sur matériaux gravillonnaires : peu profonds et peu fertiles, ces sols sont en grande partie inaptes pour l'agriculture - les vertisols : forte rétention en eau et fertilité potentielle élevée mais difficile à travailler. - les sols hydromorphes occupant les grandes plaines du sud-ouest, potentialité chimique moyenne et propriété physique parfois défavorables.- sols ferrallitiques : très peu présents, acides avec des propriétés chimiques faibles.- sols bruns eutrophes tropicaux : ayant des caractéristiques physiques meilleurs que les vertisols avec des bonnes qualités chimiques. Ils représentent les meilleurs sols du pays.

32 % du territoire du Burkinaabé, sont des terres cultivables, dont environ 30% sont actuellement cultivés. Tandis que 47 % du territoire servent de pâturage et de parcours pour cheptel. Les forêts couvrent 13 % du territoire, et le reste (soit 8 %) est utilisé à d'autres fins.

III.2. Le Ghana

III.2.1. Localisation géographique et répartition administrative

La république du Ghana est un État anglophone (239 460 km²) de l'Afrique occidentale, baigné au sud par le golfe de Guinée (dans l'océan Atlantique) et partage des frontières avec trois pays francophones : la Côte d'Ivoire à l'ouest, le Burkina Faso au nord, le Togo à l'est. Ses frontières terrestres sont estimées à 2093 km et le littoral à 539 km (figure 5).

Le Ghana se divise en 10 régions administratives décentralisées, elles-mêmes subdivisées en districts (183 au total).

L'ancien nom du Ghana, Cote d'Or, vient des très nombreuses mines d'or du pays.



Figure 5 : Carte de localisation du Ghana.

(www.fr.wikipedia.org/wiki/lac_volta)

III.2.2. Démographie et contexte social

La population du Ghana est estimée à 22 112 800 habitants (2005), avec une densité de l'ordre de 93,6 habitant/km², et un taux de croissance annuel évalué à 2,07%.

La population étant jeune, avec un âge moyen de 19,9 ans. Le taux de natalité dans ce pays est de l'ordre de 30,52 ‰, avec un indice de fécondation estimé à 3,99 enfants /femme. Par contre, le taux de mortalité est beaucoup moins faible avec 9,72 ‰.

La part de la population urbaine constitue 46 % de la population total. Le taux d'alphabétisation est égale à 74,8%, alors que le nombre moyen passé à l'école est de 7 ans/ habitant. L'accès à l'eau potable est permis pour 73% de la population totale.

III.2.3. Topographie :

C'est un pays de plateaux, peu élevé avec des pentes inférieures à 1%. L'altitude du relief au Ghana varié de 0m (niveau de la mer) à 880m (la montagne Afadjato appartenant à la chaîne du l'Akwapim-togo).

Cinq régions de reliefs différents peuvent être distinguées :

- Les basses plaines dans la partie méridionale du pays.
- Les montagnes d'Ashanti : bordées par la Côte d'Ivoire vers l'ouest et du bassin de la Volta vers l'est.
- La chaîne montagneuse Akwapim-Togo vers l'Est : cette chaîne commence à l'ouest d'Accra et continue vers la direction Nord Est pour franchir les frontières du Togo.
- Le bassin de la Volta qui occupe le centre du pays, qui couvre 45% de sa superficie totale et généralement caractérisé par des sols pauvres.
- Les hautes plaines situées vers le Nord et le Nord Ouest du pays : en dehors du bassin de la Volta, elles sont composées de plateaux déssiqués avec des sols plus arables que ceux du bassin.

III.2.4. Le climat

Le Ghana se caractérise par un climat humide avec une pluviométrie moyenne de l'ordre de 1187 mm/an et d'une température moyenne variable, de 26,1°C au littoral à 28,9°C vers le l'extrême nord du pays, les plus chaudes valeurs de cette température sont senties en mars alors que les plus basses sont enregistrées en août. L'évapotranspiration annuelle varie de 1350 mm vers le sud à 2000 mm au nord, cette variabilité est due surtout à la disponibilité en eau, à la couverture des sols et aux conditions climatiques.

Le pays est constitué de denses forêts tropicales au sud et de la savane au nord. Le climat tropical est extrêmement pluvieux, surtout en été.

En effet, on peut distinguer deux régimes climatiques sur ce même territoire :

- Un climat tropical vers le nord du pays, avec une précipitation annuelle équivalente à 1250 mm, répartie sur une saison pluviale allant d'avril à octobre.
- Un climat équatorial au sud, avec deux saisons de pluies : d'avril à juin et de septembre à novembre, enregistrant des précipitations allant de 1015 mm et pouvant atteindre les 2100 mm dans le sud –est du pays. L'harmattan, un vent sec du désert, souffle à partir de décembre à mars, abaissant ainsi l'humidité de l'atmosphère et créant des jours chauds avec des nuits fraîches dans le nord. Par contre, dans le sud, l'effet de l'harmattan n'est senti qu'en janvier.

III.2.5. Hydrographie et ressources en eau

La Volta noire et la Volta blanche, qui arrosent les savanes vallonnées du Nord-Est du pays, ainsi que les rivières d'Oti et Daka, se rejoignent au Ghana pour former le lac Volta, qui représente le plus grand lac artificiel du monde, et qui constitue un réservoir d'eau douce située à 85 mètres d'altitude et couvrant une superficie de 8502 km².

Ce lac s'étend à partir du barrage Akosombo, au Sud Est du Ghana, jusqu'à la ville de Yapei à 520km au nord.

Suite à la construction de ce barrage, en 1965, près de 78000 personnes se sont déplacées vers cette zone, étant donné qu'elle présente une source de production d'énergie hydro électrique, ainsi que l'approvisionnement des quantités considérables en eau pour l'irrigation et la pisciculture et permet aussi le transport fluvial.

Actuellement ce lac rencontre un véritable problème dû à la baisse de son niveau en raison de la sécheresse qui est observée en amont.

III.2.6. Economie et agriculture

L'agriculture est le secteur économique le plus important au Ghana, occupant plus que la moitié de la population active (66,2%), et contribuant à plus de 36% au PIB et des exportations.

Le Ghana est un pays riche en matière première, et produit une variété de récoltes dans diverses zones climatiques qui s'étendent de la savane sèche à la forêt humide. C'est l'un des premiers producteurs mondiaux de cacao (736000 tonnes en 2004), de l'or, du bois de construction, et du diamant qui représentent les ressources principales de devises étrangères. D'autres types de productions agricoles tels que le café, le coton, la noix de cajou, l'ananas... sont destinés aussi à l'exportation. L'importation du pays est focalisée surtout sur les matières premières, les biens d'équipement, le pétrole et les produits alimentaires.

Les productions destinées à la consommation locale comprennent la banane plantain, le riz, les cacahuètes, le millet, le manioc, ou encore le sorgho. L'élevage de volaille et la pêche complètent également les ressources alimentaires (www.fr.wikipedia.org/wiki/lac_volta).

Le sorgho et le maïs représentent les principales cultures vivrières. L'agriculture familiale prédomine, bien qu'un certain nombre de grandes plantations existent. Plus de 60% des exploitations cultivent moins de 2 ha et plus de 80% moins de 4 ha. (*Jannot and Kalms, 2003*)

Le secteur industriel du Ghana est un secteur relativement développé, par rapport aux autres pays d'Afrique, mais avec des unités de fabrication généralement de petite taille. En plus, le Ghana dispose d'une autre source économique relative à la production de quantité importante d'électricité, procurée par le lac Volta, et qui est exportée dans les pays voisins.

Malgré la richesse en ressources naturelles de ce pays et la variabilité de ces productions à l'échelle nationale et internationale, le Ghana doit faire face à un chômage persistant (20% de la population active) et à la pauvreté qui touche près de 45 % des Ghanéens qui vivent au-dessous du seuil de pauvreté, à cause de ces dettes qui entravent son développement et qui le laissent très dépendant de l'aide financière internationale

III.2.7. Occupation des terres

Le Ghana a une superficie de 238 537 Km², dont 230 020 de terres exondées occupées par : 12% de terres arables, 7% de cultures pérennes, 22% de pâturages permanentes, 35% de forêts et régions boisées et 24% des terres pour d'autres usages.

IV. Les cultures pluviales à l'échelle de notre bassin versant

Les cultures pluviales les plus visées dans notre étude se limitent particulièrement au mil, sorgho et maïs. Puisqu'elles présentent la part des plantes céréalières les plus cultivées dans les pays de l'Afrique de l'ouest et plus spécifiquement dans le bassin versant de la Volta. A cette fin, nous allons essayer de présenter dans cette partie quelques caractéristiques de ces cultures pluviales.

IV.1. Le Mil

Le mil ou millet est une graminée sauvage qu'on trouve, principalement dans les zones tempérées ou tropicales où la saison des pluies est brève. Notamment, en Afrique et en Asie. Ce genre de céréales vivrières à très petites graines, préfère les sols sableux, profonds, aérés, peu compact, et bien drainé. Une

pluviométrie de 350 mm/an, bien répartie sur 75 jours au minimum peut assurer une récolte satisfaisante du mil. C'est un aliment énergétique nutritif ayant une qualité, qui se compare à celle du blé ou du maïs. On l'utilise pour faire de la bouillie et des couscous, des boissons (bière après fermentation), des gâteaux et des galettes.

Le cycle de la culture du mil peut durer 75 à 120 jours selon les variétés. Et le semis se fait généralement après une première pluie d'une vingtaine de millimètres au minimum. L'épiaison se situe normalement entre fin Août - début septembre, quand la durée du jour arrive à un certain nombre d'heures bien déterminées (photopériodique).

Le potentiel de production du mil est inférieur à celui du sorgho ou du maïs. Mais il se caractérise par une capacité de résistance et d'adaptation plus grande quant à la baisse des précipitations. Son seul défaut consiste à sa sensibilité aux excès d'eau. Dans ce type de situation, on préférera cultiver le sorgho.

Il existe cependant de nombreuses espèces de millets appartenant à plusieurs genres différents. Généralement quand on parle de « mil » sans autre précision, il s'agit du Millet perle, (*Pennisetum glaucum*), qui est le plus cultivé de toutes les espèces de millet (environ 50% des surfaces. Le « gros mil » désigne une autre céréale, le Sorgho (www.wikipedia.org).

IV.2. Le Sorgho

Le sorgho est une plante herbacée annuelle, d'origine Africaine (Ethiopie), qui se développe dans les régions chaudes et tempérées. Elle possède un système racinaire profond, lui permettant de résister à la sécheresse. Le sorgho est utilisé pour la consommation humaine, animale, production de sucre ou comme alcool.

Il est généralement cultivé dans les bas-fonds, et préfère les sols sablo-argileux, argilo-sableux et argileux, bien pourvus en fertilisant et en eau durant la saison des pluies.

La date de semis du sorgho se fait généralement entre fin mai début juin, surtout pour les variétés des bas-fonds de 120 jours. Par contre, ceux précoces (90 j) peuvent être semés jusqu'à mi-juillet. Cette culture se caractérise par une récolte facile et rapide donnant un très bon niveau de rendements. Elle répond bien à la fumure minérale et organique quand il n'y a pas d'engorgement d'eau. Elle est considérée parmi les plantes résistantes aux excès d'eau.

IV.3. Le maïs

Le maïs est une plante tropicale herbacée annuelle, originaire de l'Amérique centrale. Son introduction en Afrique a été l'œuvre des Egyptiens en 1540, suivis par les Portugais qui la transplantent dans la région du golfe de Guinée en 1550.

De taille variable de 40 cm à 10 m, cette culture est largement cultivée soit comme céréales pour ces grains riches en amidon (63%), soit comme plante fourragère.

Généralement, on sème le maïs en avril-mai, et il fleurit en juillet-août ; les grains atteignent la maturité en octobre– novembre ; et la récolte a lieu lorsque les épis ont perdu leur couleur verte.

Le maïs nécessite une température minimale de 10° C pour la germination, et 18° C pour la floraison. Il se caractérise par une facilité de culture et une importance des rendements, qui sont fonction de la satisfaction de ses besoins en eau, précisément dans les deux semaines précédant et suivant la floraison, il dépend aussi des changements climatiques et agronomiques (densité, préfère les sols profonds et riches...).

Il est utilisé soit pour l'alimentation animale (fourrage, ensilage...), soit pour l'alimentation humaine (graines entières, farine, bouillies, couscous, galettes, boisson alcoolisés, sous forme de légume, huile ...) surtout en Afrique et en Amérique latine, ou encore dans l'industrie agro-alimentaire (brasserie, biscuiterie...), et notamment comme produits de l'industrie pharmaceutique, cosmétique, plastique biodégradable et comme biocarburant (éthanol).

IV.4. Production du mil, sorgho et maïs dans Burkina Faso et Ghana

Dans les pays de l'Afrique de l'ouest, le mil constitue une culture vivrière extensive, pratiquée sans irrigation, ni engrais, et présente une production importante pour la sécurité alimentaire. Plus de 95% de la production mondiale du mil, provient essentiellement de l'Afrique et de l'Asie.

Le sorgho est considéré comme la deuxième céréale cultivée après le mil, surtout au Sahel. La très grande majorité des surfaces semées en sorgho se trouvent en Afrique et en Asie.

Quant au maïs, il est considéré en Afrique sub-saharienne comme une culture traditionnelle, vivrière, manuelle. C'est la culture la plus cultivée à l'échelle mondiale.

-La production de ces trois cultures pluviales au Burkina Faso, peut être résumée dans le tableau 1, qui présente la production céréalière au cours des deux campagnes 2004-2005, 2003-2004 et la moyenne des cinq dernières années précédant 2003. Ce tableau montre une prépondérance de la production du sorgho suivi par le mil et enfin celle du maïs.

Tableau 1 : Productions céréalières prévisionnelles 2004/05 à Burkina Faso, comparées à celles de 2003/04 et à la moyenne des cinq dernières années (en tonnes)

| Production | mil | sorgho | maïs |
|---|-----------|-----------|---------|
| 2004/05 | 880 912 | 1 481 212 | 594 580 |
| 2003/04 | 1 184 283 | 1 610 255 | 665 508 |
| Moyenne 1999 à 2003 | 971 720 | 1 309 963 | 563 465 |
| Pourcentage (2003/04) | -26% | -8% | -11% |
| Pourcentage (2004/moyenne 1999-2003) | -9% | +13% | +6% |

(FAO, 2005)

La comparaison entre la production du mil, sorgho et maïs pendant la campagne 2004/05 et celle de 2003/2004, montre une diminution respective de 26%, 8% et 11%. Par contre, si on compare cette même production (2004/05) avec la moyenne des années (1999-2003), on enregistre une baisse de rendement uniquement pour le mil de 9%, contre une évolution du sorgho et du maïs, avec respectivement 13% et 6%.

- Pour le Ghana, et en se référant à la figure 6, qui représente la production totale des céréales en 2000 et 2001, y est compris, le mil, le sorgho et le maïs ; on peut remarquer que ce dernier représente la production la plus importante à l'échelle nationale, suivie par le sorgho. Alors que le mil est parmi les céréales les moins cultivées.

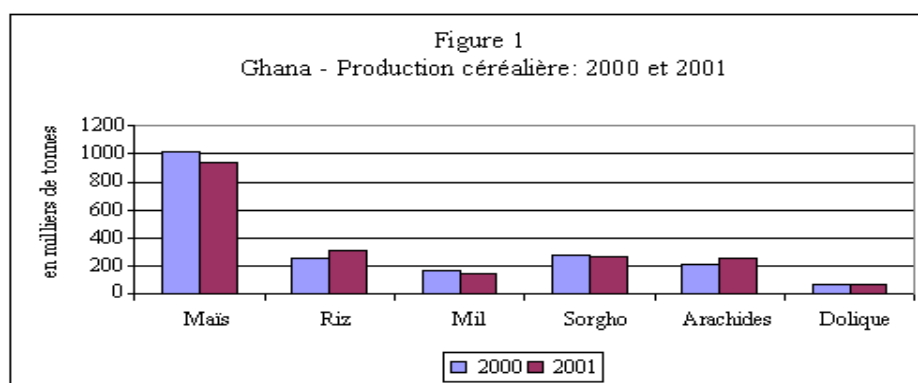


Figure 6 : Production céréalière au Ghana en 2000 et 2001. (FAO, 2002)

Chapitre 3. Problématique et objectifs du travail

I. Problématique et Objectifs

Le bassin versant de la Volta est un bassin transfrontalier, qui s'étend sur 6 pays de l'Afrique de l'ouest, dont les plus importants sont le Burkina Faso et le Ghana, qui occupent 83% de la superficie totale du bassin, ce dernier se caractérise par un régime pluviométrique très hétérogène à l'échelle spatiale et temporelle, avec un gradient pluviométrique qui varie d'un climat sahélien au Nord, à un climat tropical vers le sud, et il est doté d'une distribution journalière et interannuelle très variable.

Cette hétérogénéité s'est aggravée avec les séries de sécheresse qui ont affecté l'ouest Africain à partir des années 70, et qui ont été manifestées par une forte baisse de la pluviosité, une plus grande incertitude vis-à-vis la répartition de celle-ci dans l'espace et dans le temps, et la chute des débits des fleuves.

En général, la variation et le changement climatique ne seront que des thèmes pour le futur, mais depuis ces trois dernières décennies, on assiste à un déplacement des isohyètes (*annexe 2*) de 200 km vers le sud dans l'ouest africain, accompagné d'une baisse moyenne de 150 mm/an des précipitations, aggravant ainsi la situation déjà déficitaire surtout vers le nord du bassin.

Ces épisodes secs ont contribué à l'accélération du processus de désertification, par des crises de grandes ampleurs dans la production agricole (surtout céréalières) qui se trouve face à un double défi : répondre à la croissance des besoins alimentaires et assurer des revenus et donc des emplois pour réduire l'exode rural vers les villes de la population rurale, qui constitue à peu près 14 millions d'un total de 19 millions de personnes habitant le bassin, dont 30 à 50% souffrent de la pauvreté.

D'ailleurs, l'agriculture est le principal secteur de l'activité économique du bassin versant, et qui reste focalisé surtout autour des exploitations familiales et les cultures pluviales. La structuration de ce système agricole se différencie en allant du nord du bassin, avec un système agro pastoral (mil, sorgho...), qui évolue progressivement vers un système agricole maïs, manioc et plantain vers le sud.

La capacité d'ajustement face à ces conditions climatiques défavorables, qui ont aggravé la situation socio-économique de cette population déjà fragilisée, diffère fortement entre l'amont et l'aval du bassin, puisque ces deux régions ne présentent pas le même degré de vulnérabilité au risque climatique qui s'accroît du sud au nord.

En effet, au nord, on assiste à des problèmes de pluviométrie variable et occasionnelle, à des famines, à des sols pauvres, à la compétition entre utilisation domestique et besoin des cultures en eau, à la pauvreté et à une multitude de maladies dangereuses.

Par contre au sud, l'eau est moins limitée, avec notamment la construction du lac Volta. En plus, on assiste à une autre forme de compétition entre production électrique et la disponibilité de l'eau pour l'agriculture, s'ajoutant à tout cela l'existence d'une solution prometteuse pour alléger la pauvreté qui est représentée par la pêche.

C'est pour cela qu'au nord on assiste à l'implantation de nouvelles techniques de conservation de l'eau et du sol, et à la construction des réservoirs pour la gestion de l'utilisation domestique et agricole de l'eau.

Par ailleurs, compte tenu de ces atouts et de toutes ces contraintes, essentiellement liées au réchauffement climatique, la question principale qui se pose est :

Quelle serait la capacité des agriculteurs du bassin versant de la Volta, à résister et à s'adapter aux changements climatiques actuels et futurs afin de maintenir et d'améliorer leurs systèmes de production, et d'alléger les problèmes socioéconomiques et alimentaires qui en découlent ?

De cette question principale, on peut déduire d'autres questions qui permettent de mieux cerner la problématique:

-Quel est le degré de vulnérabilité de l'agriculture pluviale au risque de sécheresse sur le bassin versant de la Volta?

-Quels sont les moyens et les stratégies d'adaptation et d'ajustements préconisés par les agriculteurs pour maintenir leurs rendements agricoles face aux changements climatiques ?

-Quel est l'effet de la dégradation des systèmes de productions pluviales sur la rentabilité économique des agriculteurs ?

II. Commande du stage

Dans cette optique, l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) de Montpellier, a lancé un appel d'offre de stage qui se rapporte à l'étude de l'agriculture pluviale dans le bassin de la Volta à l'Afrique de l'Ouest, et à l'analyse de l'impact de la variabilité des pluies à court et moyen terme sur les rendements et la gestion des exploitations agricoles dans cette zone.

En effet, l'IRD, organisme avec lequel je fais mon stage, fait partie du projet « Basin Focal Project Volta », qui lui-même est dirigé par le Challenge Programme of Water and Food (CPWF). Ce dernier est un programme international- multi institutionnel, focalisé sur l'amélioration autour de 3 axes pilotes: la sécurité alimentaire, la réduction de la pauvreté et l'amélioration de la santé et la sécurité environnementale; il est dirigé par 19 instituts internationaux (dont l'IRD), en plus de 150 partenaires dans le monde. Le CPWF finance environ 30 projets de recherche sur 9 bassins versants.

Le stage s'inscrit dans le cadre du « Basin Focal Project Volta ». C'est un projet stratégique qui vise la réalisation d'analyses détaillées du bassin autour des thèmes : L'analyse de la pauvreté, la disponibilité, l'utilisation et la gestion de l'eau, et enfin l'analyse des systèmes de productions agricoles et leurs interrelations, afin d'en dégager des axes de recherches prioritaires et des stratégies de développement prometteuses à l'échelle du bassin.

Les principaux objectifs du stage peuvent être résumés en :

- Etude de la vulnérabilité des agriculteurs au risque de sécheresse sur la Volta, en cherchant à comprendre le risque agricole (rendement) dans le contexte pluviométrique actuel, ainsi que son évolution dans des scénarios de changements climatiques.

-Tester la sensibilité de certaines cultures pluviales et évaluer leurs repenses à certains changements.

-Evaluer l'impact des ajustements préconisés par la population (stockage, apport extérieur, production de rentes...) en vue de s'adapter aux conditions variables du milieu.

III. Démarche générale et hypothèses de travail

1. **Construction d'une base de données** : la première phase préparatoire d'un projet est la recherche de données, qui vise à rassembler au maximum les informations liées au sujet, et à élaborer une base de données nécessaire pour le travail à réaliser. Pour cela, nous avons utilisé les données des enquêtes permanentes agricoles (EPA 1993-2004) du ministère de l'agriculture burkinabé, et du GLSS (Ghana Living Standard Survey (1998)) en plus des statistiques agricoles des différents pays de l'Afrique de l'Ouest (1992-2000) et les données de la FAO.

2. **Typologie des exploitations agricoles (Ghana)** : grâce à l'analyse en composante principale (ACP), et par faute de manque de données sur les exploitations de Burkina Faso, nous avons fait une typologie que des exploitations agricoles du Ghana. Cette dernière vise à réduire le nombre d'exploitation, étant très élevé au départ, à un système plus petit de classes et de sous classes. Pour chacun de ces groupes, nous avons choisi des exploitations types qui représentent au mieux, par ces caractéristiques, l'ensemble des exploitations qui appartiennent au même groupe.

3. **Analyse socio-économique et moyens d'ajustements** : dans cette partie, nous avons essayé de détailler la dynamique du fonctionnement des exploitations agricoles au niveau du bassin versant, et les

différentes solutions d'adaptations et d'ajustements qui ont été utilisées par les agriculteurs pluvieux en vue de se prémunir contre les risques de sécheresse, de variabilité pluviométriques et de manque des ressources alimentaires.

Dans ce contexte, la fonction de stockage (silots ou sur pieds), constitue une solution d'ajustement pluriannuelle très importante dans des conditions défavorables de coexistence. Aussi, la possibilité d'avoir d'autres sources d'approvisionnement monétaire (productions de rentes et/ou apport extérieur des migrants...), représente une alternative importante parmi celles les plus observées dans cette zone d'étude.

L'ensemble de cette analyse sera illustrée dans un premier temps sous forme d'une représentation graphique (GRAFCET), pour être, dans un deuxième temps, transférée sous forme d'un petit modèle de calcul sur excel.

4. ***Simulation des scénarios de changements climatiques :*** Une fois que le modèle de calcul est mis en place, nous avons essayé d'analyser l'impact sur les rendements des exploitations types, d'une variabilité des pluies interannuelles (sur une période de 30 ans).

L'analyse de l'évolution de la vulnérabilité des productions pluviales, face au changement climatiques, a été menée sur trois séries de 10 ans (de 1950 à 1980), à travers lesquelles on pourra, dans un premier temps, observer l'impact de la variabilité, en quantité et en fréquence des pluies, sur le fonctionnement économique et social des exploitations agricoles, ainsi que leur degré de résistance face au risque du changement, et dans un deuxième temps de comparer le comportement et le degré de vulnérabilité des différentes exploitations selon leur variabilité spatiale entre nord et sud du bassin versant de la Volta.

Toutes les étapes de cette démarche seront détaillées dans la suite du rapport.

A travers cette méthodologie, et pour donner des réponses aux questions précédentes, nous avons essayé de proposer des hypothèses de travail qui devront être validées ou invalidées. Ces hypothèses sont les suivantes :

Hypothèse 1 :

L'augmentation des réserves alimentaires (stock végétal), et la meilleure gestion du stock sur pieds, peuvent devenir des fonctions d'ajustement et d'adaptation pluriannuelles, indispensables pour la durabilité de ces systèmes de production, dans des conditions défavorables de changements climatiques.

Hypothèse 2 :

Les moyens d'ajustements généralement utilisées par les agriculteurs pluvieux ; à savoir : le stockage et/ou les apports extérieur ; ne permettront pas de compenser totalement l'accroissement de la vulnérabilité des cultures pluviales, ni d'améliorer complètement leurs capacités de résister et de se maintenir face aux changements climatiques

Hypothèse 3 :

Face à des scénarios de risques de sécheresse très sévères, qui augmentent de plus en plus la vulnérabilité des cultures pluviales, la mise en place et la généralisation d'autres techniques d'ajustements, tels que des réservoirs d'eau, changement des techniques et des pratiques agricoles..., deviennent nécessaires pour subvenir aux besoins (domestique et agricole), surtout durant les périodes de soudures.

Partie II

Matériels Et Méthodes

Chapitre 1 : Choix des outils de travail

Notre objectif étant d'analyser la vulnérabilité des agriculteurs pluviaux dans le bassin versant de la Volta (Afrique de l'Ouest), face à un changement climatique de plus en plus prononcé et un risque de sécheresse qui se confirme de jour en jour au niveau de cette zone.

Dans cette optique, nous nous sommes focalisés au départ sur l'utilisation de modèles biophysiques, afin de pouvoir simuler le comportement et les moyens d'adaptation des agriculteurs face à un tel changement, en proposant des scénarios pour simuler dans un premier temps l'impact sur les rendements d'une variabilité des pluies interannuelles, et dans un deuxième temps les effets des moyens d'adaptation.

En effet, en vue de se prémunir contre les changements climatiques, une multitude de solutions d'ajustements ont été adoptées par les agriculteurs, afin d'essayer de compenser les risques de fragilisations de leurs systèmes de production. Pour mieux appréhender l'impact de ces solutions sur la variation de la vulnérabilité, on s'est proposé de simuler, à l'aide de modèles d'aide à la décision biophysiques, des scénarios de changements des techniques agricoles (tels que : varier la date de semis, choix variétal...) dans différents cas de variabilité climatique, pour mieux visualiser si cette forme d'adaptation permettra d'améliorer la capacité de résistance des cultures. Ou encore d'étudier la fonction de stockage (silos ou sur pieds), comme étant une solution d'ajustement pluriannuelle dans des conditions défavorables; ainsi que la possibilité de création des réservoirs d'eau qui serviront à l'irrigation complémentaire en cas de besoin.

Les modèles qui ont été choisis pour ces fins sont DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) et ecotrop-sarrah, qui sont des systèmes interactifs d'aide à la décision qui simulent les croissances à temps finies, et ils donnent des simulations à pas de temps journalier, pour plusieurs cultures, sur plusieurs années, des propriétés hydrauliques, chimiques et organiques du sol, des possibilités extrêmement variées de management, et de nombreux outils d'analyse et de génération de données climatiques.

La vulnérabilité des cultures, exprimée par leur capacité à produire (rendements), peut être ainsi déterminer au cours de chaque étape de notre travail, permettant ainsi de comparer cette dernière avec l'état initial, et donc faciliter la prise de décision quant au choix des moyens d'ajustements, l'émergence de nouvelles solutions et la cohérence entre différentes formes d'adaptations.

Sauf que, suite à plusieurs tests réalisés avec ces deux modèles biophysiques d'aide à la décision, on s'est aperçu de la non fiabilité de ces outils puisqu'ils intègrent chacun de leur côté, un ensemble de problèmes, qui nous ont poussé à les délaissés vu que leur utilisation sera sans intérêt pour notre projet de travail.

La première série de tests était appliquée sur le modèle Ecotrop-Sarrah du CIRAD, et qui malgré sa simplicité, son bon fonctionnement, et la présence d'une base de données météorologiques assez importante sur une trentaine d'années sur le Burkina Faso. Ce dernier présente un ensemble d'inconvénients qui témoignent de la non fiabilité de ce modèle vis-à-vis nos buts d'études, puisqu'il ne présente pas de modèle de simulation automatique de la date de semis, ni de la gestion des fertilisants, donc il ne conviendra pas à notre démarche d'étude qui prendra en considération ces facteurs.

La deuxième série de tests était donc focalisée sur l'utilisation du modèle DSSAT qui se caractérise par une base de données très importante et très complète, en plus de la présence de toutes les fonctions nécessaires pour notre étude. Mais l'inconvénient majeur de ce modèle réside dans le fait de donner des résultats incohérents surtout concernant la teneur en eau du sol, qui s'avère toujours positive et quelquefois très importante même après des périodes de sécheresse très prolongées. Les résultats obtenus par ce modèle sont assez contradictoires puisqu'on assiste quelquefois à une évolution opposée entre rendements et quantité d'eau, ce qui montre que le modèle ne tourne pas convenablement.

Suite à ces propos, nous avons décidé de changer d'orientation de travail et de suivre un autre cheminement qui se base sur l'utilisation d'un autre ensemble d'outils, à savoir :

- Traitement de la base de données avec Excel.
- Typologie des exploitations agricoles avec un système d'analyse des données (SPAD).
- Analyse du fonctionnement économique des différentes exploitations agricoles, par le biais d'une représentation graphique (GRAF CET) qui résume le comportement et les solutions socio-économiques utilisées par les agriculteurs pour subvenir aux besoins.
- L'ensemble sera transféré par la suite sous forme d'un modèle simple de calcul sur Excel, capable de simuler le comportement des exploitations types, face à des changements climatiques sur N années d'étude. Eventuellement, ça va nous permettre aussi, de juger la variabilité spatiale de la vulnérabilité de l'agriculture pluviale sur l'ensemble du territoire du bassin versant de la Volta.

Chapitre 2 : Base de données et analyse typologique des exploitations agricoles.

I. Traitement des données

Cette partie est consacrée à l'explication de la démarche suivie au cours de notre traitement de la base de données préexistante au sein de l'établissement d'étude (IRD G-eau Montpellier). En effet, le but visé dans cette étape de travail, étant la création de tableaux récapitulatifs intégrant les informations nécessaires et utilisables, pour notre étude ultérieure.

Initialement, l'élaboration de cette base de données se réfère aux données qui proviennent des stations météorologiques du bassin versant de la Volta (base de données du SIEREM), couplées à des données agricoles au niveau des ménages (rendement, mois de semis, engrais, problèmes rencontrés...) issues des enquêtes permanentes agricoles (EPA 1993-2004) du ministère de l'agriculture burkinabé, et du GLSS (Ghana Living Standard Survey (1998)).

Cette base est subdivisée en plusieurs sections, traitant des aspects différents des modalités de vie et de gestion des exploitations agricoles (composition du ménage : nombre de personnes, d'enfant, aspect social, éducation, travail, activité agricole, caractérisation de l'exploitation, bétail, production...)

La difficulté principale rencontrée dans notre traitement de données, se résume surtout par le manque de données et quelquefois l'incohérence des informations recueillies pour certaines exploitations, qui nécessite ainsi des conversions, des corrections et des vérifications continues.

La démarche proposée dans notre étude consiste à associer pour chaque pays un tableau qui résume les caractéristiques agronomiques de ses différentes exploitations.

✓ *Tableau de Ghana*

Dans un premier temps, nous avons essayé d'associer à partir de deux tableaux de données différents, des informations concernant d'une part, le nombre de personnes et d'enfant par exploitation, et d'autre part les valeurs des superficies totales et celles des différentes cultures préexistantes, relatives à chacune de ces exploitations. Le tableau de résultats ainsi obtenu, compte 2440 exploitations.

Dans un deuxième temps, nous avons procédé à la filtration du tableau de résultats obtenu précédemment, avec un autre qui nous informe sur le nombre d'actifs agricoles et actifs éleveurs par exploitation. Le nombre d'exploitations ainsi retenues suite à cette filtration, étant de 1741, groupées dans le même tableau de résultats. Le reste (soit la différence entre 2440 et 1741 exploitations) des exploitations étaient éliminées par manque d'information vis-à-vis du nombre d'actif par exploitation.

A ce même tableau de résultats, on a attribué pour chaque exploitation retenue, le nombre de bétail correspondant, si elle en possède ; Ainsi, le nombre d'exploitations sélectionnées ne change pas.

Sur ces 1741 exploitations finales retenues, on compte 96 exploitations agricoles qui possèdent 100% de leurs superficies en vides, et pourtant on y retrouve du bétail, des actifs agricoles mais pas d'actifs éleveurs. Ceci montre bien l'incohérence et le manque d'informations correspondants à ces exploitations ; ce qui sollicite leurs élimination pour ne pas fausser nos résultats ultérieurs.

Ceci étant fait, le tableau final récapitulatif des données du Ghana comprendra alors 1644 exploitations. Ce tableau servira de base lors de nos étapes d'études suivantes.

Toutefois, d'autres modifications ont été entreprises sur ce tableau final, elles consistent entre autres, à la modification de l'expression de la superficie des différentes cultures en termes de pourcentages par

rapport à la superficie totale de chaque exploitation, ainsi qu'à l'introduction d'autres colonnes exprimant différentes conversions d'unités, ou diverses sommations des données de base.

En effet on trouve :

S_ féculents (%) = Superficie (Céréales + Tubercules + Plantain)

S_ Rente (%) = Superficie (Cacao+ Palmier à huile + Arachide).

Gros Bétail = Bovins + Draught.

Bétail Moyen = Ovins + Caprins + Cochons.

Petit Bétail = Volailles + Lapins + Autres volailles.

S_ Céréales (%) = Superficie (Maïs + Riz + Sorgho).

S_ Tubercules (%) = Superficie (Cassava + Igname + Cocoyam).

X unproj et Yunproj constituent les coordonnées de projection des centroïdes de chaque district appartenant au Ghana (localisation des exploitations sur le Bassin versant).

Le tableau 2 suivant représente une partie de la structuration du tableau récapitulatif final, qui servira de base dans notre typologie.

✓ *Tableau de Burkina Faso*

Pour créer un tableau récapitulatif des données pour le Burkina Faso, on a suivi la même démarche entreprise dans le paragraphe précédent ; sauf que les données relatives à ce pays sont incomplètes (surtout concernant le bétail), ce qui nous a poussé à nous focaliser au cours de notre étude ultérieure surtout sur le cas du Ghana.

Tableau 2 : Tableau final récapitulatif des données relatives aux exploitations agricoles du Ghana.

| Code exploitation | Nb_personne | Nb_d'adulte | Nb_d'enfant | actifs_agricole | actifs_éleveur | S_Totale | S- vide(%) | S_Cacao(%) | S_arbres_fruitières(%) | S_Palmier_à_huile(%) | S_Plantain(%) | S_bois(%) | S_arachide(%) | S_Cassava(%) | S_igname(%) |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|----------------|----------|---------------|------------|------------------------|----------------------|---------------|-----------|---------------|--------------|-------------|
| 405902 | 5 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1,62 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 405903 | 8 | 7 | 1 | 2 | 1 | 1,62 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 405908 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2,43 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 405909 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 4,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 |
| 405910 | 3 | 2 | 1 | 2 | 0 | 1,82 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

| Cocoyam(%) | S_Maïs(%) | S_Riz(%) | S_Sorgho(%) | S_maraichage(%) | Draught | bovins | ovins | caprins | Cochons | lapins | poulets | autres_volailles | S_féculants(%) | S_Rente(%) | Gros bétail | Bétail moyen | Petit bétail | S_céréales(%) | |
|------------|-----------|----------|-------------|-----------------|---------|--------|-------|---------|---------|--------|---------|------------------|----------------|------------|-------------|--------------|--------------|---------------|------|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20,00 | 0,00 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

| S_tubercules(%) | %_actifs_agric | Stot/pers | %enfants | gros bétail/pers | Bétail_moy/pers | Petit_bétail/pers | tub+plantain | Rente+maraichage | nb_enfant/ha | nb_adultes/ha | Nb_pers/ha | Gros_bétail/ha | bétail_moyen/ha | petit_bétail/ha |
|-----------------|----------------|-----------|----------|------------------|-----------------|-------------------|--------------|------------------|--------------|---------------|------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 0,00 | 0,20 | 0,32 | 0,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,24 | 1,85 | 3,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 100,00 | 0,25 | 0,20 | 0,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 | 0,62 | 4,32 | 4,94 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 100,00 | 1,00 | 2,43 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,41 | 0,41 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 100,00 | 1,00 | 4,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 4,94 |
| 0,00 | 0,67 | 0,61 | 0,33 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,55 | 1,10 | 1,65 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

| volailles | Volailles/ha | volailles/pers | moy+gros bétail | RIZ+sorgho(%) | draught/pers | cow/pers | draught_bin | moy+petit bétail/pers | moy+petit bétail | moy+petit bétail/ha | Xunproj | Yunproj |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|----------|-------------|-----------------------|------------------|---------------------|-----------|------------|
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 845997,25 | 652813,279 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 845997,25 | 652813,279 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 845997,25 | 652813,279 |
| 20,00 | 4,94 | 20,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20,00 | 20,00 | 4,94 | 845997,25 | 652813,279 |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 845997,25 | 652813,279 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

II. Classification des exploitations agricoles de Ghana :

La gestion des exploitations agricoles à l'échelle annuelle et pluriannuelle, et le suivi de la vulnérabilité des comportements des agriculteurs pluviaux dans le bassin versant de la Volta, sont fonction des caractéristiques propres de chacune des exploitations.

Il est donc incorrect de généraliser l'interprétation, et de limiter l'étude pour un même ensemble d'exploitations types qui ne reflètent que le comportement d'un groupe bien déterminé d'exploitations agricoles, pour cela une classification de ces dernières s'avère nécessaire.

La classification des exploitations avec SPAD ne concernera que celles de Ghana, vu qu'on possède toutes les informations nécessaires pour notre diagnostic ultérieur, contrairement aux données relatives de Burkina Faso qui sont incomplètes.

II.1. Présentation de SPAD :

Le logiciel SPAD (*S*ystème *P*our l'*A*nalyse des *D*onnées) est développé depuis les années 70 par le CISIA (Centre International de Statistique et d'Informatique Appliqué). C'est un logiciel qui dispose d'une multitude d'outils, à savoir: outils de description des données (tableau croisées, typologie, caractérisation des axes...), des outils d'analyse factorielle (en composantes principales, binaires, ou multiples...), et des outils de classification (classification hiérarchique, directe, optimisation des partitions...); destinés à l'analyse de données et le data mining.

SPAD est un logiciel modulaire dont on distingue trois ensembles de logiciels chargés des tâches respectives de la gestion des fichiers, de la gestion de l'analyse et la gestion des résultats.

La base de données est introduite dans le logiciel, soit par manipulation directe de l'utilisateur soit par importation du fichier de données, ce dernier doit avoir un format bien déterminé (les individus en ligne, et les variables en colonne) pour qu'il puisse être traité par SPAD, et cette fonction de codage interne est assurée par le logiciel lui-même.

L'étape suivante du traitement de données par SPAD, consiste à l'analyse des correspondances qui fait appel à plusieurs procédures servant à lire les données d'entrée et créer celles de sortie; la filière étant le résultat de cette succession.

Une fois d'analyse des correspondances étant réalisée, on doit indiquer les variables et les individus actives et celle illustratives.

Le logiciel dispose d'un ensemble de filière prédéfinies correspondants aux grandes méthodes statistiques, les plus utilisées sont: les tableaux croisés, analyse en composantes principales suivie d'une classification... (www.decisia.com).

L'exécution d'une filière fournit un ensemble de résultats correspondant aux différentes procédures consécutives de cette dernière, et qui peuvent être sous format texte, Excel et graphique.

L'éditeur graphique interne de SPAD se caractérise par un ensemble de fonctions qui permettent entre autres de faire une sélection des points par catégorie, des individus par liste, point par point... et l'affichage des points (couleurs, symboles, libellés, informations sur les points).

II.2. Objectifs et Démarche

La classification visée, a pour objectif d'organiser l'ensemble des exploitations du Ghana en un groupe de classes et sous classes dont les caractéristiques sont homogènes, et donc susceptibles d'être traitées chacune à part, et non groupées sous un même volet.

La démarche suivie lors de notre classification, passe tout d'abord par une analyse en composantes principales (ACP) qui va nous permettre de choisir; à partir du tableau final des résultats élaborés précédemment, les variables les plus représentatives et les plus déterminantes pour la classification à l'échelle de l'ensemble du bassin versant de la Volta au Ghana.

Il faut dire que plusieurs tests ont été effectués soit en utilisant toutes les variables présentes dans le tableau final (voir tableau 2), soit en faisant une sélection à chaque fois d'un groupe ou d'un autre de variables qui semblent avoir une importance dans la classification. Vers la fin, seulement quelques variables ont été retenues pour faire la typologie en classes et sous-classes.

L'utilisation de la totalité ou d'une partie de ces variables, varie en fonction des subdivisions à réaliser. Le tableau suivant montre les différentes variables retenues pour chaque subdivision.

Tableau 3 : Variables utilisées pour la typologie des exploitations agricoles.

| Variables | Subdivision en classes | Subdivision de la classe | |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|
| | | A en sous classes | B en sous classes |
| S_Totale | X | X | X |
| S_Cassava(%) | X | X | |
| S_Maïs(%) | X | X | X |
| S_Maraichage (%) | X | | X |
| S_Rente(%) | X | | X |
| Nb_pers/ha | X | X | |
| Gros_bétail/ha | X | | |
| Riz+sorgho(%) | X | | |
| Moy+petit_bétail/ha | X | X | |
| S_Plantain(%) | | X | |
| S_igname(%) | | X | |
| Nb_personnes | | | X |
| S_Riz(%) | | | X |
| S_sorgho(%) | | | X |
| Gros bétail/pers | | | X |
| Moy+petit_bétail/pers | | | X |
| Rente +maraichage | | X | |

Le choix de ces variables parmi d'autres, repose sur la vérification des conditions suivantes lors de l'ACP ;

- ✓ Choisir les variables ayant une fréquence d'apparition très importantes parmi d'autres,
- ✓ Sur les quatre premiers axes, faire apparaître le maximum de variables introduites dans SPAD,
- ✓ Avoir un pourcentage d'explication le plus grand possible sur ces quatre premiers axes,
- ✓ Dégager un axe Nord Sud : multi céréales /Cassava, qui coïncide avec la carte de répartition des principaux systèmes de cultures sur le bassin versant de la Volta (voir figure 14),
- ✓ Enlever de la somme des exploitations totales utilisées, celles qui semblent tirer la classification vers sa direction, pour ne pas fausser les résultats (dans notre cas, on a supprimé 13 exploitations).

Le tableau 4 présente le cumul du pourcentage d'explication des variables sur les quatre premiers axes utilisés lors de chaque subdivision.

Tableau 4 : pourcentage d'explication des variables sur les 4 axes étudiés.

| La subdivision | Pourcentage cumulé |
|--|--------------------|
| Subdivision en classes | 62,1 |
| Subdivision de la classe A en sous classes | 67,76 |
| Subdivision de la classe B en sous classes | 62,12 |

II.3. Résultats de la typologie :

✓ Les classes

L'ensemble des exploitations de Ghana seront en premier temps divisées en deux grandes classes: A et B. Ces deux groupes ont été déterminés suite au choix de 9 variables d'entrées (voir tableau 3): qui ont donné un pourcentage d'explication de 62,1% sur les 4 premiers axes.

En tenant compte de ces variables, on a essayé de choisir un nombre de divisions en classes qui nous donne le plus d'informations ; La division en trois classes s'avère la plus représentative. En fait, elle nous a permis de distinguer une première classe composée de 970 exploitations soit à peu près 60% des exploitations totales, c'est la classe A (S_cassava, S_Totale et S_Maïs), et le reste ; soit la somme des deux autres classes; seront regroupées sous un même nom : classe B (S_Rente, S_sorgho, S_RIZ, S_maraichage et éleveurs) (voir annexe 3).

Les résultats de cette répartition selon différents axes d'études, sont représentés dans les figures suivantes :

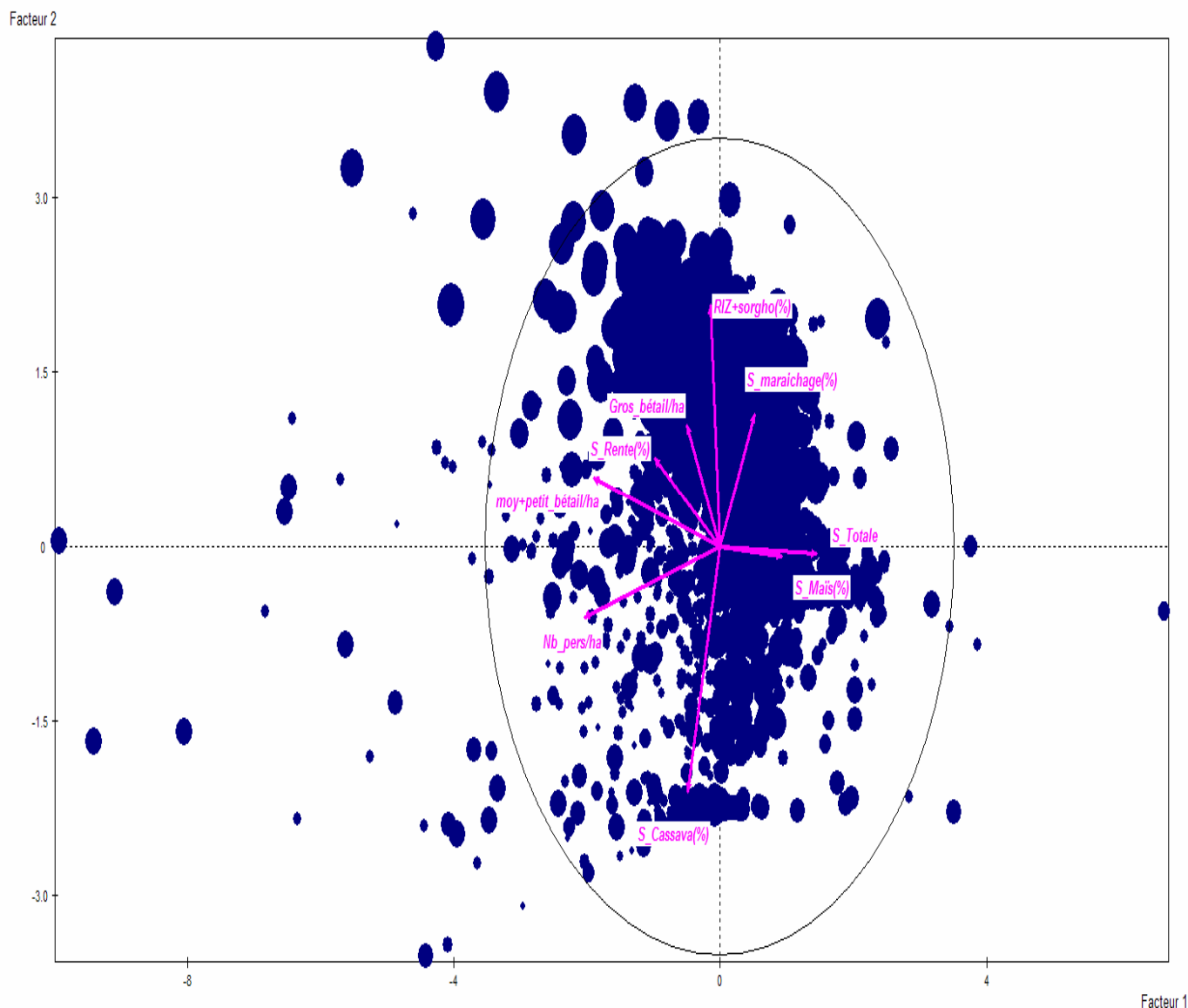


Figure 7 : Représentation de la répartition des variables sur l'axe 1 et 2.

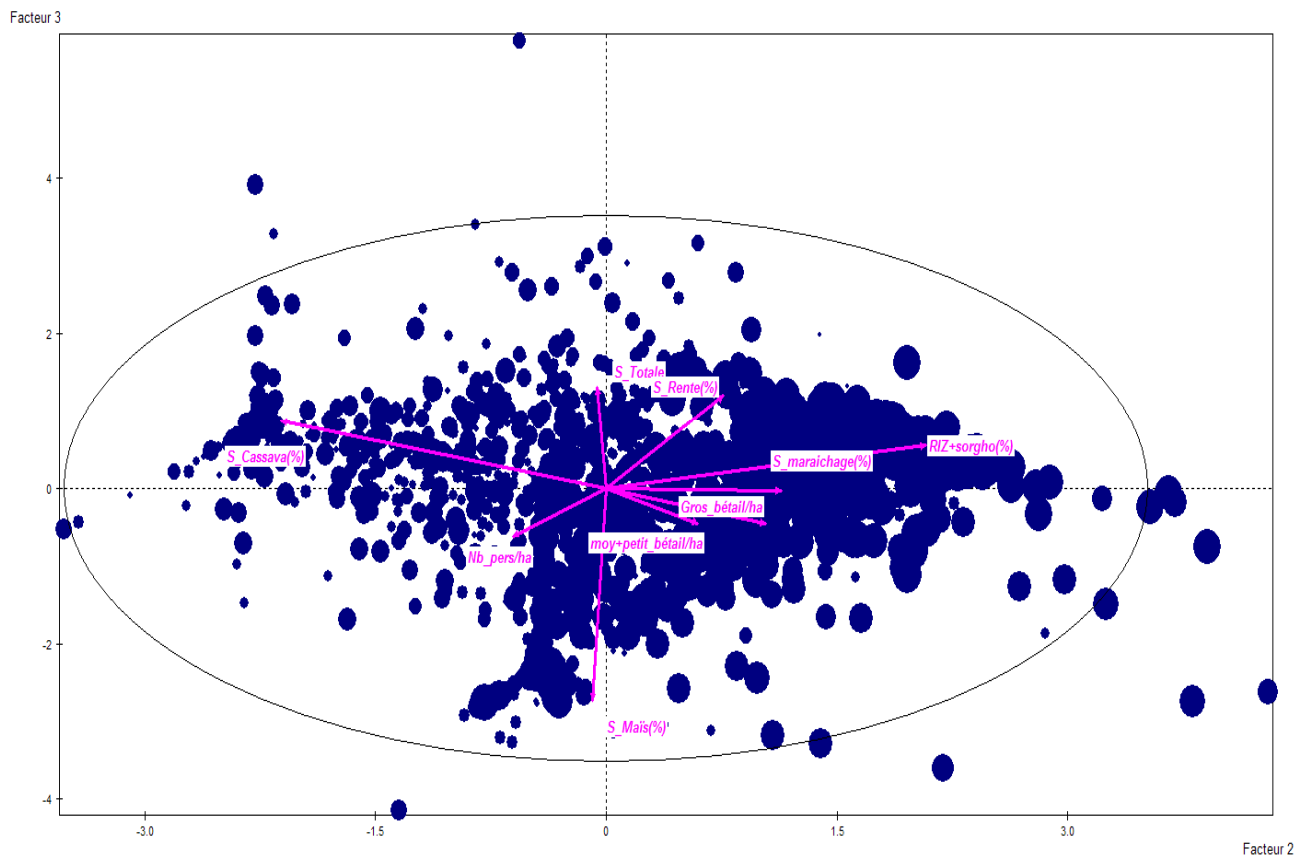


Figure 8 : Représentation de la répartition des variables sur l'axe 2 et 3.

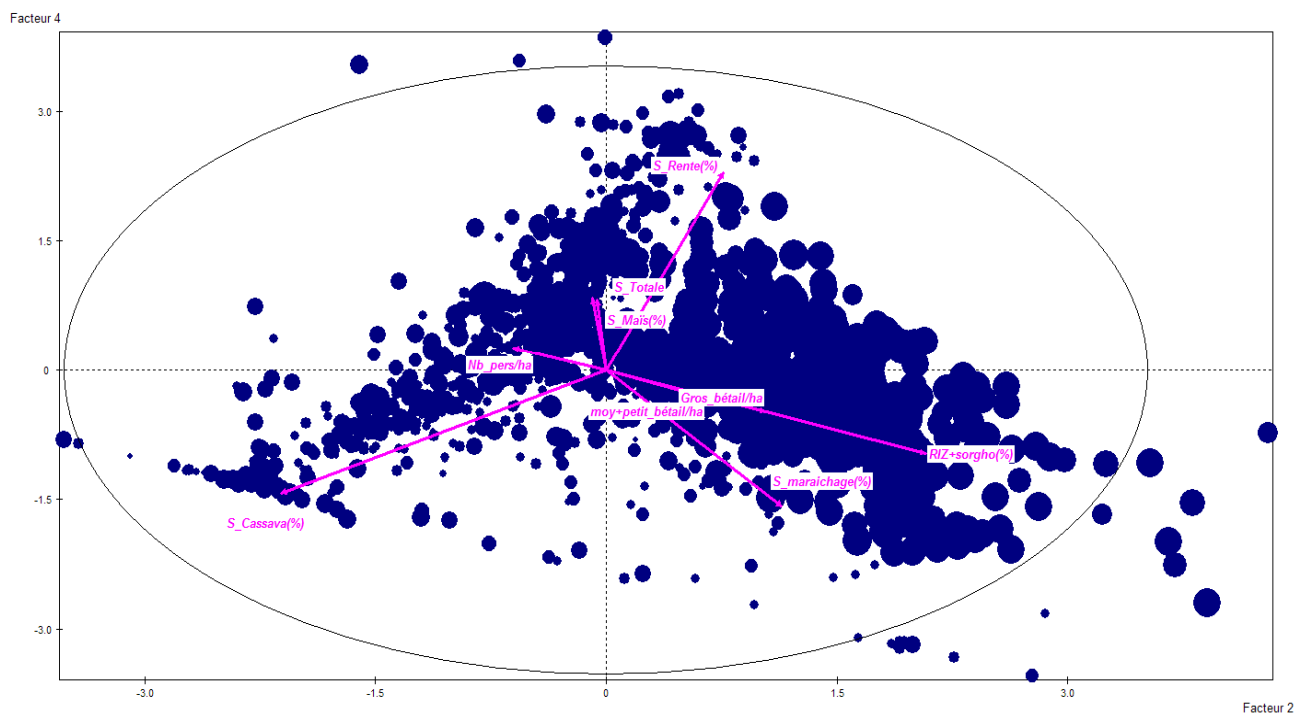


Figure 9: Représentation de la répartition des variables sur l'axe 2 et 4.

D'après ces figures, on remarque que les axes représentatifs de la superficie de Cassava, celle du Maïs et celle de la superficie totale, tirent les nuages des points vers leurs directions de façon qu'on peut les regrouper sous une même classe (classe A), contre l'ensemble des autres variables qui vont constituer la classe B.

Cette classification paraît logique mais incomplète, car au sein de chaque classe il peut y avoir des exploitations avec des caractéristiques différentes, c'est pour cela qu'on devra passer à une classification au deuxième degré et dégager pour chaque classe des sous-classes.

✓ Les sous-classes

La démarche utilisée précédemment pour la subdivision des exploitations en classes, sera entreprise pour la détermination des sous-classes; en passant par le choix à nouveau des variables (en introduisant de nouvelles variables ou en supprimant d'autres selon leurs degrés d'importance dans la classification), le choix des axes, le nombre de sous-classes... (Annexe 3)

Le résultat final obtenu suite à cette classification, peut être résumé dans le diagramme suivant :

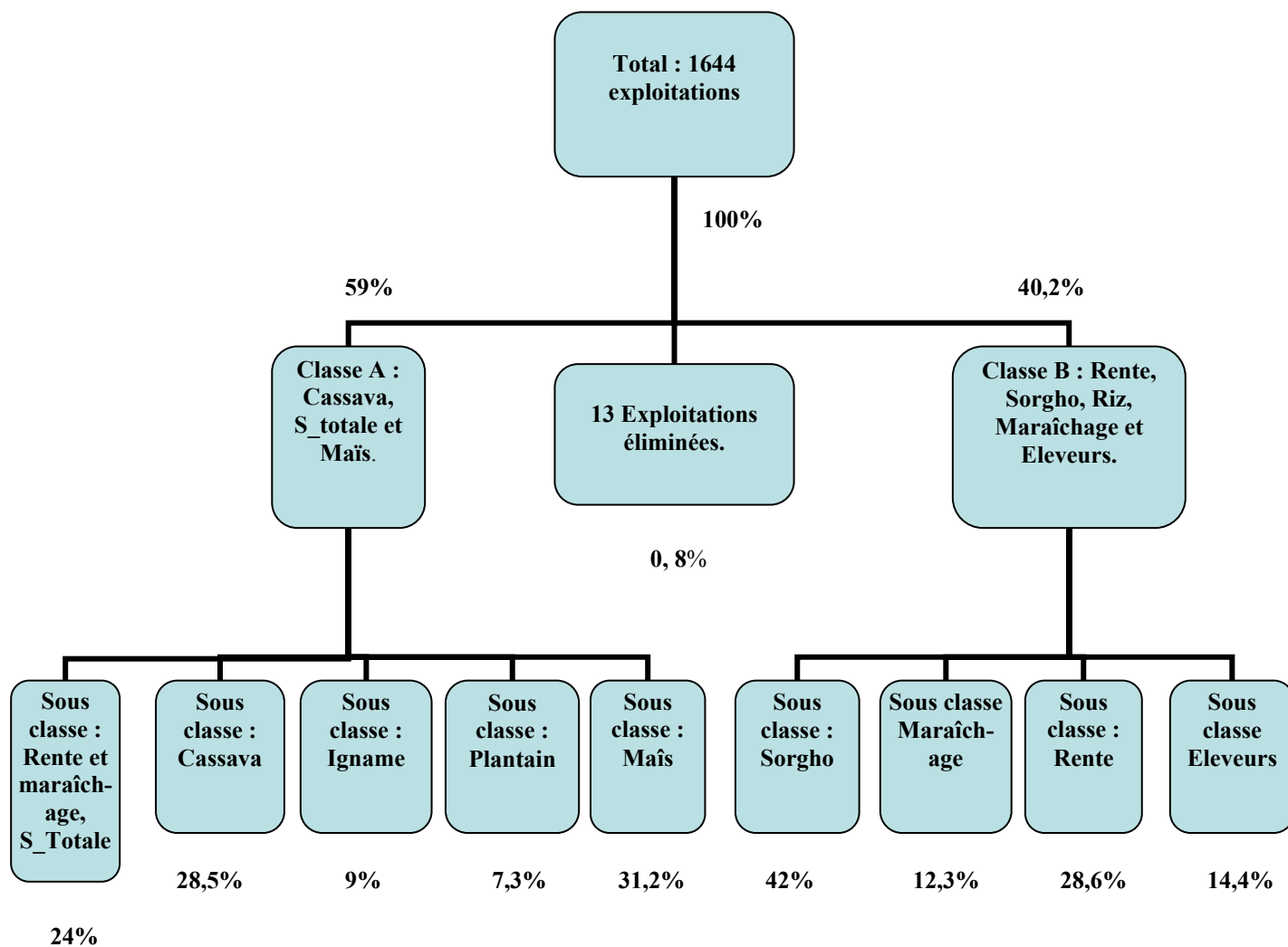


Figure 10 : Diagramme représentatif de la classification des exploitations du Ghana.

II.4. Caractéristiques des classes et des sous-classes

La partie suivante traitera les différentes caractéristiques des classes et des sous-classes ayant été identifiées lors de notre classification :

✓ Les caractéristiques des classes A et B

-Classe A : Cette classe compte 970 exploitations qui se caractérisent par :

-Une superficie assez importante en Cassava : 45% des agriculteurs plantent du Cassava, et 41% des exploitations de cette classe possèdent une superficie en Cassava \geq à la Superficie moyenne de Cassava calculée à l'échelle tout le bassin versant de la Volta au Ghana.

-Et /ou une grande superficie totale. En effet, la moyenne générale de cette classe est de 3,2 ha, avec 33% des exploitations qui ont une $S_{total} \geq$ à la moyenne générale de toutes les exploitations, estimée à 2,8 ha.

- Et/ou une superficie assez importante en Maïs: on dénombre 41% des exploitations dans cette classe ayant une $S_{Maïs} \geq$ à la moyenne générale du bassin versant.

-Classe B : elle regroupe 661 exploitations, dont :

- 59% ont une superficie en Sorgho \geq à la moyenne générale de la superficie du sorgho du bassin versant au Ghana.

- 44% possèdent une superficie en maraîchage \geq à la moyenne générale.

-55% des exploitations représentent une superficie en culture de Rente \geq à la moyenne.

- 40% est le pourcentage des exploitations qui font du riz et qui ont une superficie \geq à la moyenne générale.

-Enfin, on distingue dans cette classe, un nombre d'éleveurs très prépondérant puisqu'on note que 30% de ces exploitations possèdent du gros bétail /personne, alors que le pourcentage de moyen et de petit bétail/personnes s'élève à 77%, qui représente une valeur importante par comparaison avec la moyenne générale calculée sur le bassin versant, et qui est estimée à 19%.

Il faut noter aussi pour cette classe, que la superficie totale est de l'ordre de 2 ha, et que 90% des exploitations ne cultivent pas de Cassava.

✓ Les caractéristiques des sous-classes

a) *Les sous-classes de A :*

Sous-classe Cassava : 276 exploitations

Elle contient 276 exploitations, dont 45,6% cultivent 100% de leur superficie totale en Cassava ; 29% possèdent une superficie en Cassava comprise entre 50 et 99% ; et le reste (soit à peu près 25%) représentent un taux de couverture en Cassava inférieur à 50% ;

Toutefois, on note que 12 exploitations de cette sous-classe ne cultivent pas de Cassava, mais elles ont une grande partie en vide ou cultivé en arboriculture ou en cocoyam...

En plus, on s'est aperçu que ces exploitations ayant 0% de $S_{cassava}$, sont caractérisées par un nombre moyen de personnes /ha (égale à 11,23), ce qui est très largement supérieur à celui du B.V. de la Volta au Ghana évalué à 5,5 personnes/ha.

Par rapport à la superficie moyenne de toutes les exploitations du bassin versant de la Volta au Ghana estimée à 2,8ha, cette sous-classe présente une S_{moy} relativement faible (1,5ha). En effet, 86% de ces exploitations possèdent une superficie totale inférieure à la superficie moyenne générale.

Sous classe Plantain : 71 exploitations

Composé de 71 exploitations, cette sous-classe se caractérise par un taux de 81,6% des exploitations possédant des superficies en Plantain > à 50% de la superficie totale.

Le reste, soit 18,4%, représente une superficie en Plantain comprise entre 28,6% et 49% de la superficie totale.

Sous-classe S_totale, Rente+ Maraîchage : 232 exploitations.

La superficie totale de cette sous-classe est égale à 7,14 ha, soit plus que deux fois supérieure à la superficie moyenne totale du B.V. Volta, estimée à 2,8 ha. En plus, 76% des exploitations de cette sous-classe se caractérisent par une S moy totale > S moy totale générale.

25 exploitations de cette sous-classe ont une superficie Rente + Maraîchage comprise entre 50 et 77% de la superficie totale, et 25,8% des exploitations ne cultivent ni Rente ni Maraîchage, mais par contre elles possèdent une superficie totale assez importante estimée à 8,7 ha; le reste soit 63,4% possèdent une S_Rente +Maraîchage comprise entre 1,32 et 48,89%.

Sous-classe Igname : 87 exploitations

La superficie moyenne de l'Igname dans cette classe représente 53,39% de la superficie totale, contre 5,38% pour la moyenne générale de l'ensemble des exploitations agricoles du Ghana.

47% des exploitations de cette sous-classe possèdent une superficie en Igname supérieure à 50%, par rapport à leur superficie totale.

Par contre, 53% possèdent une S_igname qui représente 20 à 50% de la S_totale.

Sous-classe Maïs : 303 exploitations.

La superficie moyenne du Maïs de cette sous-classe est équivalente à 72%, qui représente une valeur largement supérieure à la moyenne S_maïs générale de l'ensemble des exploitations du bassin versant de la Volta au Ghana estimée à 20,4%.

53% de ces exploitations sont exclusivement cultivées en Maïs, et 27% ayant un taux de couverture en Maïs comprise entre 50 et 99%.

b) Les sous classes de B :

Sous classe Maraîchage : 81 exploitations

70% de ces exploitations ont une superficie en maraîchage \geq à 50% de la superficie totale.

De plus, 3 exploitations de cette sous-classe possèdent une superficie en maraîchage égale à 0, par contre, elles se caractérisent par une superficie en Maïs très importante.

96% des exploitations ont plus que la moyenne générale en S_maraîchage, évaluée à 6% de la superficie totale sur l'ensemble des exploitations du bassin versant.

Sous-classe Eleveurs : 102 exploitations

Cette sous-classe est la plus compliquée vis-à-vis sa composition. En effet, 75% des exploitations possèdent un nombre de personnes \geq à la moyenne générale (égal à 5). En plus, 67% des exploitations de cette sous-classe cultivent du riz avec une superficie moyenne \geq à la moyenne générale estimée à 4,4%.

D'autre part, 76% de ces exploitations cultivent du Maïs, et 67% possèdent une S_maïs \geq à la S_maïs moyenne évaluée à 20% ;

Le point le plus fort de cette sous-classe est le bétail, d'où son nom « sous-classe Eleveurs » ; en effet, 71% des exploitations de cette sous-classe possèdent du grand bétail, et 70% ayant un taux de gros bétail /pers \geq à la moyenne générale. De même, le moyen et le petit bétail/pers occupent une place importante de cette sous-classe avec un taux de 86%.

Sous classe sorgho : 282 exploitations.

98,6% des exploitations de cette sous-classe possèdent une superficie en sorgho supérieur à la moyenne enregistrée sur l'ensemble du bassin versant au Ghana et qui est évaluée à 12%.

Aussi, on note que 61% des exploitations ont une superficie en sorgho \geq à 50% par rapport à la superficie totale. Le minimum étant de 18%.

Sous-classe Rente : 196 exploitations

On remarque dans cette sous-classe que 70% des exploitations ont une superficie en Rente \geq à 50% de la superficie totale. Et que 83% des exploitations possèdent une $S_Rente >$ à la moyenne générale évaluée à 14%.

Le taux du moyen et petit bétail /personne dans cette classe est très faible. En effet, seulement 9,5% de ces exploitations se caractérisent par un taux du moyen et petit bétail /personne supérieur à la moyenne générale.

La typologie des exploitations agricoles du bassin versant de la Volta, s'avère très complexe. En effet, la difficulté réside dans le fait de pouvoir caractériser les exploitations en tenant compte de leurs particularités, et dans un deuxième temps de les regrouper sous une même classe avec d'autres exploitations similaires.

Chapitre 3 : Analyse Socio-économique de la dynamique du fonctionnement des exploitations agricoles sur le bassin versant de la Volta :

Afin de définir la dynamique de fonctionnement des exploitations agricoles dans le bassin versant de la Volta, et de comprendre les différentes ressources utilisées par ces dernières pour pouvoir subvenir aux besoins, faire face aux pénuries, et améliorer leurs productivités, on va essayer de déterminer les principales composantes qui interviennent dans cette dynamique, via une analyse de la situation socio-économique, et les diverses solutions possibles entreprises par les agriculteurs pluviaux pour mieux gérer leurs exploitations agricoles. Cette analyse sera résumée sous forme de représentation graphique ou un GRAFCET (figure 12).

I. Présentation d'un GRAFCET :

Un GRAFCET (*GR*aphe *F*onctionnel de *C*ommande des *E*tapes et *T*ransitions), est un outil de représentation graphique des comportements successives d'un système automatisé, il permet aux différents acteurs de parler un langage commun; il est composé d'une alternance d'étapes et de transitions, reliées entre elles par des liaisons orientées. C'est un modèle à comportement dicté par des règles d'évolutions.

- Une étape correspond à une situation dans laquelle les tâches ou les actions associées sont exécutées,
- Les actions associées aux étapes sont inscrites dans les étiquettes, elles traduisent ce qui doit être fait à chaque fois que l'étape à laquelle elles sont associées est active,
- Une transition indique la possibilité d'évolution entre deux étapes successives,
- La réceptivité: à chaque transition est associée une condition de franchissement. C'est une proposition logique qui ne peut avoir que deux états : (1) vraie, faux (0).

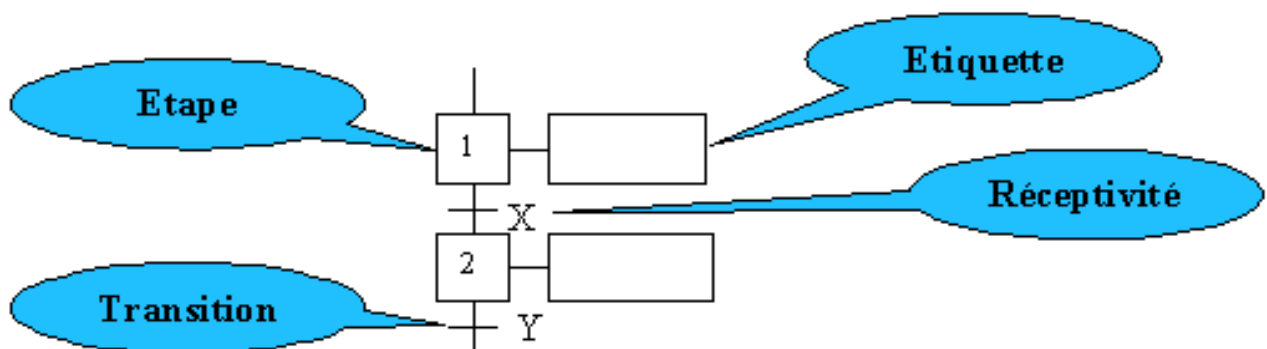


Figure 11 : Composantes principales d'un GRAFCET.

www.Stielec.ac.aix-marseille.fr/cours/abati/grafcet.htm

II. Hypothèses et descriptif de l'analyse socio-économique:

Pour effectuer une analyse socio-économique complète du fonctionnement des exploitations agricoles, une multitude d'hypothèses ont été prédéfinies au fur et à mesure de l'avancement de notre travail. Donc, afin de mieux faciliter la compréhension de la démarche suivie lors notre analyse, on va fixer en premier

lieu ses hypothèses, et en deuxième lieu on va expliquer et détailler le cheminement suivi pour définir et caractériser les différentes composantes de cette analyse socio-économique.

Hypothèses de l'analyse :

- Le bétail augmente chaque année de 15%.
- On suppose que le stock (production végétale) d'une année N donnée, ne pourra être utilisé qu'au cours de l'année $N+1$, sinon il sera vendu et ajouté à la trésorerie de cette même année.
- On suppose que pour une année donnée, et si la valeur de la trésorerie est supérieure à un seuil prédéfini, réservé à d'autres dépenses de la famille, le surplus sera utilisé pour l'achat de nouveaux bétails.

Il faut noter aussi que les résultats obtenus seront exprimés soit en terme de kilos calories, soit en Franc CFA, qui représente l'unité monétaire commune d'un rassemblement de huit pays de l'Afrique de l'Ouest, dont la Burkina Faso, le Togo, la Cote d'Ivoire...

Donc pour faciliter le travail, il faut convertir toutes les données utilisées en termes de FcFa, même si quelques pays de ce territoire d'étude utilisent d'autres unités monétaires telles que le cedis au Ghana.

1 € = 655,957 F CFA

Descriptif de l'analyse socio-économique :

La première étape de notre analyse consiste à calculer pour une exploitation donnée et durant une année donnée n , les besoins (B) en Kilos calories ($Kcal$) des personnes qui s'approvisionnent de cette exploitation, ainsi que sa production végétale (en céréales) annuelle (P) en Kcal.

La comparaison entre ces deux paramètres va nous permettre de définir deux chemins différents de l'analyse du fonctionnement des exploitations agricoles.

*En effet, si la $P > B$ donc on aura :

- Conservation du bétail de l'année $n-1$ avec une augmentation de 15%,
- Vente du stock de l'année $n-1$, et le montant sera additionné à celui de la vente des produits de rentes et des apports des migrants pour former la trésorerie $Tr(n)$.
- le stock $S(n)$ de l'année en cours sera égal au surplus entre B et P . Ce dernier ne peut être utilisé qu'au cours de l'année $n+1$.

*Dans le cas où $B > P$, plusieurs solutions sont envisageables selon les caractéristiques et les ressources disponibles pour chaque exploitation.

1. La première solution sera d'utiliser, s'il en existe, le stock (en production) de l'année ($n-1$), et dans ce cas, on peut calculer le paramètre A qui n'est autre que la différence entre respectivement : B , P et $S(n-1)$ en Kcal.

Pour passer à la suite, il faut convertir A en F cFA en utilisant la valeur calorifique d'un kilogramme de céréales et son prix d'achat moyen.

Si $A < 0$, donc $S(n-1)$ a suffi pour composer le manque existant entre Production et besoins, et on aura :

- une trésorerie = ce qui reste de $S(n-1)$ non utilisé et par la suite vendu + ventes des Produits de Rentes + apport des Migrants, l'ensemble étant exprimé en FcFA.
- Un bétail égal à $L(n-1) * 1,15$ + éventuellement L acheté si $Tr > \text{seuil}$.

Sinon, si $A > 0$ et/ou $S(n-1) = 0$, on passe à la deuxième solution.

2. La deuxième solution se rapporte, s'il en existe à la production de rente PR , destinée exclusivement à la vente, et aux apports des migrants M .

Admettant que, Q_{PR+M} égale à la somme des apports monétaires de $PR+M$.

Si $A - Q_{PR+M} < 0$, ça veut dire que cette solution était efficace pour combler le déficit, et on aura donc comme résultat une trésorerie qui n'est d'autre que la valeur de ce qui reste du Q_{PR+M} (FcFA) après avoir satisfait le manque.

Le nombre de bétail, s'il existe, serait égal à $L(n-1) * 1,15$ et plus, éventuellement, le nouveau bétail acheté.

Dans le cas où $A - Q_{PR+M} > 0$ et/ou $PR+M=0$, on va passer à la dernière solution envisageable par l'agriculteur et qui concerne le bétail.

3. Donc si l'exploitant possède du bétail et si la situation est déficitaire, il est impératif que ce dernier prévoit la vente de quelques bétails pour satisfaire les besoins, et dans ce cas, on va essayer de calculer le nombre de bétail nécessaire à vendre en divisant la valeur du déficit en FcFA par la valeur de ventes du bétail tout en arrondissant le nombre en un entier immédiatement inférieur et on ajoutant 1 pour que le nombre soit satisfaisant. On aura alors QI en FcFA (ou en Kcal) qui désigne le coût du bétail à vendre.

Si $A - Q_{PR+M} - QI < 0$ le problème est résolu et on aura une trésorerie équivalente à ce qui reste du QI . Alors que le bétail est égal à $L(n) = (L(n-1) - QI) * 1,15$.

Par contre si $A - Q_{PR+M} - QI > 0$, dans ce cas l'exploitation a épuisé toutes ces ressources disponibles pour parvenir à combler le déficit mais ça n'a pas suffi, donc l'agriculteur n'a pas d'autre solution que d'emprunter de l'argent ou de la nourriture pour subvenir aux besoins, sinon ils seront confrontés au problème de mal nutrition et de la famine.

Le GRAFCET suivant constitue la représentation graphique qui résume les différentes solutions et ressources disponibles (décrit ci-dessus) pour une exploitation et une année donnée sur le bassin versant de la Volta, pour assurer une production qui, plus ou moins, répondra aux objectifs de l'agriculteur et aux conditions de survie.

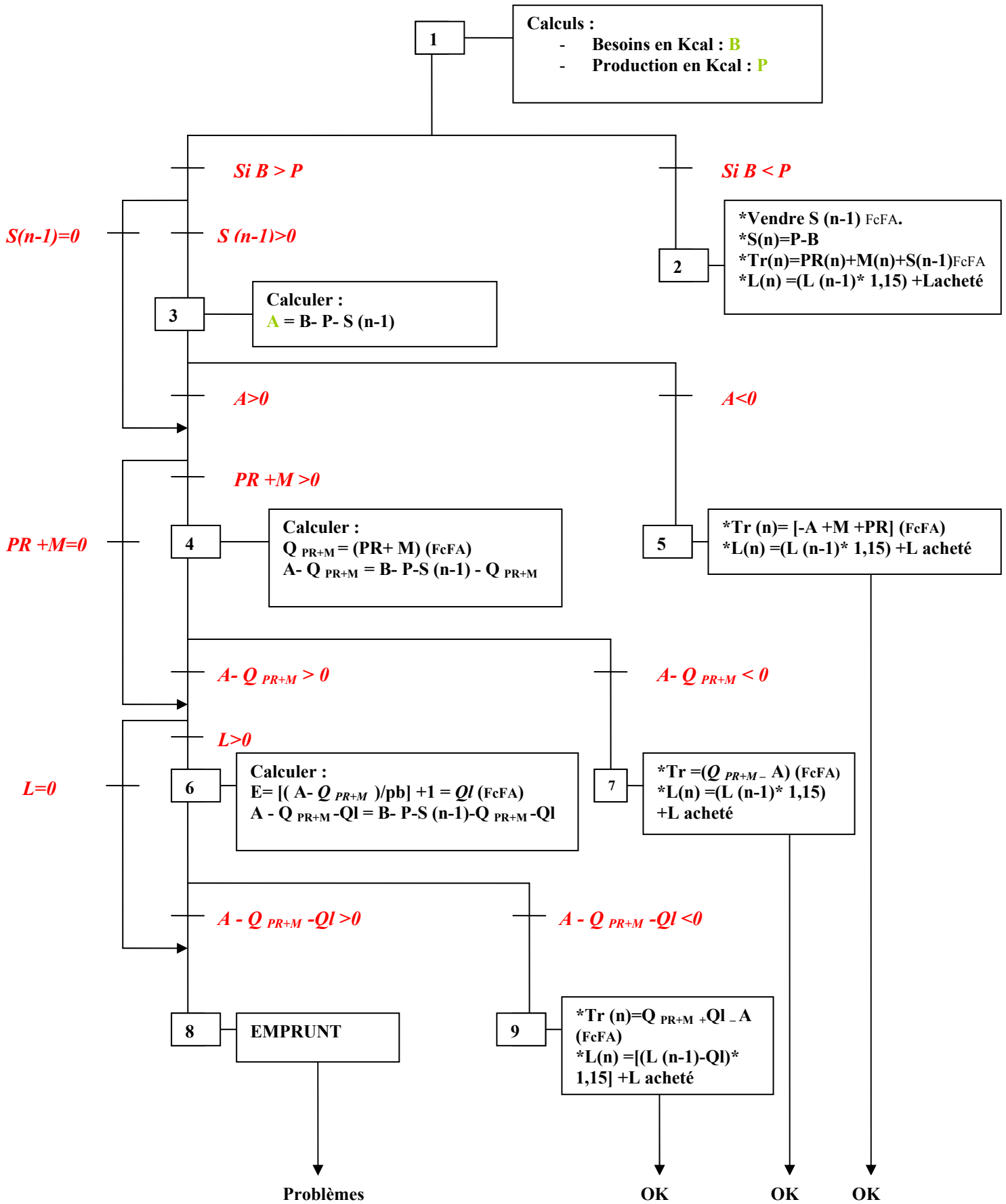


Figure 12 : Représentation graphique de la dynamique du fonctionnement socio- économique des exploitations agricoles dans le bassin versant de la Volta.

B : Besoins.
Kcal: Kilos calories.
L acheté : bétail achetés.
Ln : bétail (life stock) année *n*.
L (n-1) : bétail (life stock) année *n-1*.
M : Migrants.
pb : prix bétail.
PR : Produits de Rentes
P : Production Végétale.
Ql : bétail vendu.
S(n) : stock (production végétale) année *n*.
S(n-1) : stock (production végétale) année *n-1*.
Tr (n) : trésorerie de l'année *n*.

III. Construction d'un Modèle de calcul

Une fois que les différents paramètres de l'analyse socio-économique ont été prédéfinis, nous allons essayer dans l'étape suivante de traduire tout ce travail (GRAF CET) sous forme d'un petit modèle de calcul sur Excel, formé de petites cases qu'il faut remplir avec les données nécessaires pour obtenir au final des résultats quant à la situation de l'exploitation (déficitaire ou excédentaire) pour chaque année de simulation.

A ce niveau, plusieurs informations supplémentaires doivent être ajoutées pour obtenir les résultats souhaités, par exemple il faut introduire les données concernant les prix de vente ou d'achat des céréales, du bétail ou des produits de rentes, ou encore d'autres données pour pouvoir convertir les paramètres de Kilos calories (Kcal) en unité monétaire **FcFA**.

Le tableau suivant (tableau 5), récapitule les différents compartiments constituant le modèle de calcul proposé sur Excel. Un exemple de calcul sera traité dans ce qui suit de façon à mieux assimiler le fonctionnement de ce dernier.

En effet, une exploitation a été choisie au hasard parmi l'ensemble des exploitations agricoles existantes sur le bassin versant de la Volta, pour servir d'exemple pour notre étude. On va essayer d'expliquer; au fur et à mesure de notre description du modèle de calcul ; les fonctions et la signification des différents compartiments et les différentes informations nécessaires à ajouter pour évaluer la dynamique du fonctionnement des différentes exploitations, et d'exprimer leur vulnérabilité quant aux risques de sécheresse, grâce à des simulations effectuées sur plusieurs années.

Ce type de modèle est utilisable pour tous types d'exploitations et pour *n* années, sous réserve de l'obtention des différentes données nécessaires.

La première colonne du modèle représente les années ou plus spécifiquement l'identification des années. Le nombre d'années d'étude est variable mais dans notre cas il est fixé à dix années (de *N* à *N+9*).

Les trois colonnes qui suivent représentent respectivement, le type d'année, le rendement du maïs et le rendement de l'arachide. Notons ici que les informations concernant les rendements dépendent des caractéristiques de chaque exploitation quant à la nature des cultures qu'elle cultive (pour notre exemple, ça sera de l'arachide et du maïs).

Il faut remarquer aussi que le type d'année et les rendements des cultures sont très corrélés, puisque ces derniers sont conditionnés par le type et les caractéristiques de l'année d'étude. Le type d'année est déterminé en fonction de l'importance de la pluie.

En effet, la détermination du type d'année se fait comme suit : on attribue à chaque année sa valeur pluviométrique, après on trie ces valeurs de façon à avoir 5 groupes classés des plus petites aux plus importantes valeurs des pluies. A ces classes, on va associer un type d'année bien déterminée (voir tableau 6) qui varie de : très faible à très bonne.

Les données pluviométriques utilisées pour notre étude ont été prélevées de la base de données préexistante dans Ecotrope-Sarah, où on trouve des informations météorologiques concernant Burkina Faso durant une période allant de 1950 à 1980.

Tableau 6 : Détermination des types des années.

| <i>Années</i> | <i>Pluies</i> | <i>Classification</i> | | | <i>Type d'années</i> |
|---------------|---------------|-----------------------|--|--------------|----------------------|
| 1980 | 595,3 | 1er quintile | | | |
| 1951 | 649,3 | 1er quintile | | | |
| 1966 | 650,9 | 1er quintile | | 1er quintile | très faible |
| 1963 | 656,8 | 1er quintile | | 2e quintile | faible |
| 1977 | 680,6 | 1er quintile | | 3e quintile | moyenne |
| 1961 | 705 | 1er quintile | | 4e quintile | bonne |
| 1971 | 728,5 | 2e quintile | | 5e quintile | très bonne |
| 1970 | 731 | 2e quintile | | | |
| 1979 | 742 | 2e quintile | | | |
| 1973 | 747,4 | 2e quintile | | | |
| 1975 | 758,7 | 2e quintile | | | |
| 1978 | 765,7 | 2e quintile | | | |
| 1958 | 766,4 | 3e quintile | | | |
| 1967 | 766,9 | 3e quintile | | | |
| 1968 | 776 | 3e quintile | | | |
| 1952 | 781,3 | 3e quintile | | | |
| 1960 | 803,5 | 3e quintile | | | |
| 1950 | 825,2 | 3e quintile | | | |
| 1965 | 852,2 | 4e quintile | | | |
| 1953 | 884,3 | 4e quintile | | | |
| 1974 | 926,6 | 4e quintile | | | |
| 1954 | 949,6 | 4e quintile | | | |
| 1959 | 990,6 | 4e quintile | | | |
| 1957 | 993,4 | 4e quintile | | | |
| 1955 | 1040,4 | 5e quintile | | | |
| 1969 | 1047,7 | 5e quintile | | | |
| 1972 | 1061,5 | 5e quintile | | | |
| 1956 | 1102 | 5e quintile | | | |
| 1964 | 1103,2 | 5e quintile | | | |
| 1976 | 1109,4 | 5e quintile | | | |
| 1962 | 1183,2 | 5e quintile | | | |

Par la suite, à chaque type d'année, on associe un rendement typique bien déterminé des différentes cultures étudiées (selon les caractéristiques de l'exploitation en question). Sauf que la détermination de ces rendements n'est pas aussi simple, puisqu'on dispose à la fois des données en provenance des enquêtes agricoles de chaque pays (GLSS et EPA), et qui vont nous permettre d'avoir à la fois une valeur du rendement spécifique de chaque exploitation (seulement pour l'année d'enquête), et de calculer la

valeur moyenne, minimale et maximale, relatives au district et à la région pour le Ghana, et la province pour Burkina Faso.

En plus de ces données, on dispose aussi d'autres informations ayant pour origine les statistiques agricoles entre (1992 et 2000) des différentes cultures à différents districts, provinces ou régions du bassin versant de la Volta.

Par exemple, dans le tableau 7 suivant, on illustre les différentes données relatives au rendement du maïs, cultivé dans notre exploitation d'étude. On peut remarquer la masse d'informations dont on dispose pour la caractérisation du rendement d'une culture donnée. Ces données semblent être, dans la majorité des cas, différentes, nécessitant ainsi un traitement particulier avant leur utilisation finale.

Tableau 7 : détermination du Rendement du maïs.

| | <i>GLSS 1998</i> | <i>Statistiques agricoles (1992 à 2000)</i> |
|-----------------------------|-------------------------|---|
| | Rdt (kg/ha) Maïs | Rdt(Kg/ha) Maïs |
| <i>Exploitation:</i> | | |
| <i>498908</i> | 412 | |
| <i>Région:</i> | | |
| <i>Northern région</i> | 540 | min:800(2000) |
| | min:82 kg/ha | max:1330(1995) |
| | max:8900kg/ha | moy:1090 |
| <i>District:</i> | | |
| <i>Tamale</i> | 603 | min: 600 (2000) |
| | min:185k g/ha | max: 1600 (1993-1994) |
| | max:1980kg/ha | moy:1050 |

Il faut donc traiter ces données de façon à déterminer pour chaque type d'année, une valeur de rendement bien spécifique. Dans notre cas, pour déterminer les rendements du maïs correspondant à chaque type d'année, il faut prendre la valeur minimale et la valeur maximale approximatives, qui se trouvent dans le tableau, et essayer de trouver les cinq classes de rendements correspondants aux cinq types d'années, en divisant la différence entre max et min sur 4, et la valeur trouver sera additionnée à chaque fois à la valeur calculée précédemment, en commençant par le minimal. Pour notre exemple de Maïs, on obtient la répartition suivante :

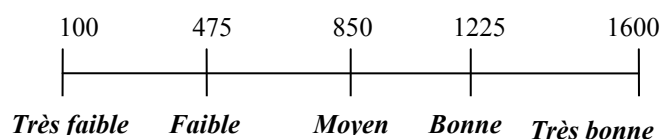


Figure 13 : Répartition des rendements du maïs selon les types d'années.

Une fois que les rendements ont été déterminés, on peut calculer ainsi la production en multipliant la surface relative à chaque culture par le rendement correspondant, pour chaque année d'étude.

Les colonnes qui suivent les données des rendements dans le tableau 5, représentent respectivement : la superficie des cultures qui existent sur l'exploitation, suivie par la valeur du stock végétal (S) en (Kcal) de l'année précédente, s'il en existe, du nombre de bétail selon son type (volailles, bovins...) et les besoins

(B) en Kcal des personnes qui s'approvisionnent de cette exploitation. Toutes ces informations proviennent des données de base des enquêtes pour le Burkina Faso et du Ghana.

Avec ces différentes données (rendement, superficie...) et connaissant la valeur calorifique des productions céréalières (exprimée dans une autre colonne), on pourrait calculer la production finale (P) des cultures céréalières en Kcal (maïs dans notre cas), et ainsi passer à la comparaison entre Pet B.

En effet, la production totale d'une exploitation donnée n'est autre que la somme des productions céréalières de cette dernière pour une année donnée, les autres cultures vont être considérées comme des cultures de rentes.

Bien sur les superficies des différentes cultures restent constantes d'une année à une autre, pour une exploitation donnée, seuls les rendements et donc les productions changent en fonction des types d'années.

Si la condition $B < P$ est vérifiée, on aura un affichage vert de la cellule qui correspond à l'année d'étude, sinon cette dernière sera de couleur rouge, indiquant la non vérification de la condition.

Il faut noter qu'à chaque fois qu'on rencontre une colonne présentant une condition, on est orienté vers deux issues, soit que la cellule est verte (condition vérifiée) et donc on passe directement à la fin des colonnes où on a une partie spécifique au calcul des résultats finals, à savoir : Ln , Tr, Sn, le nombre et le type du bétail acheté, et enfin la situation finale de l'exploitation (excédentaire ou déficitaire) ; soit la condition n'est pas vérifiée (cellule rouge), et dans ce cas on passe à l'étape suivante de l'analyse socio-économique, en étudiant la solution suivante proposée pour combler le déficit.

La première solution se rapporte à l'étude du stock de l'année précédente, pour cela on va trouver une série de colonnes relatives à cette même solution, à savoir : une colonne qui présente la valeur de $A = B - P - S(n-1)$ en Kcal, suivie par une colonne qui concerne le prix moyen d'achat des céréales (riz, maïs, mil et sorgho) ; et à ce niveau on va poser l'hypothèse que le prix d'achat des différentes céréales est égal à celui de leurs ventes.

En effet, ce prix est calculé pour chaque pays (Burkina Faso ou Ghana) sur la base de la moyenne des prix des 4 céréales, données par la FAO pour l'année 2003; ce prix est exprimé en FcFa.

La colonne suivante présente la valeur calorifique d'un kg de céréales, donnée indispensable pour faire la conversion des unités de calcul.

L'étape suivante concerne la deuxième solution des produits de rentes et des migrants, pour cela on trouvera dans cette partie : le prix de vente des cultures céréalière qui existe sur l'exploitation (prix relative à chaque culture), ainsi que la quantité de surplus à vendre du $S(n-1)$, la quantité et le prix de vente des produits de rente qui existent sur l'exploitation ainsi que l'apport des migrants s'il en existe (valeur estimée).

Ces données vont nous permettre de calculer successivement les apports des PR+M (Q_{PR+M}) en FcFA et en Kcal, ainsi que la différence entre A et Q_{PR+M} . Une fois que la condition est vérifiée ($A - Q_{PR+M} < 0$), on peut passer soit aux résultats finals, soit à la solution suivante relative au bétail.

Dans cette partie, on trouve les prix de vente des différentes variétés de bétail, ainsi que le calcul des quantités nécessaire à vendre pour chaque type de bétail pour satisfaire les besoins, la valeur de ces bétails en termes de Kcal ou de FcFa, et par la suite le calcul de $A - Q_{PR+M} - Q_i$, est la vérification de la condition qui suppose que $A - Q_{PR+M} - Q_i < 0$.

Les prix des différents types de bétails, proviennent des données de la FAO, de la GILSS et complétées par l'intervention d'un spécialiste du domaine (à l'IRD).

Une fois que l'analyse des différentes solutions a été faite, on passe à une autre partie du modèle relative au calcul des différents résultats intermédiaires. Cette partie représente le compartiment moteur du modèle puisqu'elle englobe l'ensemble des équations nécessaires pour faire le calcul.

Et c'est au niveau de cette partie qu'il faut prendre en compte les différentes hypothèses et règles du calcul à savoir : l'augmentation du bétail de 15% d'une année à une autre, fixer le seuil de la trésorerie à valeur qu'on a choisi nous mêmes pour servir aux autres dépenses de la famille, et à partir du surplus qu'elle peut engendrer, on peut acheter de nouveau bétail.

Cette partie sera illustrée dans ce qui suit sans être expliquer, vu que chaque cellule de chaque colonne contient une équation de calcul assez complexe qui résume l'ensemble de la méthodologie prédéfinie auparavant.

La dernière partie du tableau représente la partie principale et la plus importante du modèle, puisqu'elle résume la situation socioéconomique finale de l'exploitation. En effet, elle nous permet de savoir si l'exploitation à la fin de l'année de simulation, dispose ou non de bétail, si son stock est excédentaire ou déficitaire, la valeur de la trésorerie, le nombre et le genre de bétail acheté, et enfin la situation financière de l'exploitation (en excès ou elle doit faire des emprunts).

Ces résultats finals vont être pris en considération pour l'année suivante: par exemple même si le stock est déficitaire pour l'année n , ce dernier va être pris en compte dans l'année $n+1$ comme étant un déficit qu'il faut combler avec les besoins, pour rembourser l'emprunt de l'année d'avant.

Tableau 5 : Présentation du modèle de calcul sur Excel

| 1ère solution : Le stock | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|------------------|----------------------|-------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------|-----------|------|-------------------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------|-------------|
| Année | Type d'année | Rdt (kg/ha) maïs | Rdt (kg/ha) arachide | S maïs (ha) | S arachide (ha) | S _(n-1) (kcal) | L _(n-1) poules (qtité) | L _(n-1) chèvres (qtité) | B (kcal) | P (kcal) | B<P | A= (B-P-S _(n-1)) (kcal) | prix achat céréale (F CFA/kg) | valeur calorifique /kg | A (F cFA) | A (kcal) <0 |
| N-1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | très faible | 100 | 50 | 1,215 | 0,4 | 0 | 10 | 5 | 4158956 | 425250 | FAUX | 3733706 | 155,36 | 3500 | 165734 | FAUX |
| N+1 | très bonne | 1600 | 950 | 1,215 | 0,4 | -812459 | 0 | 0 | 4971415 | 6804000 | VRAI | -1832585 | 155,36 | 3500 | 0 | VRAI |
| N+2 | très faible | 100 | 50 | 1,215 | 0,4 | 1832585 | 0 | 0 | 4158956 | 425250 | FAUX | 1901121 | 155,36 | 3500 | 84388 | FAUX |
| N+3 | très bonne | 1600 | 950 | 1,215 | 0,4 | -1803798 | 0 | 0 | 5962754 | 6804000 | VRAI | -841246 | 155,36 | 3500 | 0 | VRAI |
| N+4 | Bonne | 1230 | 720 | 1,215 | 0,4 | 841246 | 0 | 0 | 4158956 | 5230575 | VRAI | -1912865 | 155,36 | 3500 | 0 | VRAI |
| N+5 | très faible | 100 | 50 | 1,215 | 0,4 | 1071619 | 0 | 0 | 4158956 | 425250 | FAUX | 2662087 | 155,36 | 3500 | 118166 | FAUX |
| N+6 | Moyenne | 850 | 500 | 1,215 | 0,4 | -2564765 | 0 | 0 | 6723721 | 3614625 | FAUX | 3109096 | 155,36 | 3500 | 138008 | FAUX |
| N+7 | Moyenne | 850 | 500 | 1,215 | 0,4 | -2135872 | 0 | 0 | 6294828 | 3614625 | FAUX | 2680203 | 155,36 | 3500 | 118970 | FAUX |
| N+8 | très bonne | 1600 | 950 | 1,215 | 0,4 | -1706980 | 0 | 0 | 5865936 | 6804000 | VRAI | -938064 | 155,36 | 3500 | 0 | VRAI |
| N+9 | Faible | 475 | 270 | 1,215 | 0,4 | 938064 | 0 | 0 | 4158956 | 2019937,5 | FAUX | 1200954 | 155,36 | 3500 | 53309 | FAUX |

| 2ème solution: : Produits de Rentes+ Migrants | | | | | | | | | | | 3ème solution : Live stock | | | | | | | |
|--|----------------------------|---------------|-----------------|------------|-----------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------|-----------|---|---|
| prix vente maïs Fcfa /kg | surplus S à vendre (F cfa) | qtité PR (kg) | prix PR (F cfa) | PR (F cFA) | M (F CFA) | Q _(PR+M) (F cFA) | Q _(PR+M) (kcal) | A - Q _(PR+M) (kcal) | A - Q _(PR+M) (F cFA) | A - Q _(PR+M) <0 | Prix vente Poule | prix vente chèvre | QI poules (qtité) | QI chèvres (qtité) | QI (F CFA) | QI (kcal) | A - Q _{PR+M} - Q _L (kcal) | A - Q _{PR+M} - Q _L <0 |
| 120 | 0 | 20 | 216 | 4320 | 0 | 4320 | 97322,34 | 3636383,652 | 161414 | FAUX | 750 | 23570 | 10 | 5 | 125350 | 2823925 | 812458,5747 | FAUX |
| 120 | 0 | 380 | 216 | 82080 | 0 | 82080 | 1849124,61 | -3681710,039 | -82080 | VRAI | 750 | 23570 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3681710,039 | VRAI |
| 120 | 0 | 20 | 216 | 4320 | 0 | 4320 | 97322,34 | 1803798,227 | 80068 | FAUX | 750 | 23570 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1803798,227 | FAUX |
| 120 | 0 | 380 | 216 | 82080 | 0 | 82080 | 1849124,61 | -2690370,387 | -82080 | VRAI | 750 | 23570 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2690370,387 | VRAI |
| 120 | 5538 | 288 | 216 | 62208 | 0 | 62208 | 1401441,81 | -3314306,586 | -62208 | VRAI | 750 | 23570 | 0 | 0 | 0 | 0 | -3314306,586 | VRAI |
| 120 | 0 | 20 | 216 | 4320 | 0 | 4320 | 97322,34 | 2564764,652 | 113846 | FAUX | 750 | 23570 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2564764,652 | FAUX |
| 120 | 0 | 200 | 216 | 43200 | 0 | 43200 | 973223,48 | 2135872,171 | 94808 | FAUX | 750 | 23570 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2135872,171 | FAUX |
| 120 | 0 | 200 | 216 | 43200 | 0 | 43200 | 973223,48 | 1706979,69 | 75770 | FAUX | 750 | 23570 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1706979,69 | FAUX |
| 120 | 0 | 380 | 216 | 82080 | 0 | 82080 | 1849124,614 | -2787188,924 | -82080 | VRAI | 750 | 23570 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2787188,924 | VRAI |
| 120 | 0 | 108 | 216 | 23328 | 0 | 23328 | 0 | 1200954,19 | 29981 | FAUX | 750 | 23570 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1200954,19 | FAUX |

Partie Intermédiaire

| L n1 | Ln2 | L n3 | ln4 | L n5 | S=B-PV | Sn (kcal) | T n1 | T n 2 | T n3 | T n3 | Tr (F cfa) | nb_chèvres achetées | nb_poules achetées | coût d'achat bétail |
|------|-----|------|-----|------|----------|-----------|-------|----------|------------|------------|------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| 15 | 15 | 15 | 15 | 0 | 3733706 | -812459 | 4320 | 4320,00 | -161413,88 | -36063,88 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1832585 | 1832585 | 82080 | 82080,00 | 82080,00 | 82080,00 | 82080 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3733706 | -1803798 | 4320 | 4320,00 | -80068,03 | -80068,03 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -841246 | 841246 | 82080 | 82080,00 | 82080,00 | 82080,00 | 82080 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1071619 | 1071619 | 67746 | 67745,80 | 62208,00 | 62208,00 | 67746 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3733706 | -2564765 | 4320 | 4320,00 | -113846,24 | -113846,24 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3109096 | -2135872 | 43200 | 43200,00 | -94808,31 | -94808,31 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2680203 | -1706980 | 43200 | 43200,00 | -75770,39 | -75770,39 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -938064 | 938064 | 82080 | 82080,00 | 82080,00 | 82080,00 | 82080 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2139019 | -1200954 | 23328 | 23328,00 | -29980,64 | -29980,64 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0 |

Partie Finale

| situation finale | | | | | | |
|------------------|--------------|----|-----------|------------|----------------|---------------|
| Année | Type d'année | Ln | Sn (Kcal) | Tr (F cfa) | nb chèbres ach | nb poules ach |
| N-1 | | | | | | |
| N | très faible | 0 | -812459 | 0 | 0 | 0 |
| N+1 | très bonne | 0 | 1832585 | 82080 | 0 | 0 |
| N+2 | très faible | 0 | -1803798 | 0 | 0 | 0 |
| N+3 | très bonne | 0 | 841246 | 82080 | 0 | 0 |
| N+4 | bonne | 0 | 1071619 | 67746 | 0 | 0 |
| N+5 | très faible | 0 | -2564765 | 0 | 0 | 0 |
| N+6 | moyenne | 0 | -2135872 | 0 | 0 | 0 |
| N+7 | moyenne | 0 | -1706980 | 0 | 0 | 0 |
| N+8 | très bonne | 0 | 938064 | 82080 | 0 | 0 |
| N+9 | faible | 0 | -1200954 | 0 | 0 | 0 |

Partie III

*Simulations Et Interprétation
Des Résultats*

Chapitre 1 : Choix des Exploitations Types et des conditions de simulations

Une fois que l'analyse de la dynamique du fonctionnement socio-économiques du système agricole sur le bassin versant de la Volta a été réalisé (tout en envisageant des solutions possibles au problème d'allocation des ressources alimentaires et la satisfaction des besoins), on va passer à l'étape suivante de notre travail qui consiste à tester ses solutions, afin de pouvoir évaluer la vulnérabilité des agriculteurs face au risque de sécheresse, et d'analyser le degré de variabilité spatiale de cette dernière à l'échelle du bassin.

Cette évaluation se base sur des simulations annuelles et pluriannuelles des comportements agricoles, et des résultats économiques des différentes exploitations agricoles face à un changement climatique de plus en plus prononcé dans cette région.

Les simulations proposées vont permettre aux acteurs concernés de commencer le dialogue autour d'exemples et de résultats concrets, et ensuite d'envisager leurs propres solutions pour faire face à de tel problème.

I. Choix des Exploitations Types :

Les exploitations agricoles qui ont été choisies pour effectuer les simulations, sont au nombre de quatre. Les trois premières représentent respectivement les trois sous-classes les plus importantes de la typologie des exploitations agricoles du Ghana effectuée précédemment (voir figure 10) ; à savoir : la sous-classe du Sorgho, celle du Maïs et enfin la sous-classe Cassava. Ces exploitations ont été choisies de façon qu'elles soient les plus représentatives possibles de leurs groupes respectifs.

La quatrième exploitation a été choisie parmi les exploitations agricoles appartenant au bassin versant de la Volta à Burkina Faso. Cette dernière se caractérise par une culture céréalière très caractéristique de cette région nordique du bassin versant, à savoir le Mil.

Ces quatre exploitations types font partie de l'ensemble des exploitations agricoles présentées dans les enquêtes agricoles. Donc on dispose pour ces exploitations de plusieurs informations concernant leurs productions (en cours de l'année d'enquête). Certaines de ces informations seront applicables et fixes pour toutes les années d'études (les superficies, localisation, les types de cultures...), d'autres seront variables en fonction des données des statistiques agricoles et surtout du type de l'année (rendement, production, stock...).

Le but visé par le choix de ses exploitations agricoles, réside surtout dans le fait de pouvoir comparer le fonctionnement socioéconomique des classes d'exploitations agricoles les plus prépondérantes sur le territoire d'étude, et de pouvoir élargir cette analyse à l'échelle de tout le bassin versant, en le parcourant du nord au sud, pour pouvoir par la suite évaluer le degré de variabilité spatiotemporelle de la vulnérabilité à ce niveau.

Les caractéristiques de ses exploitations sont représentées dans le tableau 8.

Tableau 8 : caractéristiques des exploitations types.

| | S_Totale (ha) | S_Maïs (ha) | S_Riz (ha) | S_Sorgho (ha) | S_Mil (ha) | S_arachide (ha) | S_Cassava (ha) | caprins | poulets | ovins | Autres Volailles |
|---------------------------------|------------------|----------------|---------------|------------------|---------------|--------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Exploitation Maïs | 1,62 | 1,22 | | | | 0,4 | | 5 | 10 | | |
| Exploitation Sorgho | 1,01 | | 0,2 | 0,61 | | 0,2 | | 1 | 6 | | |
| Exploitation Cassava | 2,4282 | 0,6082 | | | | | 1,82 | 2 | 5 | 5 | 18 |
| Exploitation Mil | 1,0383 | | | 0,6632 | 0,285 | | | Manque de données | Manque de données | Manque de données | Manque de données |

On remarque dans ce tableau, qu'il n'y a pas de données concernant le bétail pour l'exploitation du Mil. Ce manque d'information est relatif à l'ensemble des exploitations agricoles à Burkina Faso. En fait, la seule information dont on dispose à ce niveau, concerne la présence ou l'absence du bétail dans chaque exploitation, sans pour autant savoir le nombre et /ou le genre de ce dernier.

Pour cela et afin d'avoir des résultats le plus cohérents possible avec la réalité, nous allons essayer d'estimer le nombre de bétail de cette exploitation type en se basant sur des données bibliographiques.

En effet, si on se réfère au tableau 9 suivant, qui présente les différents caractéristiques des ménages de deux villages appartenant à Burkina Faso ; la première (Donsin) est située dans la partie sub-sahélienne du territoire alors que la deuxième (Thiougo) représente la partie nord soudanienne; on peut attribuer approximativement à notre exploitation type un nombre et un genre de bétail assez représentatifs.

Tableau 9 : Caractéristiques des différents ménages des villages de Donsin et Thiougo

| Type de ménage agricole | Donsin | | | Thiougo | | |
|-------------------------|--------|-------|--------|---------|-------|--------|
| | Riche | Moyen | Pauvre | Riche | Moyen | Pauvre |
| Superficie moyenne (ha) | 10,75 | 7,75 | 4,30 | 9,25 | 8,76 | 4,7 |
| Population totale | 14 | 10 | 7 | 14 | 10 | 7 |
| Nombre d'actifs | 7 | 5 | 4 | 7 | 5 | 4 |
| Bovins | 8 | 1 | 0 | 17 | 2 | 1 |
| Ovins | 8 | 8 | 2 | 8 | 2 | 1 |
| Caprins | 10 | 14 | 2 | 7 | 3 | 2 |
| Anes | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Charrue | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| Charrette | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |

D'après les données qu'on a de notre exploitation type du Mil, on remarque que celle-ci possède une très faible superficie qui lui permet de se classer, selon le tableau ci-dessus, parmi les exploitations les plus pauvres du Burkina Faso. Et vu que les ovins et les caprins sont plus prépondérants et plus facilement vendus que les bovins; qui sont en plus utilisés pour d'autres fins (comme le transport ...); on va choisir donc les caractéristiques du bétail des ménages de Donsin plutôt que celles de Thiougo.

Ainsi pour la suite de notre étude on va supposer que l'exploitation type du Mil possède deux ovins et deux caprins.

D'autre part, le choix de ces exploitations types est relatif aussi à leurs emplacements. Puisque, grâce à leurs coordonnées de projection des centroïdes, on pourrait localiser leurs situations géographiques sur le bassin versant.

Leur emplacement sur la carte des systèmes des cultures du bassin versant de la Volta (figure 14), correspond respectivement aux zones suivantes :

L'exploitation sorgho appartient à la zone 4 (centre du Ghana).

L'exploitation Maïs appartient à la zone 3 (Nord Est du Ghana).

L'exploitation Cassava appartient à la zone 7 (Sud Est du Ghana).

L'exploitation Mil appartient à la zone 1 (localisée à Burkina Faso, à l'extrême nord du bassin versant).

Ainsi le rang des différentes exploitations types, en se déplacent du nord vers le sud du bassin versant de la Volta, est comme suit: Vers l'extrême nord du bassin, on trouve l'exploitation du Mil, suivie par l'exploitation du Maïs qui se situe vers le centre du bassin versant et à l'extrême Nord Est du Ghana. L'exploitation du Sorgho vient par la suite avec un emplacement beaucoup plus centré du bassin et du Ghana, et enfin vers le sud du bassin, on trouve l'exploitation de Cassava.

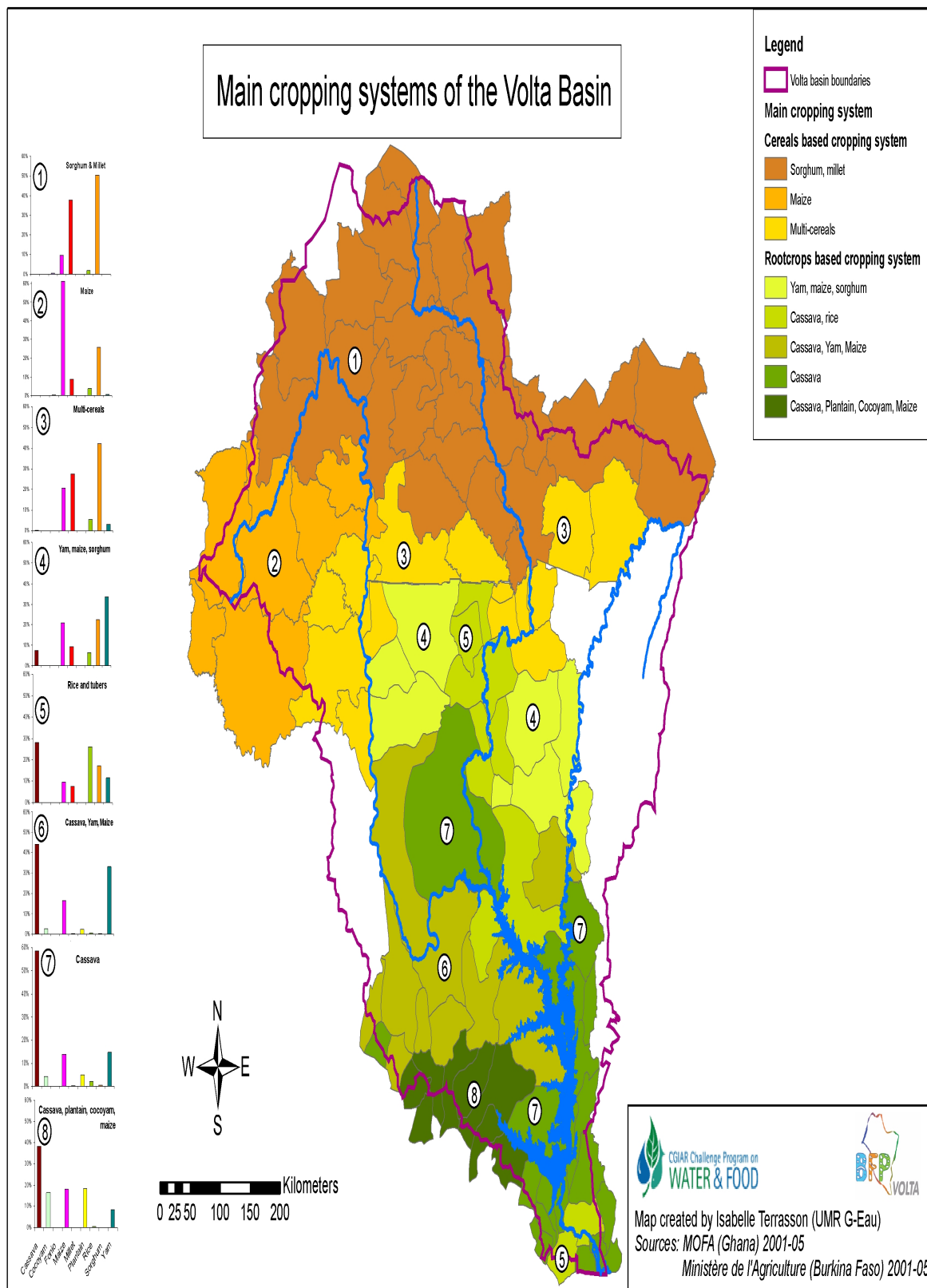


Figure 14 : Principaux Systèmes de culture du bassin versant de la Volta.

II. Choix des années de simulations

On a vu précédemment, qu'on dispose de données pluviométriques qui couvrent une trentaine d'années, et qui nous ont servi pour la détermination des différents types ou classes d'années. Leur succession chronologique dans le temps va nous permettre de distinguer trois séries de dix ans réparties comme suit :

| Première décennie de 1951 à 1960 | Deuxième décennie de 1961 à 1970 | Troisième décennie de 1971 à 1980 |
|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1951 très faible | 1961 très faible | 1971 faible |
| 1952 moyenne | 1962 très bonne | 1972 Très bonne |
| 1953 bonne | 1963 très faible | 1973 Faible |
| 1954 bonne | 1964 très bonne | 1974 bonne |
| 1955 bonne | 1965 Bonne | 1975 faible |
| 1956 très bonne | 1966 très faible | 1976 très bonne |
| 1957 bonne | 1967 Moyenne | 1977 Très faible |
| 1958 moyenne | 1968 Moyenne | 1978 faible |
| 1959 bonne | 1969 très bonne | 1979 faible |
| 1960 moyenne | 1970 Faible | 1980 Très faible |

Au cours de nos simulations pluriannuelles, nous n'allons utiliser que la première et la dernière décennie, vu que ses deux séries représentent des caractéristiques très importantes pour notre étude. En effet, au cours de la première période, les paramètres climatiques étaient très favorables au développement agricole et économique des exploitations, tandis que la dernière décennie représente la période de crise agricole, au cours de laquelle on a observé des phénomènes de changement climatique, avec des périodes de sécheresse très sévères et une variabilité pluviométrique remarquable, qui ont touché de façon considérable ces pays de l'Afrique de l'ouest.

Si on observe la répartition des différents types d'années sur la première décennie, on remarque que 6 ans sur 10 sont des bonnes à très bonnes années, 3 années sont de type moyen et une seule année de type très faible. Par contre, pour la troisième décennie, la fréquence et la répartition des types d'années changent complètement, puisqu'on a 7 années sur 10 qui sont de type faible à très faible, contre 3 années de type bon et très bon.

Ce changement en répartition et en fréquence des types d'années, montre bien l'impact de la variabilité climatique à partir des années 70.

III. Autres conditions de simulations

III.1. Les apports des migrants

A la base, on n'a aucune information en ce qui concerne les apports extérieurs des migrants aux différentes exploitations agricoles de notre zone d'étude, donc on va poser les deux hypothèses suivantes pour pouvoir faire les simulations ultérieures :

Hypothèse 1 : on suppose que pour chaque exploitation type, il n'y a qu'une seule personne migrante qui contribue financièrement à l'aide familiale et à la gestion de l'exploitation.

Hypothèse 2 : on suppose que l'aide moyenne de cette personne est de l'ordre de 100000 F cFa, vu que le PIB moyen dans cette région avoisine les 200000 FcFa. Donc on va supposer que les migrants ayant un salaire équivalent au PIB moyen, vont conserver à peu près la moitié pour leurs besoins, et envoyer le reste pour aider leurs familles et contribuer à la gestion des exploitations agricoles.

III.2. Seuil d'achat du bétail :

Pour chaque exploitation on va fixer un seuil à la trésorerie, à partir duquel les agriculteurs peuvent acheter du bétail et améliorer leurs stocks sur pieds.

En effet, ce seuil est choisi sur la base de plusieurs tests effectués pour chacune des exploitations types dans les conditions les plus favorables (décennie 51-60, apport des migrants...). Les résultats de ces simulations tests, vont nous permettre de comparer la trésorerie obtenue tout au long des dix années, pour pouvoir choisir un montant qui soit à la fois assez important (proche des plus grandes valeurs de la trésorerie enregistrée sur ces dix années) pour qu'il puisse répondre aux autres besoins de la famille, mais qu'il soit aussi accessible pour qu'il permette aux agriculteurs d'acheter du bétail, au moins une fois et au maximum trois fois sur les dix années de simulations. Ce seuil est très variable d'une exploitation à une autre, puisqu'on n'a pas les mêmes ressources ni le même niveau de vie au niveau de chaque zone.

Tableau 10 : Seuil d'achat du bétail.

| | Exploitation Mil | Exploitation Maïs | Exploitation Sorgho | Exploitation Cassava |
|----------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| Seuil en FcFa | 27000 | 180000 | 150000 | 1800000 |
| Seuil en \$ | 64.55 | 430.36 | 358.63 | 4303.6 |
| Seuil en € | 41.12 | 273.13 | 228.44 | 2741.4 |

On observe une grande différence entre le seuil de l'exploitation située à Burkina Faso et celles situées au Ghana. Cette différence peut s'expliquer par le fait que les exploitations à Burkina Faso sont dans la majorité des cas de type pauvre à très pauvre, en plus le niveau de vie dans ce pays est beaucoup moins important que celui au Ghana, aussi les conditions climatiques et naturelles dans cette région sont plus défavorables à l'amélioration de leur situation qui reste très critique.

Du côté du Ghana, le problème de pauvreté est moins ressenti, avec un niveau de vie, des revenus et des conditions naturelles beaucoup plus adéquates que celles du Burkina faso.

III.3. Choix monétaire : Franc CFA

Le choix de cette unité monétaire est en relation avec l'importance de son utilisation à l'échelle de cette région de l'Afrique, puisqu'on dénombre plusieurs pays qui ont le F CFA comme unité monétaire principale, dont le Burkina Faso.

Donc pour faciliter notre travail, nous avons essayé d'uniformiser la même unité monétaire pour les différents pays étudiés, au lieu d'avoir pour chaque pays une unité spécifique qui compliquera encore plus le calcul et les simulations (conversions...).

Compte tenu du manque de données concernant les fluctuations des prix d'une année à une autre, et en vue de faciliter les calculs et la comparaison entre deux périodes de conditions climatiques différentes, on a supposé que la variabilité de la valeur d'1 F cFa d'une période à une autre et d'une année à une autre, reste constante dans le temps

III.4. Condition initiale des simulations des deux périodes (1951 à 1960 et de 1971 à 1980)

Pour les deux premières années des deux séries de simulations (1951 et 1971), on a supposé que les caractéristiques des exploitations à étudier à ces dates précises, sont les mêmes que celles présentées dans les enquêtes (à savoir : le nombre de bétail, la superficie et les types des cultures, les besoins), le reste va changer selon les types d'années (les rendements, les productions...).

En effet, pour le reste des années, on garde toujours les mêmes données des superficies et des types des cultures (qui sont des données fixes), et pour les autres données c'est les résultats de l'année précédente (n-1) (stock, nombre de bétail...), et le type de l'année en question (n), qui conditionnent les données variables (bétail, stock, trésorerie...) et les résultats obtenus en fin de simulation.

Chapitre 2 : Simulations annuelles et pluriannuelles du développement agricole des exploitations types.

Après avoir fixé les paramètres spatiales (exploitations types) et temporelles (choix des décennies) de notre étude, on va passer à la partie des simulations afin de tester les solutions agricoles proposées lors de notre analyse, de comparer le comportement des différentes exploitations face aux changements climatiques, et d'évaluer l'impact de ces perturbations sur leur vulnérabilité et leur gestion.

La première série de simulations concernent l'ensemble des exploitations types, sur les deux périodes d'études choisies précédemment, mais sans prendre en considération l'apport extérieur des migrants. Ensuite, et dans un deuxième temps on va faire une autre série de simulations où on va prendre en compte ce moyen d'ajustement, en utilisant le montant moyen de cet apport fixé précédemment pour toutes les exploitations agricoles.

Il faut noter que dans ce qui suit, les valeurs de la trésorerie pour une exploitation donnée et sur les deux périodes d'études seront normalement représentées sur le même graphique, car le but étant surtout de comparer l'évolution de cette dernière, sous des mêmes conditions (même valeur monétaire, mêmes superficies, même cultures...) mais sur deux périodes différentes, afin d'évaluer l'impact des changements climatiques et pluviométriques sur la variation de la trésorerie, qui reflète à son tour le degré de vulnérabilité des agriculteurs face à ces changements.

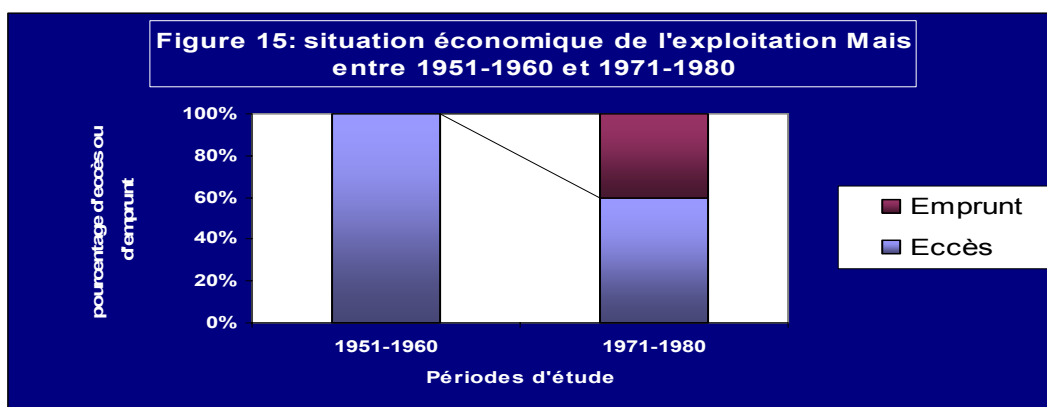
I. Simulations sans apport extérieur des migrants

Avec les mêmes hypothèses de travail, et en faisant des simulations sans apport extérieur des migrants, on a obtenu les résultats suivants pour différentes exploitations types :

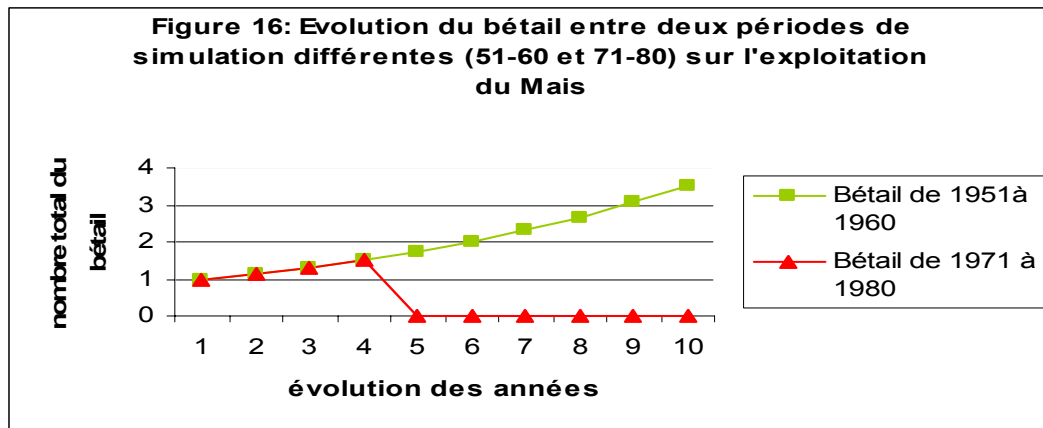
I.1. Cas de l'exploitation de Maïs :

La simulation pluriannuelle du fonctionnement de cette exploitation durant les deux périodes de 1951-1960 et 1971-1980, nous a permis d'avoir les résultats suivant :

L'analyse de la situation économique finale de cette exploitation, montre une baisse de 40% des fréquences des années où on a un état excédentaire entre la première décennie, caractérisée par des conditions climatiques favorables au développement agricole, et la deuxième décennie d'étude qui se caractérise par des variabilités pluviométriques et des périodes sèches très importantes (figure 15).

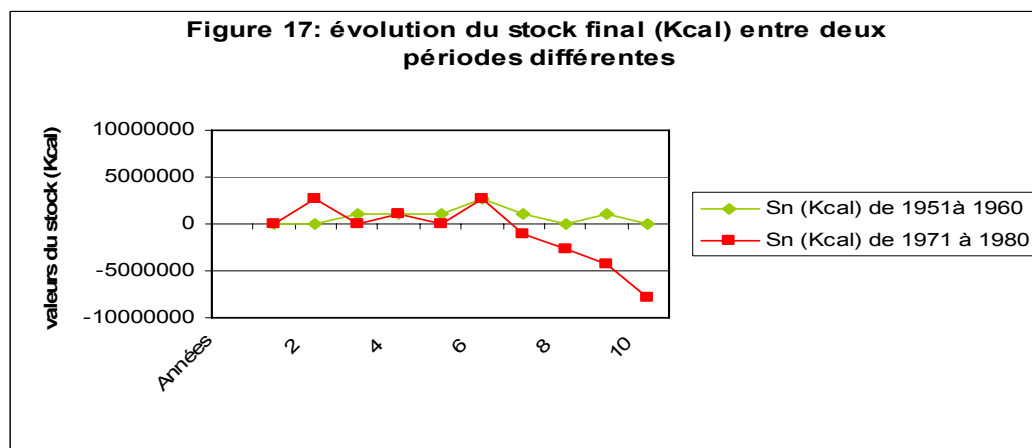


La dégradation de cette situation économique de cette exploitation, peut être observée aussi par l'étude de l'évolution du bétail, qui au cours des années 1951 jusqu'à 1960 connaît une évolution progressive et continue au cours du temps, alors qu'au cours des années 1971 jusqu'à 1980 on assiste à une chute du nombre du bétail qui s'annule suite à une utilisation totale au cours d'une année de type faible, et qui n'a pu être restauré à nouveau à cause des situations économiques défavorables de l'exploitation dans les années qui suivent.



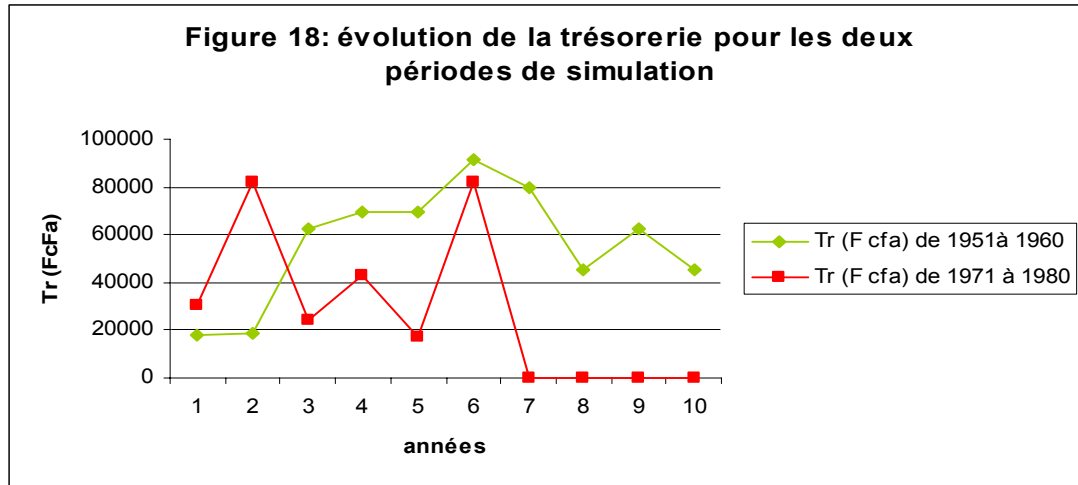
Pour le stock végétal, il suit la même évolution du bétail puisque au cours de la première décennie le stock reste toujours positif et l'exploitation arrive à dégager des réserves pour l'année suivante. Tandis que pour la deuxième décennie, le stock au départ est supérieur au premier épisode d'étude vu que la première année est de type faible, contre une année très faible pour la décennie 51-60, mais par la suite, ce stock diminue de plus en plus jusque ce qu'il devient négatif.

En effet, à chaque fois que le stock est négatif, ça signifie que l'agriculteur a besoin d'emprunter l'équivalent de cette valeur de $S(n)$ pour subvenir aux besoins. C'est pour cela que cette valeur négative sera prise en compte l'année suivante comme étant des besoins en plus, et qui doivent être remboursés (Figure 17).



Pour la trésorerie, c'est la même chose, on remarque qu'elle est assez importante pour la période 51-60, alors qu'elle devient de plus en plus faible au cours des années 71-80, jusqu'à devenir nulle pour les dernières années de cette période (Figure 18).

Comme précédemment, la variation des pics des deux premières années des deux périodes de simulations, s'explique par leurs types d'années qui est faible pour l'une et très faible pour l'autre.



En fait, plus la succession des années mauvaises augmente, plus les pertes et les manques deviennent de plus en plus importants.

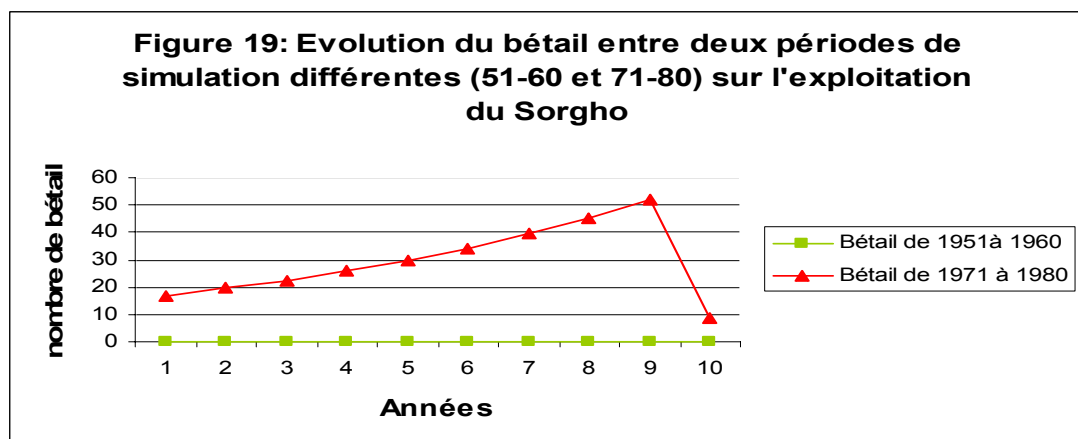
I.2 Cas de l'exploitation de Sorgho

Pour les deux périodes de simulations, les mêmes résultats ont été obtenus quant à la situation finale de l'exploitation, puisqu'on a eu 100% d'années excédentaires au cours des deux décennies. Donc par cette information on ne peut pas vraiment conclure quant à l'impact de la variabilité climatique sur la gestion, le développement, et la vulnérabilité de cette exploitation face au risque de sécheresse.

En effet, à première vue, cette exploitation semble être non vulnérable, mais pour en savoir plus, il vaut mieux analyser les autres paramètres d'évaluation de la situation économique de l'exploitation à savoir : le bétail, le stock et la trésorerie ; qui représentent des meilleurs indicateurs quant à l'évaluation de la situation financière de l'exploitation avant et au cours des périodes de sécheresse.

En effet, on va commencer par l'évolution du bétail qui, pour la première période, a été utilisé en totalité et d'un seul coût au cours de la première année, et suite à ça et durant toutes les années qui suivent, la trésorerie n'était pas assez importante pour pouvoir acheter du nouveau bétail, mais elle suffisait juste pour subvenir aux autres besoins de la famille.

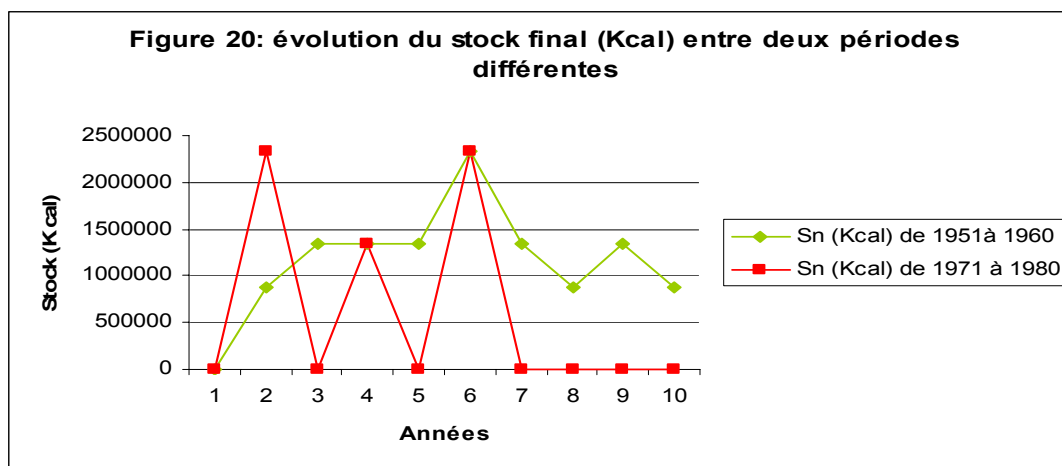
Pour la deuxième période et malgré une évolution continue du bétail d'une année à une autre, vers la dernière année, le manque était assez important qu'on a été obligé de vendre la majorité du bétail de l'exportation (figure 19).



Encore une fois, l'évolution du nombre de bétail n'était pas suffisante pour évaluer la situation économique de l'exploitation, puisque cet indicateur était au contraire, beaucoup plus développé au cours de la période critique de notre simulation.

C'est l'analyse du stock qui va nous permettre réellement de dégager des conclusions relatives à la situation agro-économique de l'exploitation. En effet, d'après la figure 20, on remarque que durant la première décennie (51-60) le stock est toujours positif et plus important que durant la deuxième période, sauf pour le premier pic de chaque série, où le type d'année fait la différence.

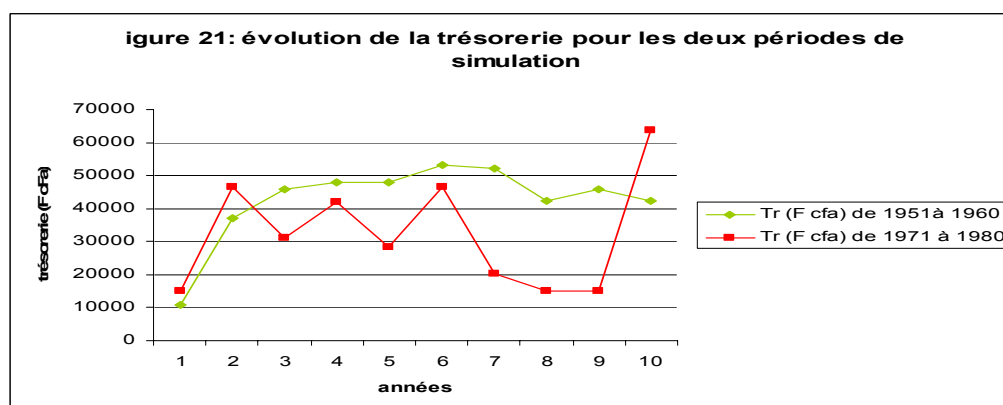
Pour les années 71-80, le stock démarre très fort puis au fil des années, il perd son importance et s'annule vers les 4 dernières années de la décennie.



Le cumul des stocks durant les deux décennies, montre aussi ces variabilités de comportements entre deux épisodes climatiques différents. En effet, entre 1951 et 1960 le cumul étant égal à 1.1738.159 Kcal, et pour la période 1971-1980, ce cumul est équivalent à 603.0105 Kcal, soit à peu près la moitié de ce qui a été enregistré pour la première décennie.

La trésorerie représente un autre paramètre d'évaluation économique de la situation de l'exploitation agricole. Dans notre cas et selon la figure 21, on observe que celle-ci est en évolution continue pour les années 1951 jusqu'à 1960. Alors que pour les années de 1971 à 1980, on remarque que la trésorerie est supérieure à la première décennie en seulement deux points, pour le reste elle est toujours inférieure.

Le premier point de flambée de la trésorerie de la deuxième décennie face à la première, étant la première année, ceci peut être expliqué par la variation de type d'année (très faible pour la première et faible pour la deuxième), le deuxième point est observé lors de la dernière année de simulation, où la valeur de trésorerie est assez importante pour la deuxième période, à cause du fait qu'au cours de cette année un très grand nombre de bétail à été vendu, donc il y a eu un surplus ajouté à la trésorerie suite à cette vente.



Le cumul de la trésorerie pour les deux périodes d'étude, montre que la valeur de celui-ci durant 1951-1960 (égale à 425.815 F cFa) est assez supérieure à celle enregistrée durant la deuxième période, et qui est équivalente à 324.342 FcFa; soit avec une diminution de 25% .

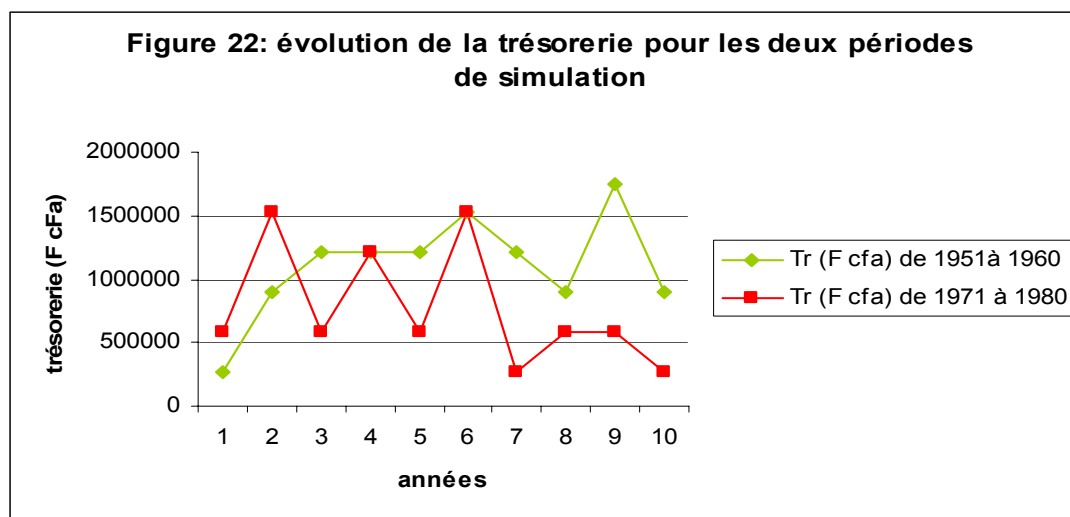
I.3. Cas de l'exploitation de Cassava

La première chose qu'on peut signaler pour cette exploitation, est que sur les deux décennies on a enregistré que des cas excédentaires. En plus, l'évolution du nombre du bétail était identique entre les deux périodes, et il n'y a pas eu recours à la vente du bétail en aucune année, puisque la vente de la production de Cassava va permettre dans tout les cas de combler les besoins.

Le stock quant à lui est toujours nul pour toutes les années, puisque la production du Maïs ne sera pas suffisante pour satisfaire les besoins, qui seront comblés en revanche par l'achat de la quantité nécessaire de céréales grâce à la vente de Cassava.

Donc tous les paramètres cités ci-dessus sont stagnants et ne permettent pas de juger les changements ressentis sur la situation économique de l'exploitation entre les deux périodes d'études, seule la trésorerie peut nous éclairer à ce sujet.

En effet, grâce à la figure 22, on peut montrer qu'il y a une différence très importante entre l'évolution de la trésorerie entre 1951-1960, qui se caractérise par une évolution continue et toujours plus importante par rapport à la deuxième période 1971-1980 où on observe une chute de cette dernière.



Cette chute est plus marquante si on compare le cumul de la trésorerie au cours des deux épisodes, puisque au cours de la première, on cumule un montant de 11.077.861 F cFa, contre une somme de 7.714.962 FcFa pour la deuxième période, soit une diminution de l'ordre de 31%. Ce qui représente une baisse considérable.

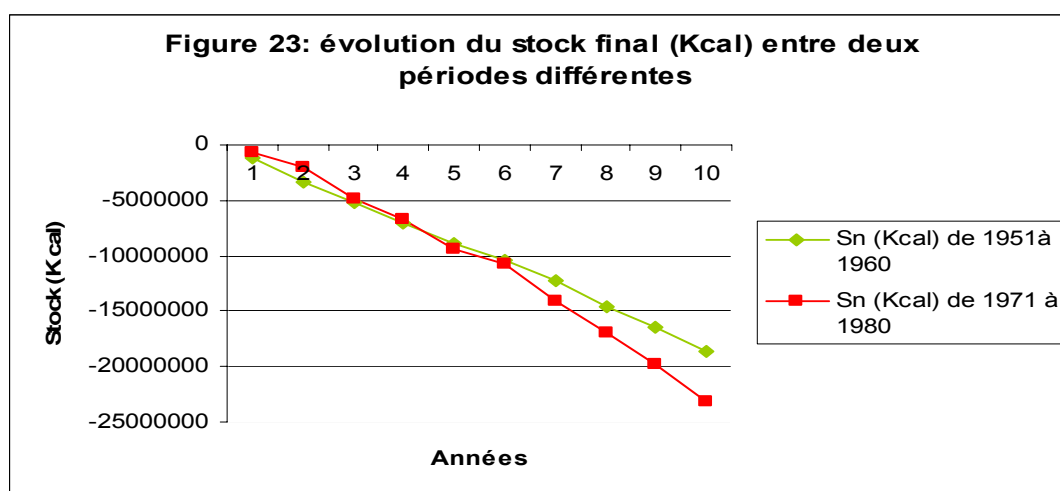
I.4. Cas de l'exploitation du Mil

Le cas de l'exploitation du Mil est un cas très particulier puisqu'il va nous permettre de comparer, sous les mêmes conditions, deux comportements et deux réponses agricoles différentes de deux zones différentes sur le même territoire (le bassin versant de la Volta).

Cette exploitation illustre bien la situation très critique à laquelle sont confrontés les agriculteurs de la région amont du bassin versant. En effet, les simulations établies sur cette exploitation montrent une situation déficitaire tout au long des deux décennies d'étude. Cette situation s'explique par la baisse

importante des rendements à cause du manque des ressources en eau et de la pauvreté, et qui s'aggrave en plus avec les variations climatiques défavorables.

La variation du stock, qui est toujours négatif, entre les deux périodes, montre une accentuation de ce déficit avec la variabilité climatique observée depuis les années 70 (Figure 23).



Le tableau 9 suivant, résume les besoins et les manques en Kcal observés durant les deux périodes de simulations. Ce tableau montre que l'exploitation agricole n'arrive même pas à satisfaire la moitié des besoins, et que ce déficit devient de plus en plus récurrent et important avec la variabilité climatique, ce qui explique l'accroissement de la famine et de la malnutrition de cette zone.

Tableau 11 : Comparaison entre manque et besoin de l'exploitation type du Mil entre les deux périodes d'étude.

| | BESOINS | Manque (Kcal) | Manque (%) |
|------------------|----------|---------------|------------|
| 1951-1960 | 38967040 | 18704481,58 | 48 |
| 1971-1980 | 38967040 | 23169607 | 59 |

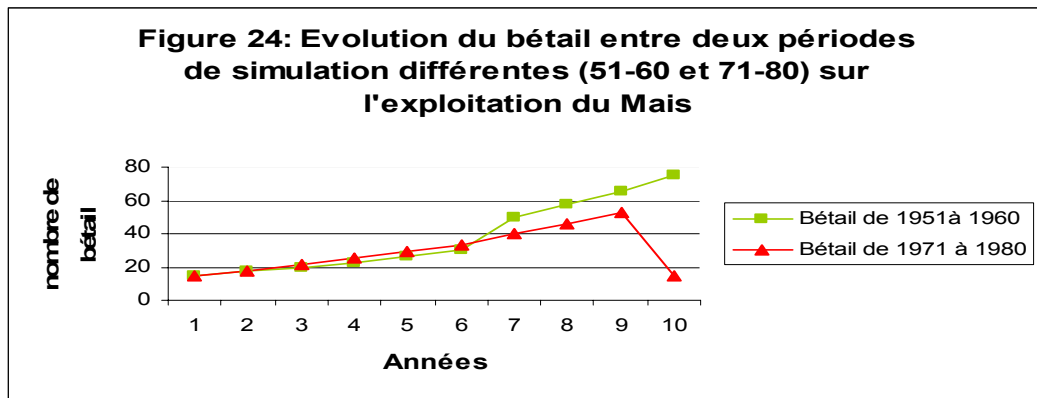
II. Simulations avec apport extérieur des migrants

Dans la deuxième série de simulations, on va prendre en considération la possibilité d'apport extérieur, pour essayer d'évaluer l'importance de ce moyen d'ajustement dans la bonne gestion des exploitations agricoles et la lutte contre les mauvaises circonstances.

II.1. Cas de l'exploitation de Maïs

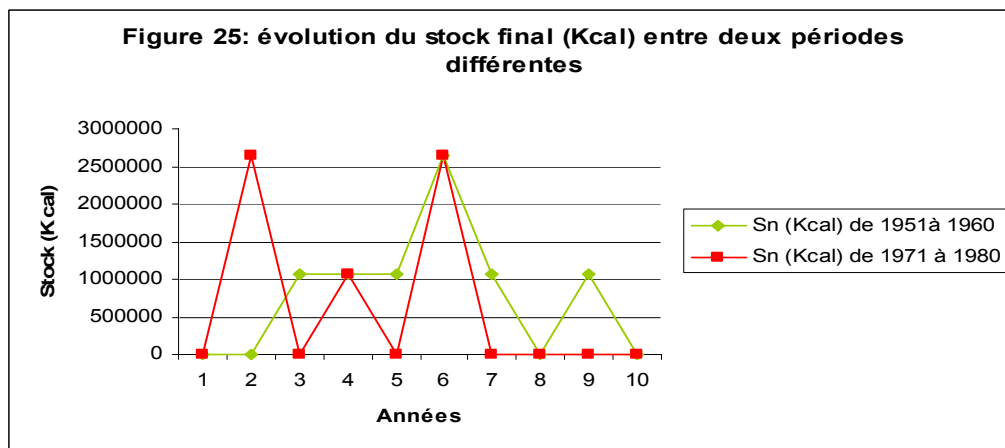
Pour cette exploitation et grâce aux apports extérieurs, la situation financière de celle-ci s'est améliorée pour toutes les périodes de simulations. Puisque pour les deux séries d'années, on a observé 100% de situations excédentaires, et qui diffère complètement de la situation sans apports des migrants, qui au cours de laquelle on a dénombré 40% des cas déficitaires durant les années 1971 à 1980.

Pour le bétail, on a observé une amélioration remarquable entre le cas sans apport et avec apport. En effet, avec les apports extérieurs, l'exploitant a pu acheter du nouveau bétail et donc améliorer son stock sur pied. En plus, pour la période 1971-1980, on remarque une évolution continue du nombre de bétail qui ne s'est pas annulée comme dans le cas de la première série de simulation (sans apport), cette évolution reste toute fois moins importante que celle enregistrée pour les années 51-60 (Figure 24).



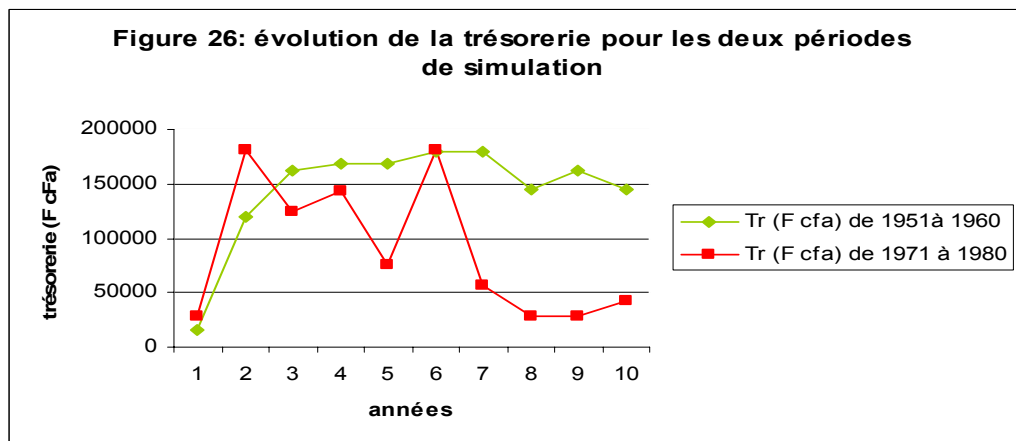
Le stock quant à lui, présente une évolution positive pour les deux périodes. Situation qui n'était pas observée lors des simulations sans apports des migrants, où on a enregistré 4 valeurs négatives du stock, synonyme de déficit et d'emprunt pour la série d'années 71-80.

En revanche, pour cette série de simulation avec apports, le stock reste important, surtout pour la première période, et au pire il s'annule pour la deuxième période.



Pour la trésorerie, elle est très développée au cours des deux périodes d'étude, avec toujours plus d'importance pour la série d'années 1951-1960. Mais en gros, la trésorerie marque une augmentation remarquable entre les deux cas de simulation, avec et sans apports.

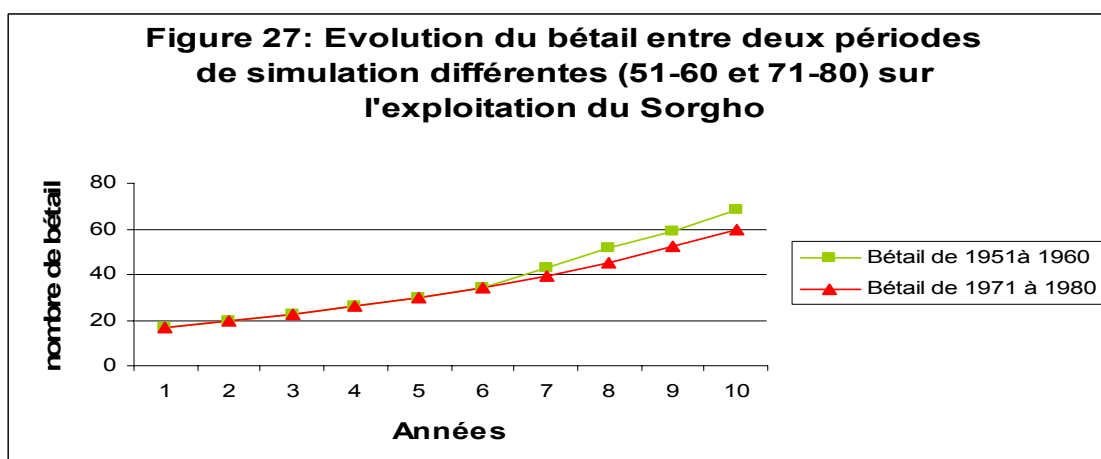
Par exemple, pour la période 71-80, le cumul de la trésorerie avec apports des migrants est trois fois plus important que celui enregistré sans apports extérieurs.



II.2. Cas de l'exploitation de Sorgho

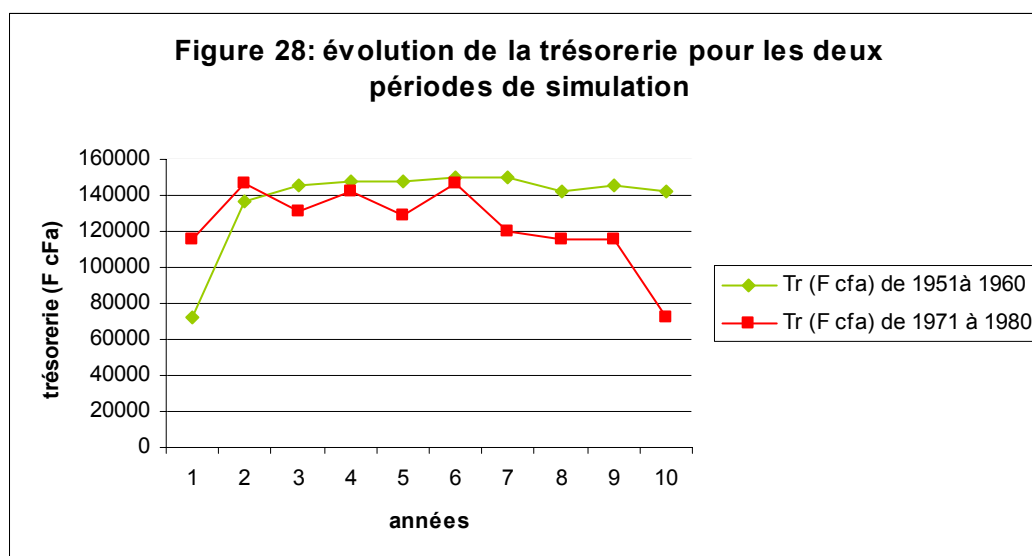
La situation finale de cette exploitation est à 100% excédentaire sur l'ensemble des deux périodes. Quant au bétail, il se caractérise par une ascension continue, qui s'est améliorée avec l'achat de nouveaux animaux pour la première série d'année, ce qui explique sa légère flambée sur les quatre dernières années par rapport à la deuxième période.

Il faut noter aussi qu'il n'a pas eu recours à la vente d'animaux tout au long de nos périodes de simulations, contrairement à ce qui a été observé au cours du premier cas de simulation sans apports, où le cheptel s'est annulé dès son utilisation au cours de la première année de la période 51-60, alors que pour la deuxième série d'année une chute du nombre de bétail a été observée vers la fin de la décennie.



En ce qui concerne le stock, il n'y a pas eu de changement par rapport à la première série de simulation sans apports des migrants, vu que les besoins ont toujours été comblés par différentes autres solutions, et sans avoir recours à des emprunts. Donc l'apport des migrants va surtout agir sur la vente du bétail et sur la modification de la trésorerie.

Pour cette dernière, on remarque une augmentation très importante pour les deux périodes de simulation. Cette augmentation est estimée à plus que trois fois, pour les deux périodes, que la trésorerie obtenue lors de la première série de simulation sans apports.

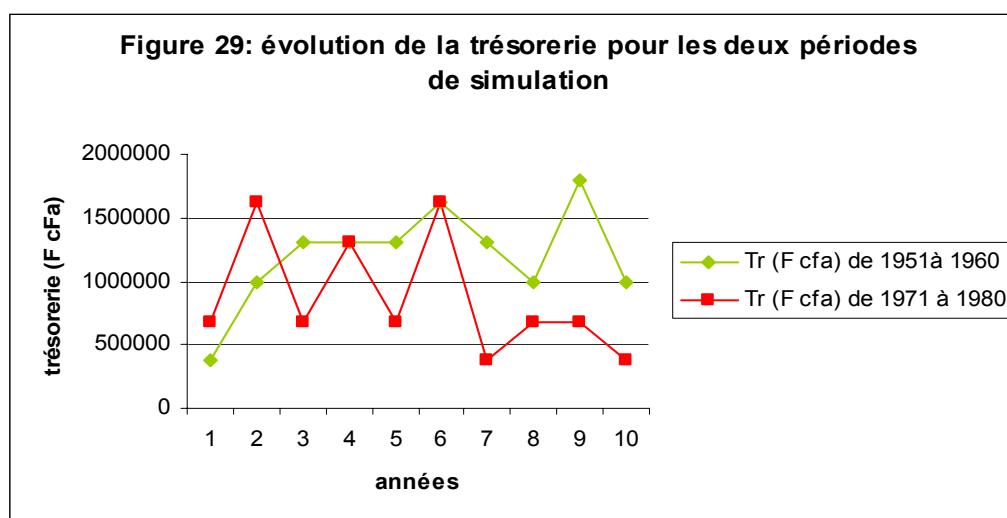


II.3. Cas de l'exploitation de Cassava

En ce qui concerne cette exploitation, les situations économiques finales sont toujours excédentaires pour toutes les séries et les périodes d'études.

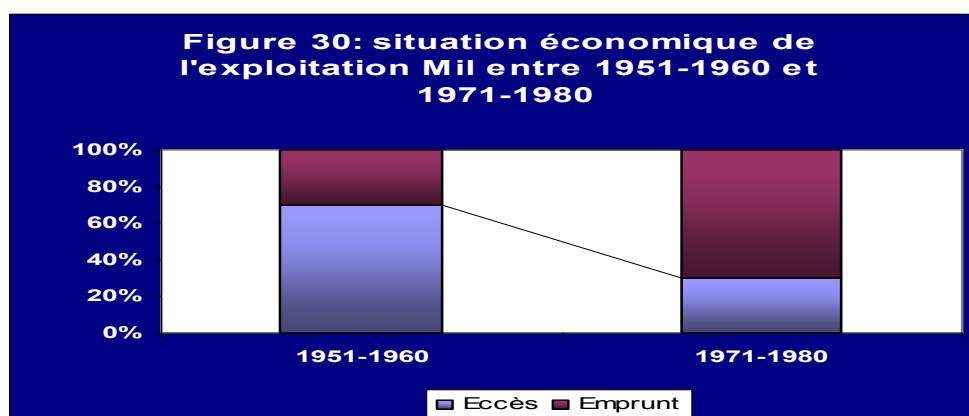
Le nombre de bétail et le stock végétal n'ont pas subi de modifications par rapport aux résultats obtenus lors de la première série de simulations sans apport des migrants. Cela s'explique par le fait que l'exploitation était toujours excédentaire grâce aux apports de Cassava donc, ni le stock ni le bétail ne seront changés si on augmente le capital monétaire de cette exploitation, seule la trésorerie se trouve affectée par ses apports.

En effet, même l'évolution de cette trésorerie au cours des deux périodes de simulation (51-60 et 71-80), reste identique avec celle qu'on a observé au cours de la première série de simulation sans apports, la seule chose qui change ce sont les valeurs de cette trésorerie qui augmente de 100000 F cFa chaque année.



II.4. Cas de l'exploitation type Mil

L'importance des apports des migrants, comme moyen d'aide à la gestion des exploitations agricoles, sera vraiment approuvée par l'analyse de la situation économique de l'exploitation Mil, qui passe d'une situation déficitaire à 100% au cours de la première série de simulations (sans apports des migrants), vers une situation bien meilleure, où on enregistre 70% de situations excédentaires pour la période 1951-1960, contre 30% pour la période 1971-1980 (Figure 30).

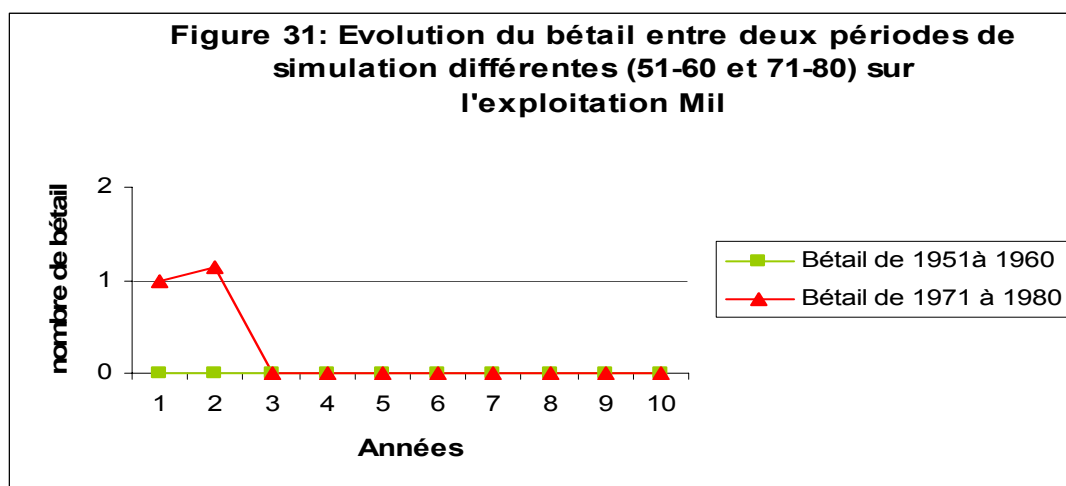


Pour le bétail, et malgré que le nombre de ce dernier va finir par s'annuler pour les deux périodes d'études, celui-ci marque quand même une petite évolution au cours des deux décennies, ce qui n'était pas le cas lors de la première série de simulation sans apports.

Cette évolution se caractérise pour la période (71-80), par une conservation du capital bétail pour la première année de simulation qui s'améliore de 15% au cours de la deuxième année, avant de s'annuler dans l'année qui suit.

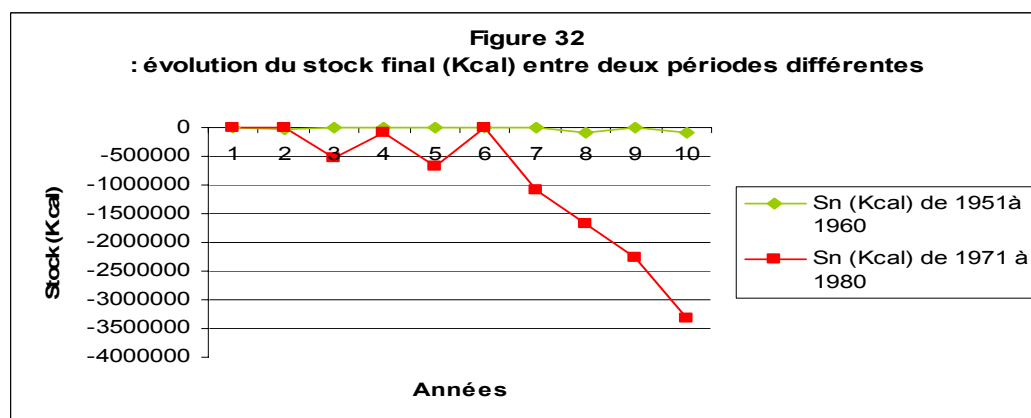
En ce qui concerne le cas de la première décennie (1951-1980), au cours de la première année de simulation, on va épuiser notre capital bétail afin de satisfaire les besoins, mais vers la fin de cette même année le montant de la trésorerie cumulé durant cette période va nous permettre d'acheter un autre genre d'animal (moins cher) qui sera à son tour vendu au cours de l'année suivante.

Cette situation diffère complètement de celle observée lors de la première série de simulation, et où le nombre de bétail s'annule complètement dès la première année d'étude pour les deux périodes.



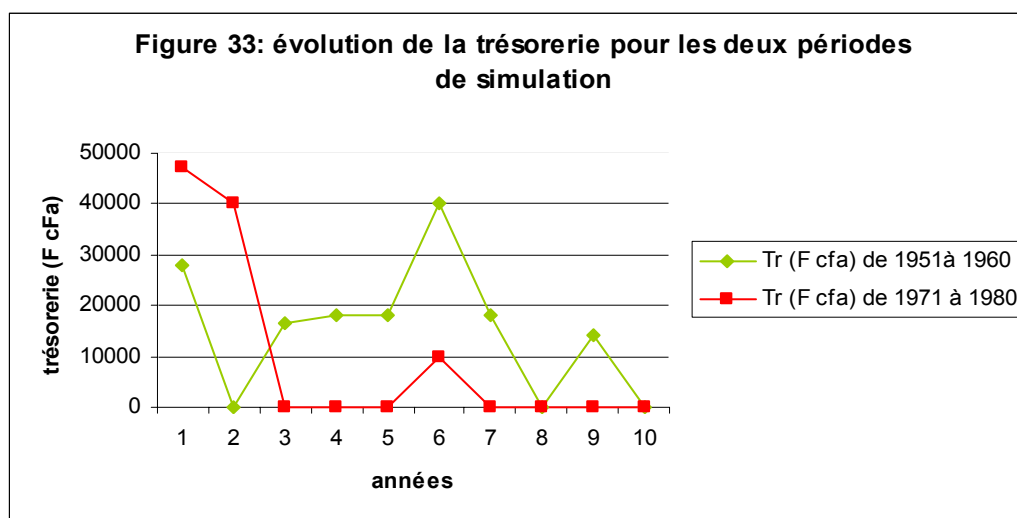
Pour le stock végétal, c'est toute une autre évolution qu'on observe sur cette figure 32, par comparaison avec celle de la figure 23, où le stock était toujours négatif durant les deux périodes d'études, vu que la situation de l'exploitation était déficitaire à 100%.

Par contre après apports des migrants, la situation s'est améliorée, et le stock est devenu nul au lieu d'être négatif pour la décennie 51-60, par contre pour la deuxième période à savoir entre 1971 et 1980 le stock est resté négatif (sauf pour quelques points où il s'annule), mais ses valeurs négatives sont beaucoup moins importantes que celles observées au cours de la première série de simulation.



La trésorerie représente l'indicateur le plus représentatif de cette amélioration de la situation économique de l'exploitation après intégration des apports des migrants.

En effet, la figure 33 montre des valeurs positives de la trésorerie, qui concerne surtout la première décennie d'étude. Cette situation est considérée très favorable par rapport aux valeurs nulles observées lors des premières simulations sans apports, et tout au long des différentes périodes d'études.



Le cumul de la trésorerie montre qu'au cours des années 1951 à 1960, on enregistre une trésorerie totale plus grande d'à peu près 1,6 fois, celle enregistrée pour la période 1971-1980. Ceci montre bien l'incidence de la variabilité climatique sur le développement des ressources monétaires de l'exploitation agricole.

III. Vulnérabilité de l'agriculture pluviale dans le bassin versant de la Volta

D'après les différentes simulations et les divers résultats obtenus précédemment, on peut conclure quant à la variabilité spatiotemporelle de la vulnérabilité de l'agriculture pluviale face aux changements climatiques, qui s'accroît considérablement en allant du sud vers nord dans le bassin versant de la Volta.

L'évaluation de l'impact de la variabilité pluviométrique et le risque de sécheresse sur le rendement et la gestion des exploitations agricoles, a été menée grâce aux différentes simulations effectuées sur deux laps de temps représentatifs de la transition climatique défavorable, et sur des exploitations types marquantes de la répartition spatiale des cultures pluviales sur le bassin versant.

Bon nombre d'indicateurs mettent en évidence cette vulnérabilité. Ces indicateurs sont pertinents et décisifs quant à l'analyse de cette sensibilité. Dans notre cas, les paramètres utilisés pour cette évaluation sont relatifs à la situation financière de l'exploitation agricole suite à chaque simulation, à l'identification et la valorisation des stocks disponibles sur celle-ci et enfin à la quantification du capital monétaire résultant.

Cette évaluation montre que toutes les exploitations agricoles sont sensibles à la variation des conditions climatiques enregistrées entre 1951-1960 et 1971-1980, puisqu'on observe une diminution relative de tous les indicateurs économiques (stock, bétail, trésorerie...) suite au passage de la première à la deuxième décennie. En plus, les exploitations agricoles qui sont les plus sensibles aux changements climatiques sont celles situées en Amont du bassin versant ; à savoir dans notre cas l'exploitation du Mil

située à Burkina Faso; et plus on se dirige vers le sud du bassin, plus la vulnérabilité diminue et plus la capacité de résister et de faire face au risque d'une variabilité climatique est forte.

En effet, face aux conditions climatiques défavorables, les rendements des différentes cultures pluviales se trouvent affectés par cette variabilité, ce qui induit leurs diminutions en fonction de la fréquence des mauvaises années, et par conséquent la gestion des exploitations agricoles à caractère pluviale se trouve perturbée par ce déséquilibre.

Les exploitations agricoles les plus touchées et les plus vulnérables sont celles qui cultivent la majorité de leurs superficies en cultures pluviales, ou encore celles qui ne possèdent pas un stock sur pied assez important. Ses exploitations voient diminuer leurs potentiels de production de céréales.

Donc les exploitations agricoles qui produisent en plus des cultures céréalières pluviales, d'autres cultures plus rentables en terme monétaires ; c'est le cas des produits de rentes ; ou encore celles qui disposent d'un capital animal assez important, présentent le plus de résistance et peuvent mieux s'adapter aux conditions défavorables.

Un autre facteur qui conditionne cette vulnérabilité de l'agriculture pluviale, est la disponibilité des ressources naturelles et l'accès à l'eau. Ce facteur est assez limitant surtout si, dans un bassin versant comme le notre, la répartition des ressources en eau et les facteurs climatiques favorables suivent une dégradation spatiale remarquable qui se caractérise par un contraste climatique et pluviométrique très fort entre le nord et le sud.

En effet, le régime climatique de ce bassin versant (sahélien vers le nord et équatorial au sud), fait que l'amont de ce bassin draine toute la partie nordique, qui est déjà pauvre en ressources hydriques, pour alimenter les zones en sud qui sont de plus en plus enrichies.

Cette situation critique ne fait qu'aggraver la situation socio-économique de la population rurale dans la zone amont du bassin, qui se trouve émergée dans la pauvreté et devient de plus en plus incapable de subvenir aux besoins et de gérer au mieux leurs exploitations agricoles, qui représentent dans la majorité de des cas, leurs sources de survie. Donc les populations les plus vulnérables sont les petits exploitants agricoles dont les ressources sont insuffisantes.

D'autre part, l'analyse socioéconomique de la dynamique du fonctionnement des exploitations agricoles à l'échelle du bassin versant de la Volta, nous a permis de définir un autre moyen d'ajustement de la bonne gestion de ces exploitations, ce moyen étant les apports extérieurs.

Les séries de simulations réalisées précédemment sans et avec apports extérieurs (des migrants), montrent que cette mesure contribue efficacement à la lutte contre les conditions défavorables du milieu, surtout pour les exploitations localisées au nord du bassin versant, où le nombre de migrants ne cesse d'augmenter.

Pour le reste des exploitations, l'importance de ce moyen dans la gestion des exploitations agricoles se fait ressentir de plus en plus en se déplaçant du nord vers le sud du bassin, puisque certes il contribue à l'amélioration de la situation socioéconomique de toutes les exploitations agricoles, mais pour celles qui arrivent à s'en sortir sans apports extérieurs, ce dernier ne constitue qu'un surplus à la trésorerie (cas de l'exploitation de Cassava).

Conclusion et perspectives

Les pertes en productivité des cultures pluviales résultant de la sécheresse, pourraient aggraver encore plus la pauvreté et la famine qui concernent, de façon particulière, bon nombre de pays de l'Afrique de l'Ouest. Ce fardeau touche surtout les plus pauvres et les plus vulnérables dans cette région.

Cet état critique a poussé les décideurs à chercher des perspectives pour améliorer cette situation, en multipliant les projets de développement et de recherche autour de cette problématique phare du changement climatique.

C'est le cas de notre bassin d'étude, le bassin versant de la Volta à l'Afrique de l'Ouest, qui par ses caractéristiques climatiques et pluviométriques très contrastées, présente un lieu particulier où la vulnérabilité de l'agriculture pluviale face aux variabilités pluviométriques et aux risques de sécheresse présente un défi de taille, surtout suite aux changements climatiques observés dans cette région depuis les années 70.

C'est pour cela que nous avons cherché à évaluer la vulnérabilité à l'échelle spatiotemporelle dans ce bassin versant, en analysant les impacts du changement climatique sur le rendement et la gestion des exploitations agricoles.

La méthodologie suivie pour atteindre ces objectifs, consiste tout d'abord à faire une typologie des exploitations agricoles afin d'en dégager les classes d'exploitation les plus prépondérantes sur ce bassin, de réduire l'effectif de ces dernières et de justifier les choix des exploitations types indispensables pour notre analyse ultérieure.

La deuxième étape de notre travail concerne l'analyse socio-économique complète de la dynamique du fonctionnement des exploitations agricoles, en exposant les différentes solutions envisageables par les agriculteurs afin de subvenir à leurs besoins essentiels.

Par la suite, nous avons créé un petit modèle de calcul grâce auquel une multitude de simulations ont été réalisées afin de pouvoir observer, en premier lieu, des résultats concrets quant aux impacts des changements climatiques sur le rendement et la gestion des exploitations agricoles, et dans un deuxième temps, d'évaluer la vulnérabilité à l'échelle du bassin versant, et enfin d'apprécier le degré d'efficacité des différentes solutions d'ajustements aménagées pour pouvoir s'adapter aux conditions défavorables du milieu.

Les résultats obtenus montrent tout d'abord et pour l'ensemble des exploitations types utilisées, une différence importante entre les résultats observés lors de la première série d'années d'étude et qui correspond à une période favorable au développement agricole, et la deuxième série qui concerne les années qui suivent le début des manifestations du changement climatique et des périodes de sécheresse, au cours de laquelle des situations déficitaires et des manques très importants ont été ressentis sur les exploitations agricoles.

Une répartition de la vulnérabilité en fonction des caractéristiques des exploitations, des ressources disponibles, des moyens d'adaptations déployés et de leur emplacement géographique sur le bassin, a été observée aussi grâce à ces simulations.

En effet, les exploitants les plus vulnérables sont ceux qui possèdent moins de ressources et investissent peu dans l'agriculture, et dont les ménages ont des difficultés à satisfaire leurs besoins essentiels ou à produire des cultures d'exportation spécialisées ou de rentes.

Ces exploitations sont donc les plus pauvres à l'échelle du bassin versant, et les plus touchées par tout autre problème de famine, de maladie et de la malnutrition, qui risquent de s'aggraver en plus avec les variabilités climatiques prédites.

Sur le bassin versant de la Volta, la répartition de la vulnérabilité suit celle de la distribution des allocations et des ressources naturelles et hydriques, sans oublier que les types des cultures céréalières cultivées sur le bassin versant suivent également cette répartition spatiale des ressources.

Cette situation fait surgir deux pôles très distincts sur le même territoire, celui qui progresse du sud vers le nord avec des exploitations agricoles de plus en plus spécialisées en agriculture pluviale céréalières, et qui sont les plus vulnérables, et un autre pôle qui au contraire évolue du nord vers le sud et qui concerne les exploitations agricoles intégrant de plus en plus les produits de rentes et les autres productions, et qui arrivent à s'en sortir plus facilement face aux contraintes du milieu.

Les moyens d'adaptations et d'ajustements sont plutôt efficaces pour contribuer à la gestion adéquate des exploitations agricoles et au comblement des besoins essentiels. Sauf qu'il s'est avéré que ses solutions sont insuffisantes pour quelques exploitations qui présentent des degrés de vulnérabilité très élevés, donc un recours à d'autres outils d'ajustements pour résoudre le problème d'insuffisance et faire face à la famine et à la pauvreté s'avère nécessaire.

L'analyse et l'étude des différents moyens d'ajustements utilisés par les agriculteurs dans ce bassin, montrent surtout que la solution de stockage est l'une des solutions les plus prépondérantes et les plus présentes pour toutes les exploitations agricoles de ce territoire mais qu'elle reste tout de même insuffisante dans plusieurs cas pour combler le déficit, que les cultures de rente constituent une solution efficace mais qui se limite à certaines exploitations dont les ressources disponibles permettent de gérer cette solution qui reste tout de même conditionnée, et enfin la solution des apports extérieurs des migrants c'est la solution la plus accessible de nos jours et la plus fructifiante quant à la fourniture des ressources monétaires pour la gestion des exploitations agricoles, et c'est pour cette raison que de jour en jour on observe de plus en plus l'exode rural et le délaissement des terres agricoles dans cette région.

Ainsi, les impacts du changement climatique mettent en lumière le besoin urgent d'intensifier la gestion des surfaces agricoles et d'étendre la surface exploitée, dans les régions les plus touchées, ce qui aura pour effet d'émettre d'autant plus de gaz à effet de serre et d'augmenter la pression mise sur l'environnement.

Donc il faut plutôt se focaliser sur des solutions qui contribuent à l'amélioration de l'approvisionnement en ressources hydriques aux régions les plus vulnérables, et de s'investir dans des projets de développement durable qui visent la réduction de la pauvreté et l'amélioration des conditions de vie des ménages.

Ses conditions favorables vont à leur tour contribuer à l'amélioration du rendement et de la gestion des exploitations agricoles, en permettant à l'agriculteur de faire plus d'investissements sur son exploitation en achetant par exemple du bétail, procurer des variétés plus précoces et plus résistantes, changer de pratiques agricoles, introduire l'irrigation complémentaire, ou encore cultiver d'autres cultures

BIBLIOGRAPHIE

1. **Atlas de l'Afrique, 2005.** Atlas de Burkina Faso .les éditions J.A. Paris. P : 64-108.
2. **Balme-Debionne M. ,2004.** Analyse du régime pluviométrique sahélien dans une perspective hydrologique et agronomique. Etude de l'impact de sa variabilité sur la culture du mil. Thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de Grenoble. p : 80-152.
3. **Barron J. et al., 2003.** Dry spell analysis and maize yields for two semi-arid locations in east Africa. *Agricultural and forest meteorology* 117 (2003). p : 23-37.
4. **Bélières J.F., et al., 2002.** Quel avenir pour les agricultures familiales d'Afrique de l'Ouest dans un contexte libéralisé ?
5. **Cellule d'Information sur l'Energie Durable et l'Environnement (CIEDE), 2001.** Bulletin d'information sur les changements climatiques, N°1 juillet 2001 ; 8 pages.
6. **Cellule d'Information sur l'Energie Durable et l'Environnement (CIEDE), 2002.** Bulletin d'information sur les changements climatiques, N°2 et 3 Mars 2002 ; 16 pages.
7. **Cellule d'Information sur l'Energie Durable et l'Environnement (CIEDE), 2003.** Bulletin d'information sur les changements climatiques, N°4 Janvier 2003 ; 8 pages.
8. **Cellule d'Information sur l'Energie Durable et l'Environnement (CIEDE), 2003.** Guide d'information sur les changements climatiques, Septembre 2003 ; 56 pages.
9. **Dron D., 2006.** Les enjeux climatiques de l'agriculture : centre énergétique et des procédés, Ecole des Mines de Paris.
10. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1985.** Burkina Faso, yield variability in rainfed agriculture. Land and water development division.
11. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002.** Mission FAO//PAM d'évaluation des récoltes et des disponibilités alimentaires au Ghana septentrional. Rapport spécial. Système mondial d'information et d'alerte rapide sur l'alimentation et l'agriculture de la FAO, programme alimentaire mondiale.
12. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2005.** Rapport spécial Burkina Faso. Mission FAO d'évaluation des récoltes et des disponibilités alimentaires. Système mondial d'information et d'alerte rapide sur l'alimentation et l'agriculture.
14. **Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 2007.** Bilan 2007 des changements climatiques : impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du groupe II au 4ème rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Traduction provisoire et non officielle n'engagent pas le GIEC, réalisée par les délégations de la Belgique et de la France, 20 pages.
15. **Hoogenboom G., 2000.** Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. *Agricultural and forest meteorology* n°103 (2000).p : 137-157

- 16. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), 2006.** Sécheresse et agriculture : réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport d'expertise réalisé par l'INRA à la demande du ministère de l'agriculture et de la pêche, octobre 2006.
- 17. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), 2003.** Le climat change, la nature de l'agriculture aussi !, Quels impacts ? Quelles adaptations ? 11 pages.
- 18. Jagtap S.S. et Abamu F.J., 2002.** Matching improved maize production technologies to the resource base of farmers in a moist savannah. *Agricultural systems* n°76 (2003) .p : 1067-1084.
- 19. Jannot C., Kalms J.M. 2003.** Les cultures pérennes au Ghana. Document non publié disponible au CIRAD (Montpellier)/CIRAD-TERA n°20/03.
- 20. Jones J.W., et al., 2003.** The DSSAT cropping system model. *European journal of agronomy* n°18 (2003).p: 235-265.-Magnin V. , 2006. Optimisation et algorithmes génétiques.
- 21. Musy A., 2005.** Hydrologie Générale. Section SIE et GC. 4ème semestre.
- 22. Niasse M., Afouda A. et Amani A., 2004.** Réduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification. Eléments de stratégies régionales de répartition et d'adaptation. Bureau régional pour l'Afrique de l'ouest. Edition : UICN (union mondiale pour la nature), p : 11-25.
- 23. Ouédraogo S., 2005.** Intensification de l'agriculture dans le plateau central du Burkina Faso : Une Analyse des possibilités à partir des nouvelles technologies : Thèse de doctorat, 336 p.
- 24. Reij G., Tappan G., et Belemvire A., 2005.** Changing land management practices and vegetation on the central plateau of Burkina Faso (1968-2002). *Journal of arid environments* n° 63 (2005), p: 642-659.
- 25. Simonsson L., 2005.** Vulnerability Profile of Burkina Faso, for the Poverty and Vulnerability Programme, edition Stockholm Environment Institute (SEI).
- 26. Sultan B. et al., 2004.** Agriculture impacts of large-scale variability of the West African monsoon. *Agricultural and forest meteorology* n° 128 (2005).p : 93-110.
- 27. Wey J., 1998.** Etude de la variabilité du rendement du maïs au Burkina Faso. Thèse de doctorat de l'institut national polytechnique de lorraine. P : 22-30.

Sites Internet :

www.decisia.com
www.climat-energie.fr
www.inra.fr/changement_climatique_importance_pratiques_agricoles
www.mpl.ird.fr
www.primature.gov.fr/burkina/cartepostale/frehydro.html
www.recy.net/dicoeco.php
www.Stielec.ac.aix-marseille.fr/cours/abati/grafcet.htm
www.tecatlant.fr/grafcet/grafcet2.html
www.waterandfood.org
www.fr.wikipedia.org/wiki/burkina_Faso
www.fr.wikipedia.org/wiki/lac_volta

ANNEXES

Annexe 1 :

Gaz à Effet de Serre (GES) : Gaz qui absorbent une partie des rayons solaires en les redistribuant sous la forme de radiations qui rencontrent d'autres molécules de gaz, répétant ainsi le processus et créant l'effet de serre, d'où augmentation de la chaleur. Les gaz responsables, les activités humaines ayant pour principale origine, sont :
-Gaz carbonique : CO₂.- Méthane : CH₄.- Oxyde nitreux : N₂O.- Ozone troposphérique O₃ -CFC et HCFC + les substituts (HFC, PFC et SF₈).

Les émissions de CO₂ résultent principalement de l'utilisation de combustibles fossiles, pour la production d'énergie et le transport. Pour les émissions de méthane, les élevages représentent la source principale. Toutefois, au Royaume-Uni, il a été estimé que les décharges (environ 1000 sites actifs) contribuaient pour 23% aux émissions de méthane. Les stations d'épuration des eaux usées, urbaines et industrielles émettent également du méthane.

(www.recy.net/dicoeco.php)

Annexe 2 :

Les isohyètes : Les isohyètes sont des lignes de même pluviosité (iso valeurs de pluies annuelles, journalières, etc.) tracées grâce aux valeurs pluviométriques acquises aux stations du bassin et aux autres stations avoisinantes

Lorsque les courbes isohyètes sont tracées, la pluie moyenne peut être calculée de la manière suivante :

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=1}^K A_i \cdot P_i}{A}, \quad \text{avec} \quad P_i = \frac{h_i + h_{i+1}}{2}$$

Avec :

P_{moy} : précipitation moyenne sur le bassin,

A : surface totale du bassin,

A_i : surface entre deux isohyètes i et $i+1$, K : nombre total d'isohyètes.

(Musy, 2005)

Annexe 3

Classification principale

Analyses en composantes principales :

✓ HISTOGRAMME DES 9 PREMIERES VALEURS PROPRES

| NUMERO | VALEUR PROPRE | POURCENT | POURCENT. CUMULE |
|--------|------------------|----------|---------------------|
| 1 | 1.6369 | 18.19 | 18.19 |
| 2 | 1.5554 | 17.28 | 35.47 |
| 3 | 1.2293 | 13.66 | 49.13 |
| 4 | 1.1670 | 12.97 | 62.10 |
| 5 | 0.9931 | 11.03 | 73.13 |
| 6 | 0.8158 | 9.06 | 82.19 |
| 7 | 0.7498 | 8.33 | 90.53 |
| 8 | 0.5654 | 6.28 | 96.81 |
| 9 | 0.2873 | 3.19 | 100.00 |

✓ COORDONNEES DES VARIABLES SUR LES AXES 1 A 5
VARIABLES ACTIVES

| VARIABLES | COORDONNEES | | | | | CORRELATIONS VARIABLE-FACTEUR | | | | |
|------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| IDEN - LIBELLE COURT | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| S_To - S_Totale | 0.52 | -0.02 | 0.41 | 0.25 | 0.28 | 0.52 | -0.02 | 0.41 | 0.25 | 0.28 |
| S_Ca - S_Cassava(%) | -0.18 | -0.75 | 0.27 | -0.44 | 0.19 | -0.18 | -0.75 | 0.27 | -0.44 | 0.19 |
| S_Ma - S_Mais(%) | 0.34 | -0.03 | -0.86 | 0.26 | 0.06 | 0.34 | -0.03 | -0.86 | 0.26 | 0.06 |
| S_ma - S_maraichage(%) | 0.19 | 0.40 | -0.01 | -0.48 | -0.49 | 0.19 | 0.40 | -0.01 | -0.48 | -0.49 |
| S_Re - S_Rente(%) | -0.36 | 0.27 | 0.38 | 0.70 | -0.12 | -0.36 | 0.27 | 0.38 | 0.70 | -0.12 |
| Nb_p - Nb_pers/ha | -0.74 | -0.21 | -0.19 | 0.08 | -0.17 | -0.74 | -0.21 | -0.19 | 0.08 | -0.17 |
| Gros - Gros_betail/ha | -0.18 | 0.37 | -0.14 | -0.15 | 0.77 | -0.18 | 0.37 | -0.14 | -0.15 | 0.77 |
| RIZ+ - RIZ+sorgho(%) | -0.05 | 0.73 | 0.18 | -0.30 | 0.06 | -0.05 | 0.73 | 0.18 | -0.30 | 0.06 |
| moy+petit_betail/ha | -0.69 | 0.21 | -0.14 | -0.09 | 0.09 | -0.69 | 0.21 | -0.14 | -0.09 | 0.09 |

✓ COORDONNEES ET VALEURS-TEST AVANT CONSOLIDATION AXES 1 A 5

| CLASSES | | | VALEURS-TEST | | | | | COORDONNEE | | | | |
|-------------------------------------|------|--------|--------------|-------|------|-------|------|------------|-------|-------|-------|-------|
| IDEN - LIBELLE | EFF. | P.ABS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| DISTO | | | | | | | | | | | | |
| COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 3 CLASSES | | | | | | | | | | | | |
| aa1a - CLASSE 1 / 3 | 477 | 477.00 | -0.2 | 30.9 | 5.3 | -15.7 | -1.2 | -0.01 | 1.48 | 0.23 | -0.65 | -0.05 |
| 2.75 | | | | | | | | | | | | |
| aa2a - CLASSE 2 / 3 | 184 | 184.00 | -23.2 | 0.1 | 5.0 | 18.5 | -6.0 | -2.06 | 0.01 | 0.39 | 1.39 | -0.41 |
| 6.78 | | | | | | | | | | | | |
| aa3a - CLASSE 3 / 3 | 970 | 970.00 | 15.1 | -28.6 | -8.2 | 2.6 | 5.0 | 0.39 | -0.73 | -0.19 | 0.06 | 0.10 |
| 0.75 | | | | | | | | | | | | |

La sous classification de la classe A

Analyses en composantes principales :

✓ HISTOGRAMME DES 8 PREMIERES VALEURS PROPRES

| NUMERO | VALEUR | POURCENT. | POURCENT. |
|--------|--------|-----------|-----------|
| | PROPRE | | CUMULE |
| 1 | 1.7780 | 22.22 | 22.22 |
| ***** | | | |
| 2 | 1.4449 | 18.06 | 40.29 |
| ***** | | | |
| 3 | 1.1346 | 14.18 | 54.47 |
| ***** | | | |
| 4 | 1.0629 | 13.29 | 67.76 |
| ***** | | | |
| 5 | 0.9260 | 11.58 | 79.33 |
| 6 | 0.7742 | 9.68 | 89.01 |
| 7 | 0.6204 | 7.76 | 96.76 |
| 8 | 0.2589 | 3.24 | 100.00 |

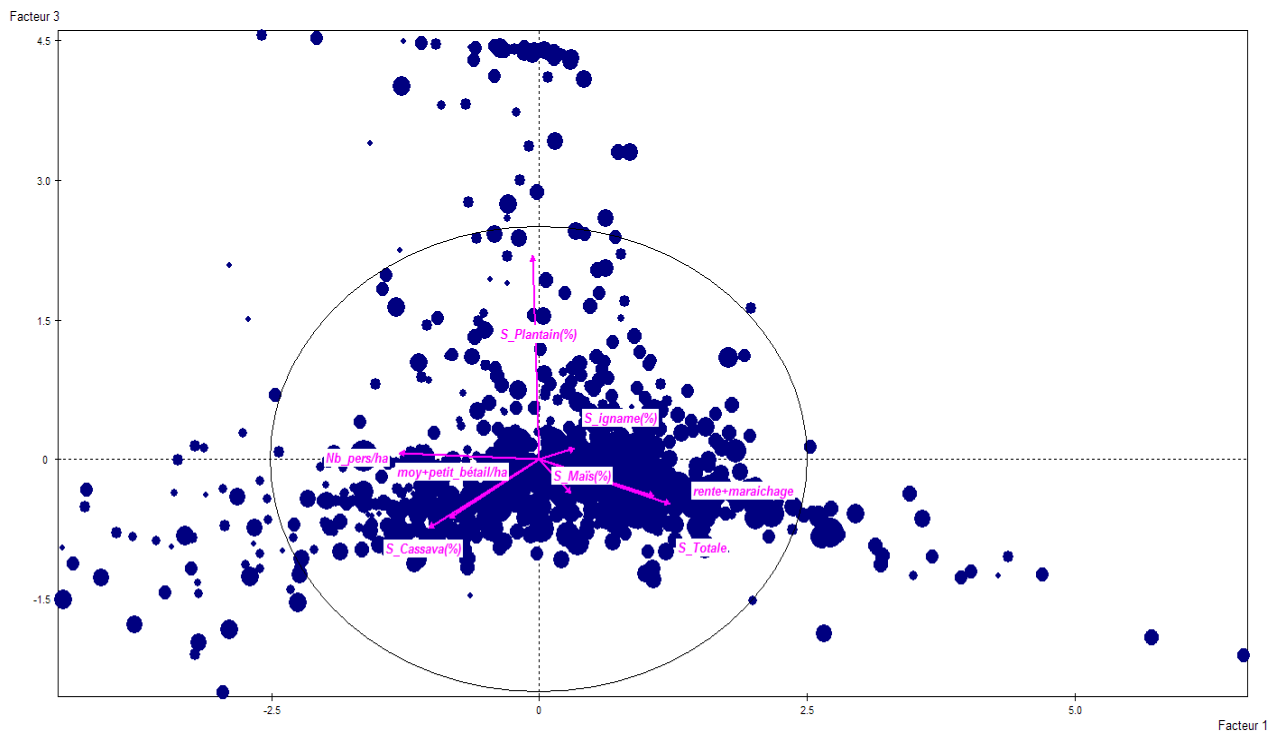
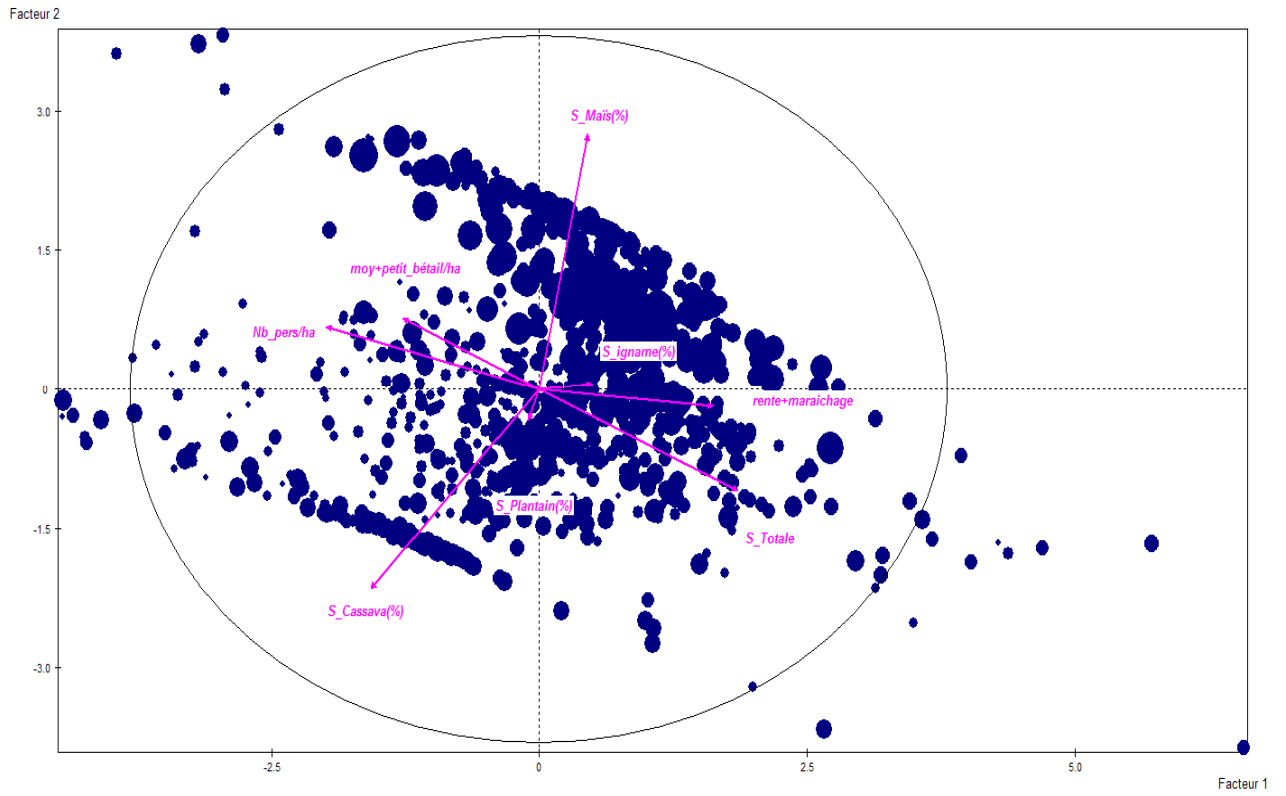
✓ COORDONNEES DES VARIABLES SUR LES AXES 1 A 5
VARIABLES ACTIVES

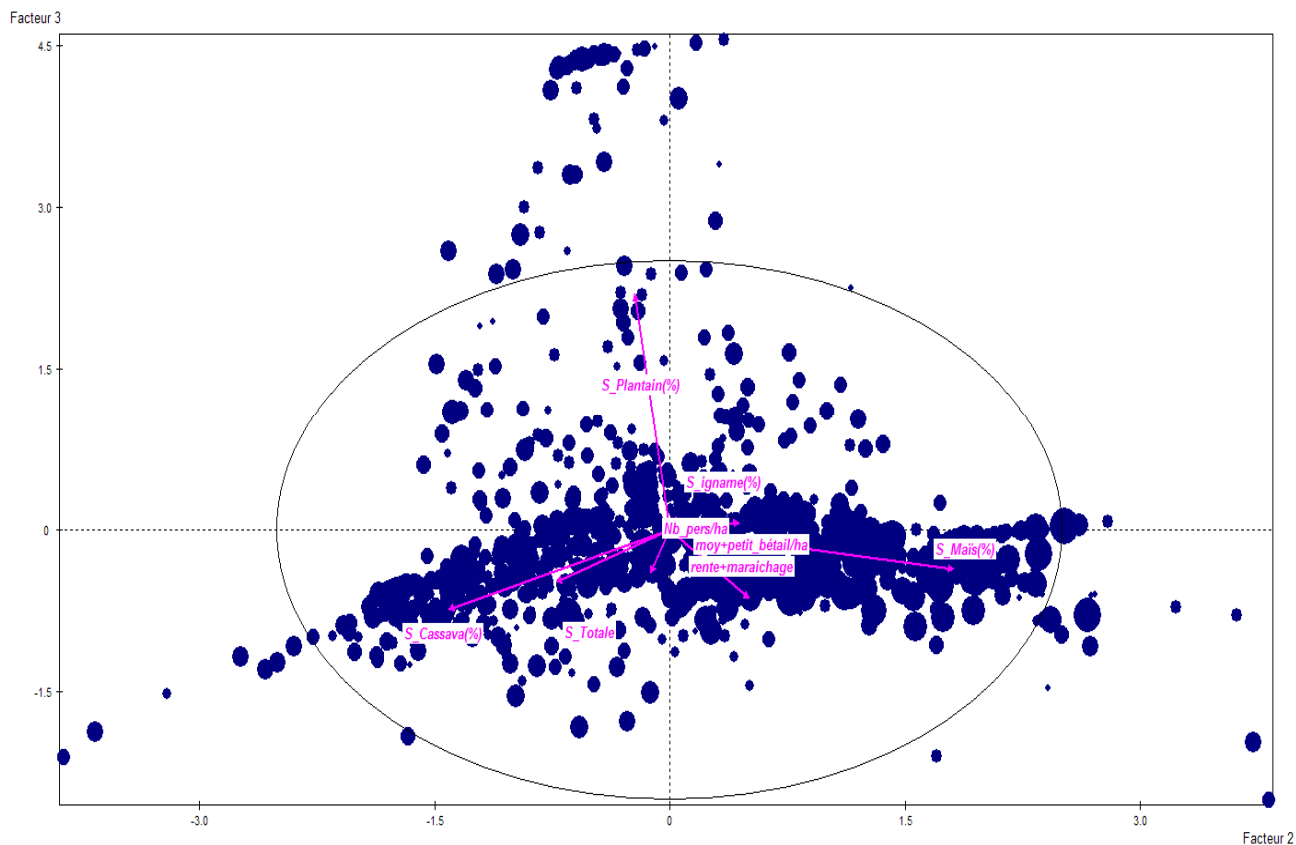
| VARIABLES | COORDONNEES | | | | | CORRELATIONS VARIABLE-FACTEUR | | | | |
|---------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| IDEN - LIBELLE COURT | | | | | | | | | | |
| C7 - S_Totale | 0.65 | -0.35 | -0.20 | 0.10 | 0.05 | 0.65 | -0.35 | -0.20 | 0.10 | 0.05 |
| C12 - S_Plantain(%) | -0.04 | -0.11 | 0.93 | 0.20 | -0.13 | -0.04 | -0.11 | 0.93 | 0.20 | -0.13 |
| C15 - S_Cassava(%) | -0.55 | -0.68 | -0.31 | 0.04 | 0.19 | -0.55 | -0.68 | -0.31 | 0.04 | 0.19 |
| C16 - S_igname(%) | 0.17 | 0.02 | 0.05 | -0.94 | -0.25 | 0.17 | 0.02 | 0.05 | -0.94 | -0.25 |
| C18 - S_Mais(%) | 0.16 | 0.87 | -0.15 | 0.10 | 0.33 | 0.16 | 0.87 | -0.15 | 0.10 | 0.33 |
| C44 - rente+maraichage | 0.57 | -0.06 | -0.17 | 0.33 | -0.55 | 0.57 | -0.06 | -0.17 | 0.33 | -0.55 |
| C47 - Nb_pers/ha | -0.70 | 0.21 | 0.03 | 0.04 | -0.15 | -0.70 | 0.21 | 0.03 | 0.04 | -0.15 |
| C61 - moy+petit_betail/ha | -0.45 | 0.24 | -0.27 | 0.12 | -0.61 | -0.45 | 0.24 | -0.27 | 0.12 | -0.61 |

✓ COORDONNEES ET VALEURS-TEST APRES CONSOLIDATION
AXES 1 A 4

| CLASSES | VALEURS-TEST | | | | | COORDONNEES | | | | | |
|-------------------------------------|--------------|--------|-------|-------|------|-------------|-----|-------|-------|-------|-------|
| | EFF. | P.ABS | 1 | 2 | 3 | 4 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| IDEN - LIBELLE | | | | | | | | | | | |
| 0 DISTO. | | | | | | | | | | | |
| COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 5 CLASSES | | | | | | | | | | | |
| aa1a - CLASSE 1 / 5 | 276 | 276.00 | -20.0 | -14.9 | -8.1 | 1.9 | 0.0 | -1.36 | -0.91 | -0.44 | 0.10 |
| 0.00 2.87 | | | | | | | | | | | |
| aa2a - CLASSE 2 / 5 | 71 | 71.00 | -2.1 | -3.1 | 25.9 | 5.4 | 0.0 | -0.33 | -0.43 | 3.15 | 0.64 |
| 0.00 10.63 | | | | | | | | | | | |
| aa3a - CLASSE 3 / 5 | 232 | 232.00 | 18.2 | -8.4 | -5.3 | 7.4 | 0.0 | 1.39 | -0.58 | -0.32 | 0.44 |
| 0.00 2.57 | | | | | | | | | | | |
| aa4a - CLASSE 4 / 5 | 87 | 87.00 | 3.8 | 0.1 | 1.8 | -25.7 | 0.0 | 0.52 | 0.01 | 0.20 | -2.71 |
| 0.00 7.67 | | | | | | | | | | | |
| aa5a - CLASSE 5 / 5 | 303 | 303.00 | 1.5 | 24.0 | -3.0 | 4.1 | 0.0 | 0.10 | 1.37 | -0.15 | 0.20 |
| 0.00 1.96 | | | | | | | | | | | |

Distribution des variables sur différents axes.





La sous classification de la classe B

Analyses en composantes principales :

✓ HISTOGRAMME DES 9 PREMIERES VALEURS PROPRES

```

+-----+-----+-----+-----+
---+
| NUMERO | VALEUR | POURCENT. | POURCENT. |
|         | PROPRE |            | CUMULE     |
+-----+-----+-----+-----+
---+
| 1      | 1.8458 | 20.51     | 20.51     |
|*****|
| 2      | 1.3935 | 15.48     | 35.99     |
|*****|
| 3      | 1.2144 | 13.49     | 49.48     |
|*****|
| 4      | 1.1369 | 12.63     | 62.12     |
|*****|
| 5      | 0.9624 | 10.69     | 72.81     | *****|
| 6      | 0.8658 | 9.62      | 82.43     | *****|
| 7      | 0.7368 | 8.19      | 90.62     | *****|
| 8      | 0.6175 | 6.86      | 97.48     | *****|
| 9      | 0.2269 | 2.52      | 100.00    | *****|
+-----+-----+-----+-----+

```

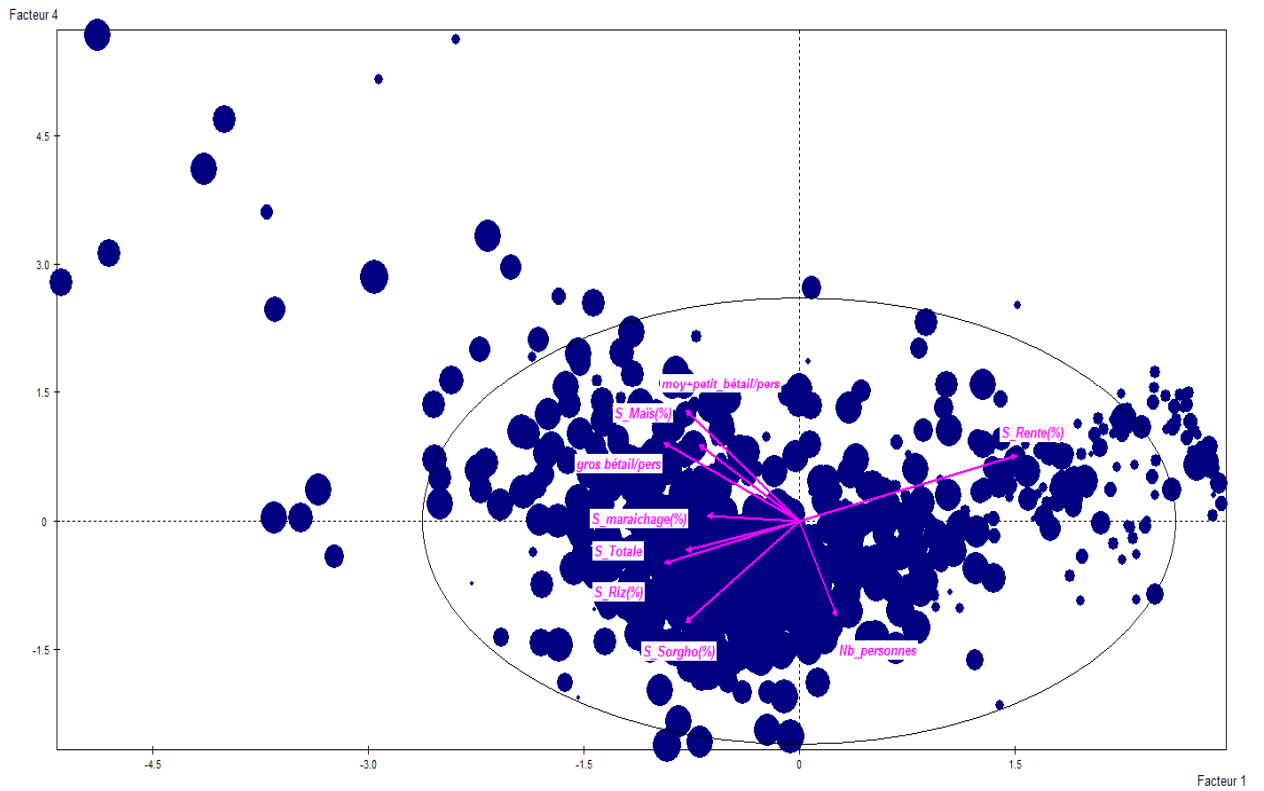
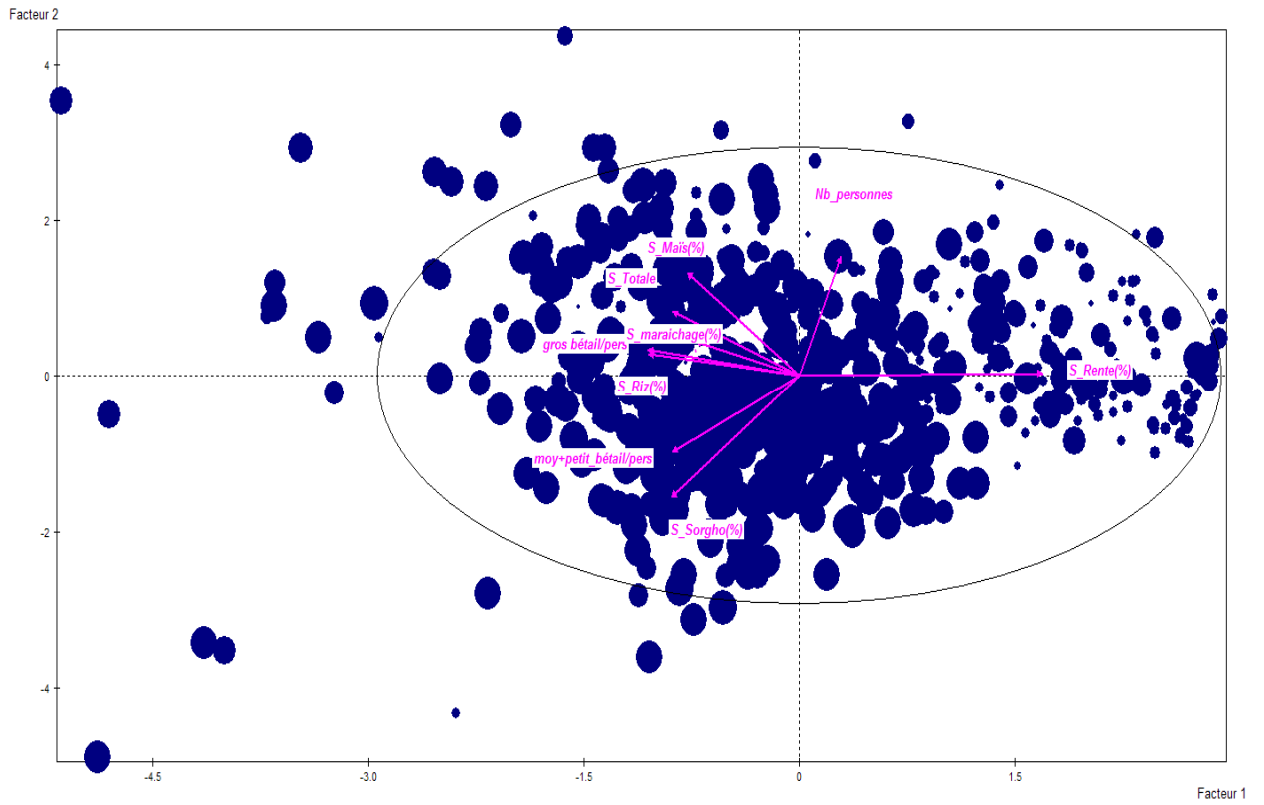
✓ COORDONNEES DES VARIABLES SUR LES AXES 1 A 5
VARIABLES ACTIVES

| VARIABLES | COORDONNEES | | | | | CORRELATIONS VARIABLE-FACTEUR | | | | |
|----------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| IDEN - LIBELLE COURT | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| C2 - Nb_personnes | 0.13 | 0.62 | 0.24 | -0.45 | -0.07 | 0.13 | 0.62 | 0.24 | -0.45 | -0.07 |
| C7 - S_Totale | -0.41 | 0.34 | 0.35 | -0.14 | -0.61 | -0.41 | 0.34 | 0.35 | -0.14 | -0.61 |
| C18 - S_Maïs(%) | -0.36 | 0.53 | -0.12 | 0.36 | 0.47 | -0.36 | 0.53 | -0.12 | 0.36 | 0.47 |
| C19 - S_Riz(%) | -0.49 | 0.11 | 0.33 | -0.20 | 0.33 | -0.49 | 0.11 | 0.33 | -0.20 | 0.33 |
| C20 - S_Sorgho(%) | -0.41 | -0.63 | 0.14 | -0.48 | 0.03 | -0.41 | -0.63 | 0.14 | -0.48 | 0.03 |
| C21 - S_maraichage(%) | -0.33 | 0.18 | -0.77 | 0.02 | -0.42 | -0.33 | 0.18 | -0.77 | 0.02 | -0.42 |
| C31 - S_Rente(%) | 0.78 | 0.02 | 0.37 | 0.31 | -0.20 | 0.78 | 0.02 | 0.37 | 0.31 | -0.20 |
| C40 - gros bétail/pers | -0.49 | 0.14 | 0.37 | 0.37 | -0.11 | -0.49 | 0.14 | 0.37 | 0.37 | -0.11 |
| C59 - moy+petit_bétail/per | -0.41 | -0.39 | 0.19 | 0.52 | -0.18 | -0.41 | -0.39 | 0.19 | 0.52 | -0.18 |

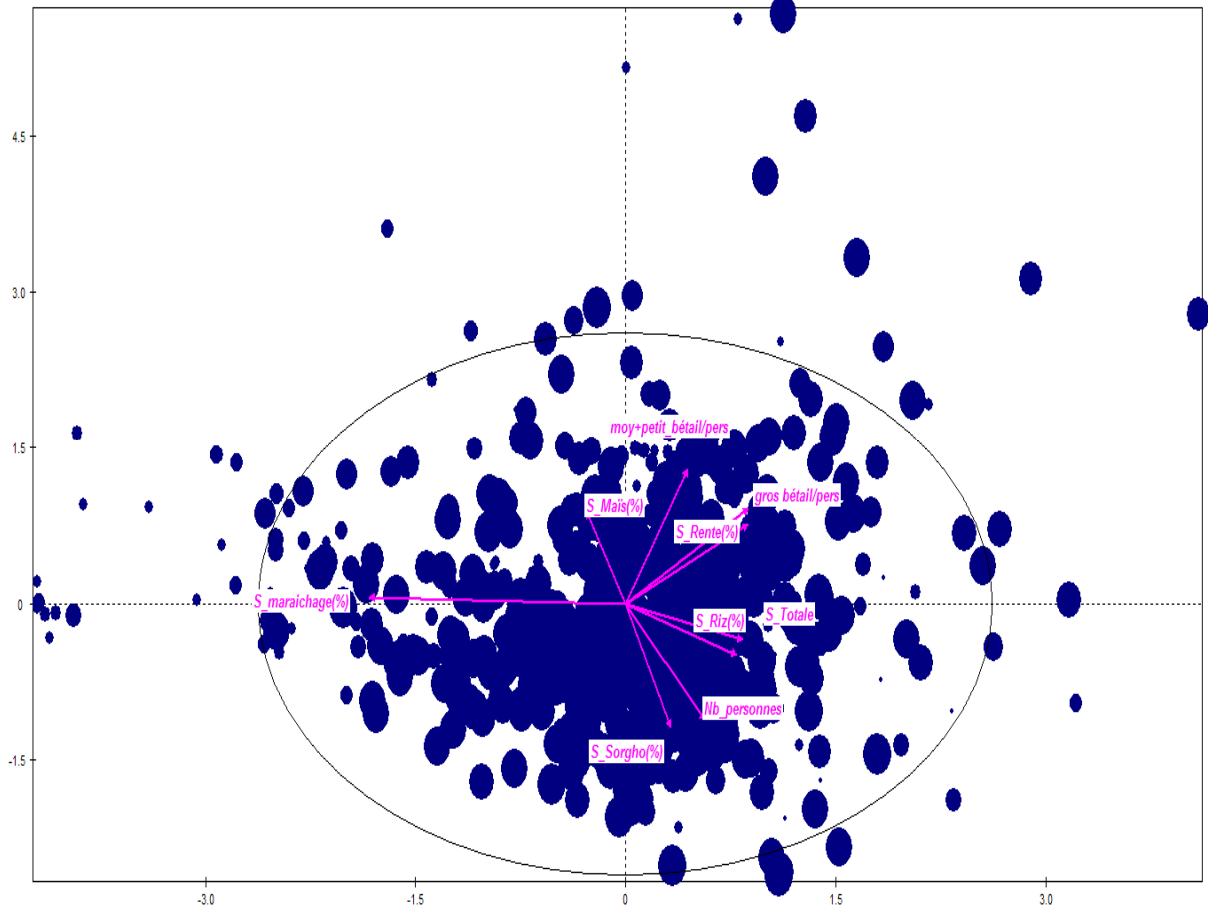
✓ COORDONNEES ET VALEURS-TEST APRES CONSOLIDATION
AXES 1 A 4

| CLASSES | VALEURS-TEST | | | | | | | | | COORDONNEES | | | | |
|-------------------------------------|--------------|--------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------------|-------|------|--|--|
| IDEN - LIBELLE DISTO. | EFF. | P.ABS | 1 | 2 | 3 | 4 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 0 | | |
| COUPURE 'a' DE L'ARBRE EN 4 CLASSES | | | | | | | | | | | | | | |
| aa1a - CLASSE 1 / 4 | 81 | 81.00 | -4.1 | 7.7 | -17.6 | 3.8 | 0.0 | -0.58 | 0.94 | -2.02 | 0.42 | 0.00 | | |
| 5.49 | | | | | | | | | | | | | | |
| aa2a - CLASSE 2 / 4 | 102 | 102.00 | -11.4 | 12.0 | 9.5 | 1.7 | 0.0 | -1.41 | 1.29 | 0.96 | 0.17 | 0.00 | | |
| 4.59 | | | | | | | | | | | | | | |
| aa3a - CLASSE 3 / 4 | 282 | 282.00 | -7.6 | -16.5 | 1.5 | -10.1 | 0.0 | -0.47 | -0.88 | 0.08 | -0.49 | 0.00 | | |
| 1.24 | | | | | | | | | | | | | | |
| aa4a - CLASSE 4 / 4 | 196 | 196.00 | 20.2 | 2.9 | 3.5 | 6.9 | 0.0 | 1.65 | 0.21 | 0.23 | 0.44 | 0.00 | | |
| 2.99 | | | | | | | | | | | | | | |

Distribution des variables sur différents axes.



Facteur 4



Facteur 3