



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering

==**==**==**==**==**==**==

**IRRIGATION DE COMPLEMENT DANS LE NORD BENIN : CAS DU
DEPARTEMENT DU BORGOU**

==**==**==**==**==**==**==

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE
L'ENVIRONNEMENT
OPTION : EAU**

==**==**==**==**==**==**==

Présenté et soutenu publiquement le 10 juin 2011 par :

Yacoubou BAH N'GOBI

==**==**==**==**==**==**==

Travaux dirigés par : Dr. Bruno BARBIER,

Enseignant-Chercheur au CIRAD en poste au 2iE (UTER GVEA) ;

Dr. Kassimou ISSAKA,

Agroéconomiste et Expert en filières agricoles au PA3D au BENIN

==**==**==**==**==**==**==

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Hamma YACOUBA

Membres et correcteurs :

- Dr Bruno BARBIER
- M. Amadou KEITA

Promotion 2010-2011

Dédicace

A

Mon père et à ma mère,

Je dédie ce travail.

Remerciements

- Je commence par remercier tout d'abord le Docteur Bruno BARBIER, mon encadreur au 2iE, qui a bien voulu m'accepter parmi ses étudiants pour la recherche sur l'irrigation de complément.
- Je remercie chaleureusement le Docteur Kassimou ISSAKA, mon second encadreur et Expert chargé des Filières Agricoles, de la Sécurité Alimentaire et du Développement Economique local (FASADEL) au PA3D.
- Je remercie M. Sévère FOSSI, Ingénieur de Recherche au 2iE, pour la lecture du rapport, ses remarques et suggestions.
- Je tiens à remercier M. Jean-Louis MONINO et M. Jean-Emmanuel PATUREL pour leurs appuis relatifs à l'analyse statistique.
- Je remercie beaucoup M. Samari BANI, Directeur Général de l'Eau du Bénin de m'avoir recommandé pour obtenir la bourse d'étude.
- Toute ma gratitude et mon profond respect vont à l'ensemble du personnel de l'ambassade du Danemark à Cotonou au Bénin. Mes remerciements s'adressent particulièrement à M. Karl JORGENSEN, Madame Esther LONSHUP et M. Christiansen pour la confiance qu'ils m'ont accordée. Je remercie également Jeanne NEBIE, Responsable du Service des bourses au 2iE pour tout ce qu'elle a fait.
- Je remercie Docteur Zakari TASSOU, Coordonnateur du Projet d'Appui à la Décentralisation, à la Déconcentration et au Développement Local au Bénin (PA3D), de m'avoir accepté au PA3D à Parakou. Je remercie également tous ses collaborateurs.
- Je voudrais remercier tout le personnel du Centre Régional pour la Promotion Agricole des départements du Borgou et de l'Alibori (CeRPA Borgou- Alibori) qui ont mis à ma disposition les données relatives à ce travail. Je remercie particulièrement Messieurs Yacoubou ALPHA ABDOULAYE, Ali TERE, tous au CeRPA Borgou-Alibori.
- Je remercie tout le personnel du service de l'ASECNA de Parakou.
- Je remercie également Monsieur Rodrigue TOSSA au CeCPA Nikki qui m'a aidé pour les calculs des coûts de production.
- Je tiens à remercier tout le personnel de la mairie de Nikki pour leur aide et leurs encouragements.
- Je remercie M. Oumarou DJAUGA à Ouagadougou et M. Idrissou MAMA à Cotonou pour leur soutien.

- Je tiens à remercier mes amis et ma famille, particulièrement Monique OLOUGO, mon épouse ; Hachirou et Samirath mes enfants pour leur soutien indéfectible.
- A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, à tous mes enseignants, à tous ceux qui m'ont encouragé, à vous tous MERCI !

Résumé

Le Borgou, l'un des douze départements du Bénin, est habité par des populations à plus de 80% vivant de l'agriculture pluviale. Cette agriculture est sujette aux effets des changements climatiques notamment les poches de sécheresses qui provoquent des baisses considérables au niveau des rendements. La présente étude a d'abord montré que la zone d'étude dispose des atouts favorables à la pratique de la culture irriguée, puis a évalué les intérêts de l'irrigation de complément dans un tel contexte à travers un modèle bioéconomique.

En dépit des solutions apportées par le gouvernement béninois à travers des programmes pour améliorer la situation, il ressort que les agriculteurs craignent toujours les aléas du climat. L'irrigation de complément permet dans un premier temps, de faire face à la mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies et en conséquence d'accroître la production puis dans un second temps de passer à deux cycles de production. Le modèle bioéconomique montre que la pratique de l'irrigation de complément couplée à un bon assolement accroît le revenu net de 9.7% des exploitants agricoles et par conséquent leur bien-être.

Mots-clefs :

- Irrigation de complément
- Modèle bioéconomique
- Agriculture pluviale
- Effets des changements climatiques
- Poches de sécheresse.

Abstract

Borgou, one of the twelve departments of Benin, is lived by populations living of rainfed agriculture. This activity concerns more than 80% of the population. Agriculture is facing climatic change effects such as dry-spells which induce some considerable decreases at the level of outputs. The present survey first showed that the zone of survey gets favorable assets to the practice of the irrigated culture, then to value interests of the supplemental irrigation in such a context through a bioeconomic model.

In spite of solutions brought by the Beninese government through programs to improve the situation, it comes out again that farmers are always taking fright of climate hazard. First of all, supplemental irrigation allows, to face the bad spatial and temporal distribution of rains and consequently to increase production, then secondly, to pass to two cycles of production. Bioeconomic model shows that the practice of supplement irrigation coupled to a good rotation, increases the agricultural gross income of 9.7% and therefore their well-being.

Key- words

- Supplemental Irrigation
- Bioeconomic Model
- Rainfed agriculture
- Climatic change effects
- Dry-spells

Table des matières

Dédicace	ii
Remerciements	iii
Résumé	v
Abstract	vi
Table des matières	1
Liste des tableaux	3
Liste des graphiques	3
Liste des cartes	3
Liste des acronymes	4
I. INTRODUCTION	5
I.1. Problématique	6
I.1.1. Evolution des pluies décennales et de l'indice des besoins en eau.....	6
I.1.2. Estimation des pertes de rendements liées au déficit hydrique	8
I.2. Objectifs.....	11
I.3. Méthodologie	11
I.3.1. Collecte de données	11
I.3.2. Travaux de terrain	11
I.3.3. Les calculs.....	12
I.3.4. Modèle bioéconomique et le logiciel GAMS.....	13
I.3.4.1 Le Modèle mathématique :.....	14
I.3.4.2. Le calage du modèle	16
I.3.4.3. Simulation et validation du modèle	16
II. CADRE DE L'ETUDE	18
II.1. Cadre institutionnel du stage.....	18
II.2. Situation géographique de la zone d'étude	18
II.3. Description du cadre physique.....	20
II.3.1. Climat	20
II.3.2. Types de sols et végétation	21
II.3.3. Hydrographie et Hydrogéologie	22
II.3.4. Principales cultures agricoles.....	23
II.3.5. Techniques de conservation des sols	23
II.4. Changement climatique en agriculture pluviale et calendrier cultural	24

III. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	27
III.1. Définition et efficacité de l'irrigation de complément	27
III.2. Etudes récentes menées sur le sujet dans la zone d'étude	27
IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS	29
IV.1. Le besoin de faire l'irrigation de complément est fonction de la date de semis	29
IV.2. Passer d'un à deux cycles de production dans une campagne agricole pour le maïs	30
IV.3. Le revenu net s'accroît avec l'irrigation de complément	31
V. CONCLUSION	34
VI. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	35
VI.1. Recommandations.....	35
VI.2. Perspectives.....	36
VII. BIBLIOGRAPHIE	38
VIII. ANNEXES	39
• Annexe 1 : Tableau des principales spéculations des départements Borgou-Alibori	
• Annexe 2 : Tableau des pluies moyennes décennales et ETP de Parakou	
• Annexe 3 : Carte des régimes hydrographiques du Bénin	
• Annexe 4 :	
- Calcul des volumes d'eau ruisselé en saison pluvieuse normale a1 et en saison pluvieuse sèche a2 ;	
- Données générales sur le maïs ;	
- Données générales sur le sol.	
• Annexe 5 : Le model.	

Liste des tableaux

- Tableau 1 : indice de satisfaction des besoins en eau des plantes en 2006
- Tableau 2 : indice de satisfaction des besoins en eau des plantes en 2007
- Tableau 3 : Perte de rendement en 2006
- Tableau 4 : Perte de rendement en 2007
- Tableau 5 : Données utilisées pour le calcul des besoins en eau
- Tableau 6 : Valeurs caractéristiques du climat des stations de Parakou et de Gaya
- Tableau 7 : détermination des périodes de différentes activités agricoles
- Tableau 8 : Données relatives à l'assolement d'une exploitation agricole de Parakou
- Tableau 9 : Superficies observées et superficies simulées
- Tableau 10 : Résultats comparatifs du modèle avec ou sans irrigation de complément
- Tableau 11 : calcul des besoins en eau d'irrigation en fonction de la date de plantation
- Tableau 12 : Quelques sources d'approvisionnement d'eau d'irrigation de complément

Liste des graphiques

- Graphique 1 : Evolution de la pluie décadaire de 2006 à 2010
- Graphique 2 : Evolution des indices de satisfaction des Besoins en Eau
- Graphique 3 : Graphe montrant l'évolution de la pluie, de l'ETP et de l'ETP/2 en 2006
- Graphique 4 : Graphe montrant l'évolution de la pluie, de l'ETP et de l'ETP/2 en 2007
- Graphique 5: Graphe de comparaison des besoins en eau et des ruissellements pendant les saisons a1 et a2.
- Graphique 6 : Comparaison de la marge brute des spéculations
- Graphique 7 : Graphe présentant la période de la campagne agricole et deux propositions de cycles de production
- Graphique 8 : Résultats comparatifs de l'exploitant avec ou sans irrigation de complément
- Graphique 9: Evolution du revenu net en fonction du taux d'intérêt.

Liste des cartes

- Carte 1 : Pays limitrophes du Bénin et les départements du Bénin.
- Carte 2 : les Communes du département du Borgou.

Liste des acronymes

ASECNA : Agence pour la Sécurité de la Navigation en Afrique et à Madagascar ;
Bes. Irr : Besoins d'eau d'irrigation ;
DGR : Direction du Génie Rural ;
ET₀ : Evapotranspiration de référence ;
ETM : Evapotranspiration Maximale ;
ETP : Evapotranspiration Potentielle ;
ETR: Evapotranspiration Réelle ;
FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GAMS: General Algebraic Modeling System;
INRAB: Institut National des Recherches Agricoles du Bénin ;
PIB : Produit Intérieur Brut ;
OMD : Objectif du Millénaire pour le Développement ;
CeCPA : Centre Régional pour la Promotion Agricole ;
CeRPA : Centre Communal pour la Promotion Agricole ;
PA3D : Projet d'Appui à la Décentralisation, à la Déconcentration et au Développement économique local au Bénin ;
PAPEJ : Projet d'Appui à la Promotion de l'Emploi des Jeunes ;
PUASA : Programme d'Urgence d'Appui à la Sécurité Alimentaire ;
PNPIP : Programme National de Promotion de l'Irrigation Privée ;
RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat ;
FARM : Fondation pour l'Agriculture et la Ruralité dans le Monde ;
CNID-B : Comité National des Irrigations et du Drainage du Burkina ;
AMVS : Autorité de Mise en Valeur de la Vallée du Sourou (Burkina Faso)

I. INTRODUCTION

Au Bénin, l'activité économique reste dominée par l'agriculture. Plus de 80% de la population rurale vit de l'agriculture pluviale. On estime, selon les années, que la production agricole représente 30% à 39% du PIB (Issaka, 2002). Elle procure 90% des recettes d'exportation du pays et participe à hauteur de 15 % aux recettes de l'Etat. De façon générale, il y a une baisse de la production provoquant une augmentation des importations. La baisse de la production céréalière couplée à la croissance démographique engendre une dépendance de plus en plus accentuée vis-à-vis des pays exportateurs notamment ceux de l'Asie.

“La faim est le premier signe visible de la pauvreté“ dit-on (Rapport de la Conférence de haut Niveau de Syrte, 2008). De ce point de vue, tout effort visant à atténuer la pauvreté doit combattre la faim qui est une violation du droit fondamental de l'homme à la nourriture. Le gouvernement du Bénin, conscient de cette situation, mène des actions pour atteindre l'objectif 1 des OMD, à savoir: éradiquer l'extrême pauvreté et la faim. Mais, ces efforts restent insuffisants.

L'agriculture béninoise, est également sujette aux effets des changements climatiques ; ce qui entraîne une baisse importante de la productivité. La zone d'étude n'est pas épargnée par cette réalité. Parmi les facteurs influençant l'agriculture pluviale, le déficit hydrique au niveau de la zone radiculaire est le plus important (Falkenmark and Rockström, 2004). Ce déficit peut s'expliquer par l'irrégularité des pluies et des poches de sécheresse qui se créent dans une année. Ces situations rendent vulnérable la majorité de la population au changement et à la variabilité du climat.

L'irrigation de complément associée à un niveau d'intensification compatible, pourrait garantir le triple des rendements à l'hectare (Rockström et al., 2002). C'est pourquoi, à travers cette étude intitulée: « **Irrigation de complément dans le Nord Bénin : cas du département du Borgou** » nous entendons faire une analyse prospective allant dans le sens de l'atteinte des objectifs du gouvernement. La mise en œuvre des propositions découlant de cette étude pourrait contribuer à lutter contre l'insécurité alimentaire, un des objectifs de notre structure d'accueil: le PA3D.

La question qui se pose est la suivante: comment le risque de sécheresse ou d'inondation, combiné à la dégradation des sols et la croissance démographique affecte-t-il la production du ménage, son revenu et le bien-être familial ? Pour répondre à cette question et prendre en compte les éléments biophysiques influençant la décision de l'agriculteur, un modèle bioéconomique sous GAMS a été élaboré.

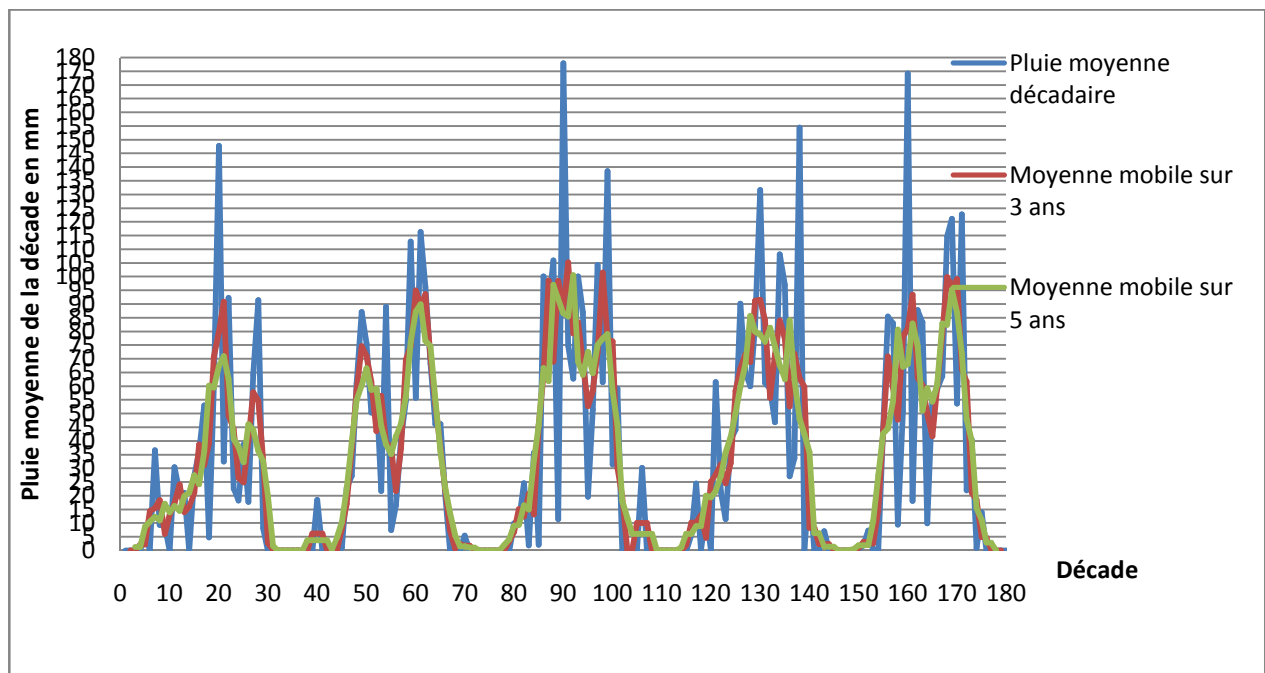
Après, la problématique, les objectifs et la méthodologie qui font partie intégrante de la présente introduction, il sera présenté successivement :

- le cadre de l'étude ;
- la synthèse bibliographique ;
- le modèle ;
- les résultats et discussions ;
- la conclusion ;
- les recommandations et les perspectives ;
- Et enfin les documents annexes.

I.1. Problématique

I.1.1. Evolution des pluies décennales et de l'indice des besoins en eau

1^{ère} partie : Analyse de la série chronologique des pluies décennales de 2006 à 2010



Graphique 1 : Evolution de la pluie décennale de 2006 à 2010

Irrigation de complément dans le Nord Bénin : cas du département du Borgou

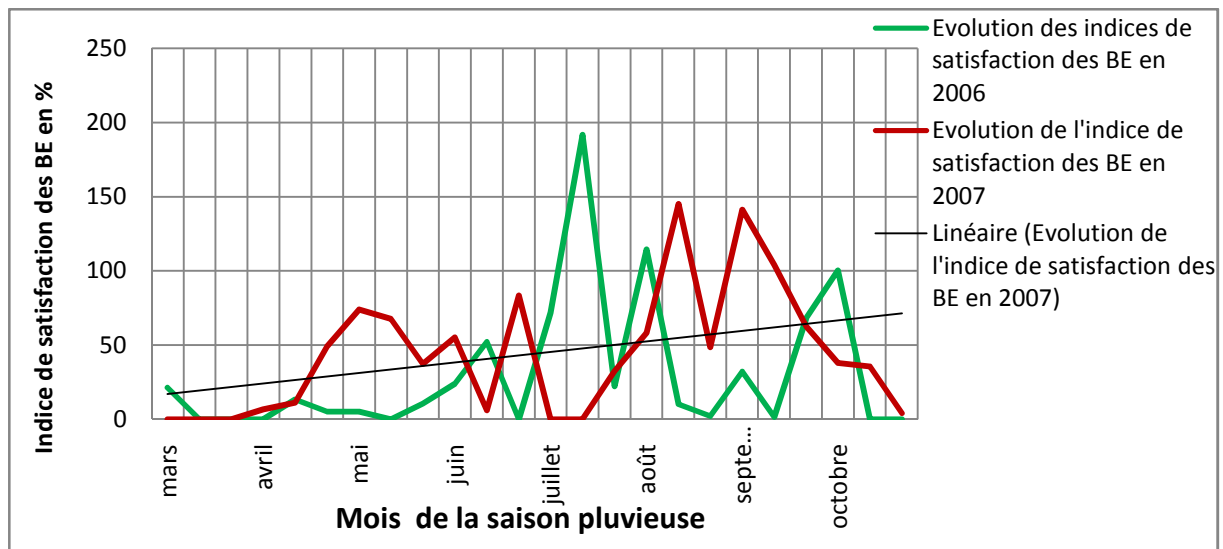
La courbe en bleu montre l'évolution des pluies moyennes de décades successives de 2006 à 2010, soit 180 périodes. On constate en saison de pluies que l'évolution est en dents de scie. Dans ces conditions les doses d'eau reçues par les plantes sont irrégulières. L'analyse du graphique n°1 pose le problème de l'irrégularité des précipitations en saison de pluie. Cette situation aurait des répercussions sur les rendements de production céréalière.

2^{ème} partie : Analyse des indices de satisfaction en alimentation en eau

L'indice de satisfaction de la plante est calculé par le rapport ETR/ETM .

Dans la présente étude, nous faisons l'hypothèse que l'évapotranspiration réelle des surfaces qui résulte de la transpiration des plantes et de l'évaporation du sol est sensiblement égale à la pluie efficace. La plante ne transpire que l'eau qu'elle a réellement consommée.

Quant à l'ETM, elle vaut $ETM = K_c \times ETP$ avec K_c le coefficient cultural fonction de la plante et du cycle végétatif considéré. La valeur de $K_c = 1.2$ (valeur de K_c plus contraignante) quel que soit le cycle et la plante. Les calculs faits sont consignés sur les tableaux n°1 et n°2. Pour permettre une bonne appréciation desdits indices, nous avons représenté ceux de 2006 et ceux de 2007 (graphique n°2).



Graphique2 : Evolution des indices de satisfaction des Besoins en Eau

En culture pluviale, la seule ressource en eau de la plante provient de la pluie qui s'infiltré.

En 2006, sur 24 décades, 3 ont eu un indice de satisfaction en besoin en eau supérieur à 100%. En conséquence, les autres périodes sont considérées comme des séquences sèches de la saison. En 2007, il n'y a eu que 2 décades à bons indices sur 24.

De façon générale, l'indice de satisfaction des besoins en eau est inférieur à 50% de mars à la mi-juillet puis compris entre 50% et 75%, le reste de la saison pluvieuse. La conclusion qui s'en dégage est que durant les 5 premiers mois de la saison des pluies, les cultures sont susceptibles de ressentir un stress hydrique important, ce qui aurait pour conséquence de baisser les rendements. Le présent diagnostic agro-climatique fait ressortir quelques aléas du changement climatique influençant les résultats de production en fin de campagne agricole.

I.1.2. Estimation des pertes de rendements liées au déficit hydrique

L'agriculture béninoise demeure essentiellement une agriculture de subsistance. Presque exclusivement pluviale, c'est une agriculture extensive et itinérante sur brûlis, aux rendements et productions aléatoires car tributaires des conditions climatiques. Cet état de chose provoque des pertes de rendements hypothéquant l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire.

Nous utiliserons l'équation du rendement suivante :

$$\left(1 - \frac{\text{rendement réel}}{\text{rendement maximum}}\right) = Ky \left(1 - \frac{\text{consommation réelle en eau}}{\text{consommation maximale en eau}}\right)$$

Pour l'utilisation de cette formule, nous faisons l'hypothèse que le seul facteur limitant est le déficit hydrique.

- **Ky est le coefficient de réponse du rendement à la contrainte hydrique spécifique** de la période considérée.
- Les ratios $\frac{\text{Rendement réel}}{\text{Rendement maximum}}$ et $\frac{\text{Consommation réelle en eau}}{\text{Consommation maximale en eau}}$ représentent respectivement **le taux de rendement** et l'Indice de satisfaction des Besoins en Eau.

Les taux de rendement du maïs sont consignés dans les tableaux n°3 et n°4 pour 2006 et 2007. Aussi faut-il le préciser, le maïs est la céréale la plus cultivée dans la zone d'étude (annexe 1).

Irrigation de complément dans le Nord Bénin : cas du département du Borgou

Tableau 1: Indice de satisfaction des besoins en eau de la saison agricole 2006

décade	mars			avril			mai			juin			juillet			août			septembre			octobre		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Pluie (mm)	36.6	9.4	9	0	30.4	21	21	0	27.2	36.1	52.9	4.8	59.7	148	32.5	92.2	22.6	18.2	38.7	17.8	64.1	91.4	8.2	0
ETP (mm)	48.7	44.9	58.3	55.2	53.3	43.7	43.8	47.1	52.1	42.3	36.2	35.3	31.3	38.9	37.2	33.5	30.6	35.9	35.8	39.9	36.3	37.8	39.3	45.9
P_{eff}(mm)	12	0	0	0	8.24	2.6	2.6	0	6.32	11.7	21.7	0	25.8	85.8	9.5	44.2	3.56	0.92	13.2	0.68	28.5	43.6	0	0
ETM (mm)	56.0	51.6	67.0	63.5	61.3	50.3	50.4	54.2	59.9	48.6	41.6	40.6	36.0	44.7	42.8	38.5	35.2	41.3	41.2	45.9	41.7	43.5	45.2	52.8
Peff/ETM en %	21	0	0	0	13	5	5	0	11	24	52	0	72	192	22	115	10	2	32	1	68	100	0	0

Tableau 2: Indice de satisfaction des besoins en eau de la saison agricole 2007

décade	mars			avril			mai			juin			juillet			août			septembre			octobre		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Pluie (mm)	0	0	1.1	22.9	27.2	60.9	87.1	75.6	50.4	58.8	21.7	88.9	7.5	16.6	41	54.7	113	55.8	116	96.1	68.3	46.2	46.2	20.1
ETP (mm)	49.4	52.2	63.7	49.3	49.3	46.9	47.4	40.7	47.1	39.8	44.1	43.4	39.9	36.9	39.2	34.1	35.7	42.1	38.3	39.4	43	40.5	43.2	43.2
P_{eff}(mm)	0	0	0	3.74	6.32	26.5	40.3	31.7	20.2	25.3	3.02	41.7	0	0	14.6	22.8	59.6	23.5	62.2	47.1	31	17.7	17.7	2.06
ETM (mm)	56.8	60.0	73.3	56.7	56.7	53.9	54.5	46.8	54.2	45.8	50.7	49.9	45.9	42.4	45.1	39.2	41.1	48.4	44.0	45.3	49.5	46.6	49.7	49.7
Peff/ETM en %	0	0	0	7	11	49	74	68	37	55	6	84	0	0	32	58	145	48	141	104	63	38	36	4

Irrigation de complément dans le Nord Bénin : cas du département du Borgou

Tableau 3 : Perte de rendement en 2006

Mois	mai			juin			juillet			août			Sept.
Phase de croissance en jours	Installation (25 jours)			Végétative (30 jours)			Floraison (30 jours)			Maturation (30 jours)			Récolte (5 jours)
Ky	0.4			0.4			1.5			0.5			0.2
décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
Peff(mm)	2.6	0.0	6.3	11.7	21.7	0.0	25.8	85.8	9.5	44.2	3.6	0.9	13.2
ETM (mm)	50.4	54.2	59.9	48.6	41.6	40.6	36.0	44.7	42.8	38.5	35.2	41.3	41.2
Peff/ETM en %	5.2	0.0	10.5	24.0	52.2	0.0	71.7	191.7	22.2	114.6	10.1	2.2	32.1
Taux de rendement	62.1	60.0	64.2	69.6	80.9	60.0	57.6	237.6	0.0	107.3	55.1	51.1	86.4
Perte de rdmt en %	37.9	40.0	35.8	30.4	19.1	40.0	42.4	–	100.0	–	44.9	48.9	13.6

Tableau 4 : Perte de rendement en 2007

Mois	mai			juin			juillet			août			Sept.
Phase de croissance en jours	Installation (25 jours)			Végétative (30 jours)			Floraison (30 jours)			Maturation (30 jours)			Récolte (5 jours)
Ky	0.4			0.4			1.5			0.5			0.2
décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
Peff(mm)	40.3	31.7	20.2	25.3	3.0	41.7	0.0	0.0	14.6	22.8	59.6	23.5	62.2
ETM (mm)	54.51	46.81	54.17	45.8	50.7	49.9	45.9	42.4	45.1	39.2	41.1	48.4	44.1
Peff/ETM en %	74.0	67.7	37.4	55.2	6.0	83.5	0.0	0.0	32.4	58.2	145.2	48.5	141.3
le taux de rendement	89.59	87.09	74.95	82.1	62.4	93.4	–	–	–	79.1	122.6	74.3	108.3
Perte de rdmt en %	10.41	12.91	25.05	17.9	37.6	6.6	–	–	–	–	–	25.8	–

L'analyse des résultats des tableaux n°3 et n°4 fait remarquer ce qui suit :

- Le déficit hydrique induit des pertes de rendements importants ;
- Les pertes de rendements observés varient d'une décade à l'autre et d'une année à l'autre.

Au total, le déficit hydrique provoqué par la variabilité inter annuelle des pluies explique pour beaucoup la baisse générale des productions. C'est donc à ce problème qu'il faut trouver solution et pour y arriver il faut se fixer des objectifs.

I.2. Objectifs

Objectif général : Contribuer à la réflexion sur l'élaboration de stratégies efficaces dans la lutte contre l'insécurité alimentaire sous contrainte climatique dans le Nord du Bénin.

Objectifs spécifiques :

- Evaluer les atouts de l'application de la culture irriguée dans la zone d'étude;
- Réaliser une étude prospective comparée des rendements en culture pluviale simple et de ceux en culture pluviale avec irrigation de complément par modélisation bioéconomique ;
- Elaborer un modèle sous GAMS pour montrer l'influence sur le revenu du choix des spéculations et de l'assolement sous différentes contraintes ;
- Elaborer un bilan hydrique à la parcelle permettant d'identifier les périodes critiques où l'irrigation de complément pourrait donner les meilleurs résultats.

I.3. Méthodologie

I.3.1. Collecte de données

Les données ont été recueillies de la façon suivante :

- Au CeRPA Borgou Alibori : nous avons recueilli les données relatives à la pluviométrie moyennes des communes du département du Borgou, celles des productions végétales et les sols ;
- Au CeCPA Nikki, nous avons recueilli les données relatives aux coûts de production ;
- A l'ASECNA à Parakou, nous avons eu les données relatives à l'évapotranspiration potentielle ETP et à la pluviométrie décadaire;
- Dans une ferme de 10 hectares à Parakou, les données bioéconomiques ont été recueillies ;
- Au PA3D, notre structure d'accueil a bien voulu mettre à notre disposition des informations relatives à la politique de sécurité alimentaire au Bénin ;
- Enfin, nous avons utilisé les données climatiques du logiciel CLIMWAT2.0 pour les calculs de l' ET_0 et des besoins en eau.

I.3.2. Travaux de terrain

Les travaux de terrain ont consisté aux échanges avec les exploitants sur les petits périmètres irrigués réalisés par le PA3D et le PAPEJ. Il s'agit du périmètre de Kaki-Koka dans la

Irrigation de complément dans le Nord Bénin : cas du département du Borgou

commune de Tchaourou. Sur ce périmètre, il est fait du maraîchage avec un système d'irrigation mixte (irrigation de type californien et l'irrigation localisée). Le second site visité est dans la Commune de N'Dali. Le système d'arrosage est manuel. La source d'approvisionnement est un bassin et on utilise des arrosoirs pour apporter la dose.

I.3.3. Les calculs

Pour les calculs, plusieurs formules sont utilisées. Les indices de satisfaction des besoins en eau des plantes et des pertes de rendement de production ont été calculés respectivement par

les formules : Indice de rendement = $\frac{\text{Pluie efficace}}{ETM}$;

$$\left(1 - \frac{\text{rendement réel}}{\text{rendement maximum}}\right) = Ky \left(1 - \frac{\text{consommation réelle en eau}}{\text{consommation maximale en eau}}\right)$$

Quant aux besoins nets en eau, la formule utilisée est : Bes. Irr = $ET_0 * Kc - \text{Pluie efficace}$. Les valeurs de Kc utilisées sont ceux du maïs (Annexe 4). $P_{eff} = 0.80 * \text{Pluie moyenne}$. Enfin, les formules de la programmation mathématique sont utilisées dans le modèle bioéconomique élaboré sous le logiciel GAMS.

Tableau5 : Données utilisées pour le calcul des besoins en eau

Mois	Pluie	Temp min	Temp max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ETo
	mm	°C	°C	%	km/jr	heures	MJ/m ² /jr	mm/jr
Janvier	0	18.9	34.1	33	173	7.5	18.5	5.56
Février	5.1	21.3	36	38	173	8	20.5	6.04
Mars	23.2	22.9	36.2	49	259	7.6	21	6.91
Avril	73.8	23.1	34.9	61	259	7.6	21.2	6.24
Mai	138.2	22.2	32.8	71	259	7.2	20.2	5.33
Juin	202.7	21.4	30.7	77	173	6.8	19.2	4.41
Juillet	179.8	21	29.2	80	173	4.9	16.5	3.76
Août	200.7	20.8	28.6	82	173	4.1	15.6	3.5
Septembr	251	20.5	29.5	81	173	4.8	16.6	3.7
Octobre	116.3	20.8	31.5	75	173	7	19.2	4.4
Novembre	8.2	19.7	33.6	55	173	7.9	19.3	5.09
Décembre	8.5	18.5	33.6	42	173	7.3	17.8	5.21
Moyenne	1207.5	20.9	32.6	62	194	6.7	18.8	5.01

Source : Climwat2.0 sauf colonne pluie.

Note : Les données de précipitations sont la moyenne de celles de 2006 à 2010 obtenues à la station météorologique de Parakou.

I.3.4. Modèle bioéconomique et le logiciel GAMS

GAMS est un logiciel mis au point par la Banque Mondiale. Il est un langage de programmation qui a été spécifiquement élaboré pour résoudre des problèmes d'optimisation (linéaire, non-linéaire ou mixte). Le logiciel GAMS est spécialement utile pour résoudre des modèles de programmation mathématique relativement grands et compliqués tels que les modèles bioéconomiques.

Le modèle bioéconomique que nous avons à développer est un modèle d'exploitation agricole cherchant à décrire la situation observée en intégrant des contraintes et des ressources prises en compte par le producteur dans ses décisions de production. Ces contraintes et ressources sont de nature économique (accès aux facteurs de production terre, main d'œuvre et liquidités) et biologiques (bilan minéral, matière organique, conservation du sol, etc.).

Tableau 8 : Données relatives à l'assolement d'une exploitation agricole de Parakou

Types de sols	Spéculations en 2010	Spéculations en 2009	Observations
Les bas-fonds (0.5 ha)	Piment (\approx 0.25 ha) Gombo (\approx 0.25 ha)	Piment (0.25 ha) Gombo (0.25 ha)	Les bas fonds sont non inondables.
Les sableux-limoneux (0.5 ha)	Igname (0.5 ha)	Sorgho (0.5 ha)	Sorgho passe avant l'igname
Les ferrugineux tropicaux (7 ha)	Coton (4 ha), maïs local (1 ha), maïs amélioré (1 ha), sorgho (1 ha)	maïs local (1 ha), maïs amélioré (1.5 ha), igname (0.5 ha) Coton (3 ha)	Le coton passe avant le maïs
Les jachères traditionnelles (1 ha)	Rien	Rien	Jachères de 4 ans
Les jachères améliorées 2 (1 ha)	Soja (1 ha)	Soja (1 ha)	

I.3.4.1 Le Modèle mathématique :

Fonction objectif :

$$R = \text{Max} \left(\sum_c \sum_s [\text{pr}(a) * \text{pdt}(c, a) * \text{px}(c)] - \text{AUTO}(c, a) * \frac{1}{3} \text{px}(c) \right. \\ \left. - \sum_c [\text{bc}(c) * X(c, s)] - \sum_b [\text{cout}(b) - \text{BAS}(b)] - (0.20 * \text{CRED}) \right)$$

Les contraintes :

Terre :

$$\sum_c \sum_p \text{ass}(c, p) * X(c, s) \leq \text{Terres}(s)$$

le capital :

$$\sum_c [\text{bc}(c) * X(c)] \leq \text{cap} * \text{pop} + \text{CRED}$$

Travail :

$$\sum_c \sum_p (w(c, p) * X(c)) \leq \text{pop} * j_dispo(p)$$

Le risque :

$$\sum_c \sum_{s2} [\text{rdmt}(c, a2) * \text{px}(c) * X(c, s) - \text{bc}(c)] = \text{RMIN}$$

Les équations reliant les paramètres :

La production: $\text{rdmt}(c, a) * X(c, s) - \text{imp}(c) * \text{DEFH}(c, s) * \text{sci}(c) = \text{pdt}(c, a)$

Volume d'eau dans le bassin: $\text{bo}(c, p, a) * X(c, s) \leq \text{EAU}(c, p, a) + \text{DEFH}(c, s) * \text{sci}(c)$

Equations de contrainte eau dans le bassin :

$$\sum_c \text{EAU}(c, p, s) \leq \sum_b \text{BAS}(b) \leq \text{mxbas}(b)$$

$$\text{RUIS}(b, p, s) \leq \text{ruis1}(b, p, s)$$

$$\sum_b \sum_p \sum_s (\text{EAU}(c, p - 1, s) + \text{RUIS}(b, p, s)) - \sum_c \text{bo}(c, p, s) * X(c) \leq \sum_c \text{EAU}(c, p, s)$$

Où :

Les ensembles :

c représente l'ensemble des cultures de la ferme donc

c = {coton, igname, maïs local, maïs amélioré 1, sorgho, soja, piment, gombo };

a ensemble des saisons a1 (saison normale) et a2 (saison sèche) ;

Irrigation de complément dans le Nord Bénin : cas du département du Borgou

s est l'ensemble des types de sols, on a s_1 =bas fonds ; s_2 =sols sablo-limoneux ; s_3 sols ferrugineux tropicaux ; s_4 jachères améliorées ; s_5 jachères traditionnelles.

b représente l'ensemble des bassins (b_1 ou b_2) ;

p ensemble des périodes trimestrielles p_1 , p_2 , p_3 et p_4 .

les paramètres :

$pr(a)$ est la probabilité d'occurrence de la saison s ;

$pdt(c,a)$ est la production de la culture c dans la période s ;

$px(c)$ est le prix de vente de la culture c ;

$bc(c)$ est le besoin en capital de la culture c ;

$w(c,p)$ est le besoin en travail en fonction des différentes périodes ;

$bo(c,p,a)$ représente le besoin en eau de la culture fonction de la culture, de la période et de la saison ;

terres(s) superficie de terres disponible par type de sols ;

$rdmt(c,a)$ représente le rendement de la culture en fonction de la saison ;

$coub(b)$ représente le coût de réalisation du bassin b_1 ou b_2 ;

$cout(b)$ représentant l'amortissement du bassin b ;

$annu(b)$ le nombre année d'amortissement du bassin b ;

$maxbas$ est le volume maximal d'un bassin donné;

$ruis_1(b,p,a)$ volume d'eau ruisselant dans le bassin b en fonction de p et de s.

$imp(c)$ est l'impact du déficit hydrique sur la culture c.

Les scalaires ou constantes :

Ter superficie de terres disponibles égale à 10 ha ; Mod nombre de jours pour le travail ; Pop nombre de personnes travaillant dans la ferme ; Cap capital nécessaire par personne.

Les variables (ou variables dépendantes ou de sortie):

R : le revenu net de l'exploitant en FCFA ;

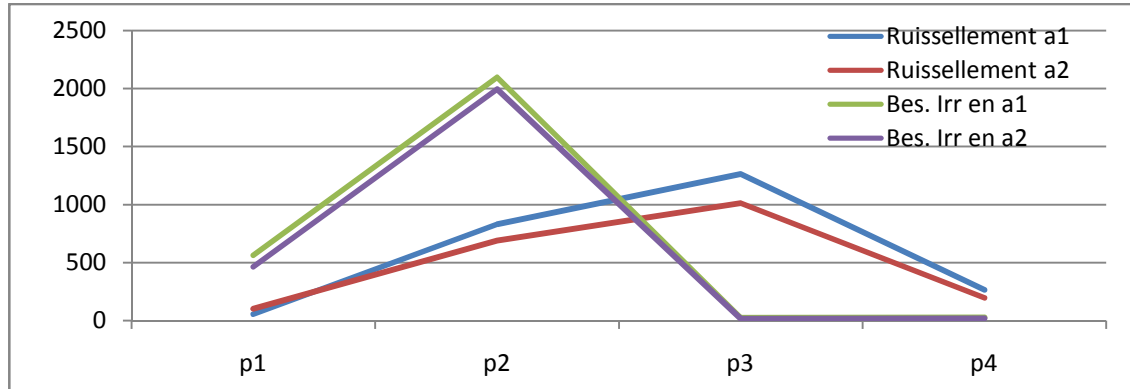
RMIN : le revenu minimal de l'exploitant en prenant en compte le risque ;

Les variables positives :

X superficie emblavée en ha ; EAU volume d'eau dans le bassin ; BAS volume du bassin choisi ; RUIS volume d'eau ruisselé dans le bassin ; PDT la production ; DEFH le déficit hydrique ou Besoin en eau d'irrigation ; CRED le crédit agricole acquis à un taux de 20%.

I.3.4.2. Le calage du modèle

C'est l'opération qui consiste à trouver les valeurs des paramètres du modèle qui minimisent l'erreur de modélisation.



Graphique 5: Graphe de comparaison des besoins en eau et des ruissellements pendant les saisons a1 et a2.

Ce graphique montre que les eaux de ruissellement de la parcelle considérée ne couvrent pas les besoins en eau de la culture du maïs en p1 et p2. C'est en p2 (second trimestre de l'année) qu'on trouve les besoins maxima. Donc les valeurs du ruissellement ont été ajustées à 1500 m³ pour p1 et 2000 m³ pour p2. Les équations tenant compte des rotations entre le sorgho et l'igname d'une part, et le fait que le coton se cultive pour profiter des intrants que l'agriculteur utilise pour les céréales de l'autre ont permis le calage du modèle (annexe 5).

I.3.4.3. Simulation et validation du modèle

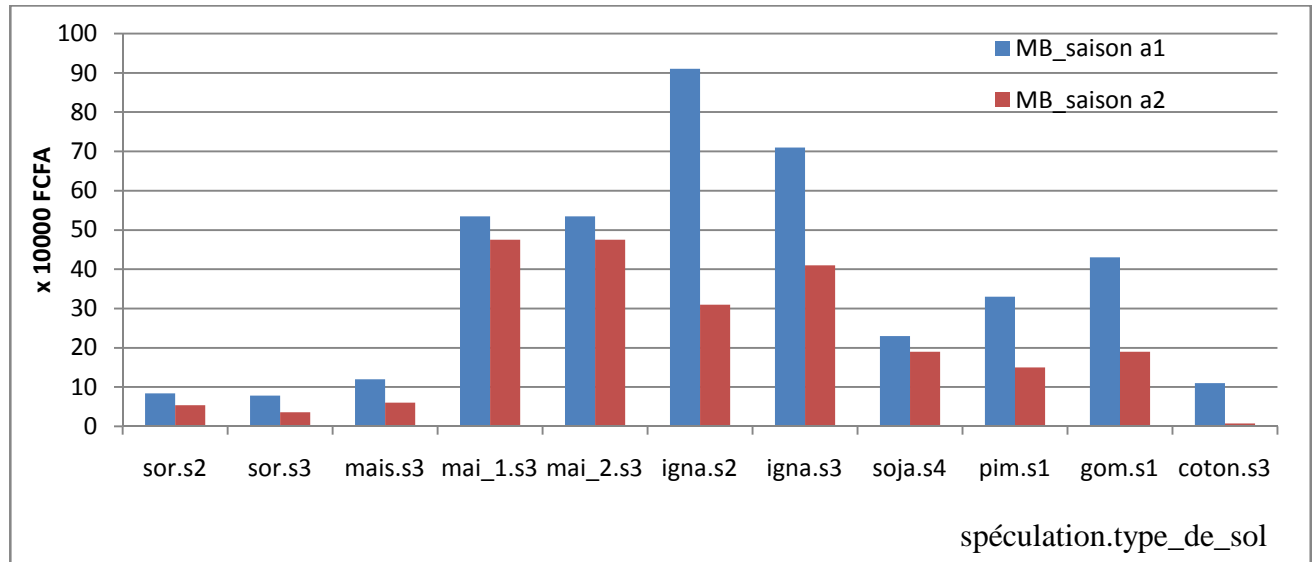
Après le calage, le modèle a été simulé avec les données recueillies sur l'exploitation et dans la zone d'étude. Les résultats de la simulation sont consignés dans le tableau 8.

Tableau 9 : superficies observées et superficies simulées

Spécifications	Sup. observées (ha)	Sup. simulées (ha)	Ecart (ha)
Gombo et piment	0.5	0.5	0
Coton	4	3.25	-0.75
Igname	0.5	3.25	+2.75
Sorgho	1	0.5	-0.5
Maïs local	1	0.5	-0.5
Maïs amélioré	1	0	-1
Soja	1	0.5	-0.5
TOTAL	9	8.50	-0.50

Irrigation de complément dans le Nord Bénin : cas du département du Borgou

On constate que l'écart est élevé au niveau de l'igname. Cela pourrait s'expliquer par le fait que l'objectif poursuivi est de maximiser le revenu net donc GAMS propose des superficies à emblaver pour que le revenu net de l'exploitant soit maximal et l'igname a une grande marge brute quelque soit la saison (graphique 6).



Graphique 6 : Comparaison de la marge brute des spéculations

On constate également que les maïs irrigués ont la même marge. Ce qui peut s'expliquer par le fait l'eau n'est pas apportée aux maïs 1 et 2 dans cette 1^{ère} simulation. En conséquence le modèle ne fait aucune différence entre les deux maïs. On peut donc dire qu'il n'y a pas d'écart dans les superficies emblavées de maïs amélioré. Les résultats donnés par le modèle sont satisfaisants. Le modèle est validé.

II. CADRE DE L'ETUDE

II.1. Cadre institutionnel du stage

Le présent stage s'est déroulé au siège du Projet d'Appui à la Décentralisation, à la Déconcentration et au Développement local à Parakou au Bénin (PA3D). Ce projet vise à « renforcer les capacités des communes et des acteurs locaux à stimuler efficacement le développement économique local et à réduire la pauvreté et l'insécurité alimentaire, en particulier des femmes et des groupes vulnérables ».

Pour les investissements, le projet prendra en compte sept (07) des huit (08) communes de la zone d'étude. Il s'agit de : Bembéréké, Kalalé, N'Dali, Nikki, Pèrèrè, Sinendé et Tchaourou. Le thème retenu « Irrigation de complément en culture pluviale dans le nord du Bénin : cas du département du Borgou » vient contribuer à la réflexion sur la lutte contre l'insécurité alimentaire. Et pour atteindre l'objectif de la sécurité alimentaire, le PA3D a opté pour l'appui des activités maraîchères et la construction de 8 magasins pour le warrantage.

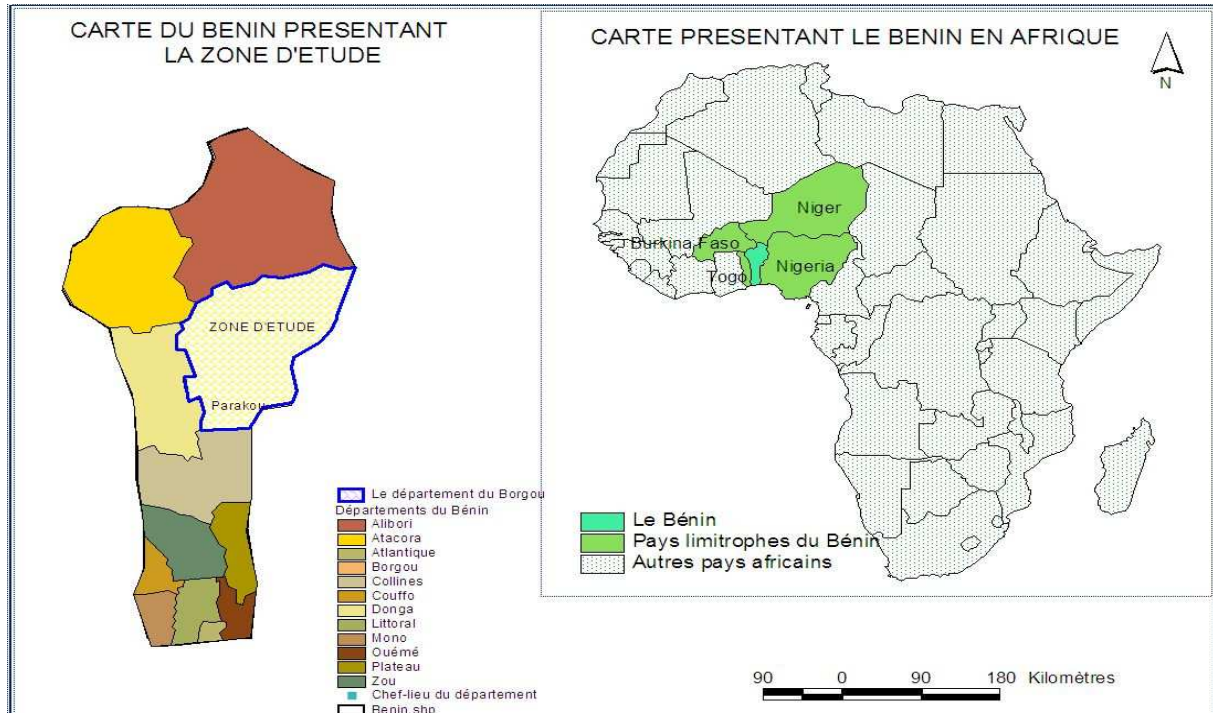
En effet, le warrantage permettra aux producteurs de conserver les produits vivriers après les récoltes. Auparavant, le constat désagréable fait, est que les producteurs bradaient leurs productions vivrières dans un premier temps. Puis ces producteurs rachetaient ces produits plus chers dans un second temps (généralement de mars à juillet). Ce qui fait d'eux, une couche vulnérable. Avec le warrantage couplé à de la microfinance, les producteurs pourront connaître la sécurité alimentaire.

II.2. Situation géographique de la zone d'étude

Le Bénin a une superficie de 112 620 Km² et compte 12 départements. La zone d'étude, le département du Borgou, s'étend sur 25 856 km² et est situé au Nord-est du pays. Les départements limitrophes de la zone sont indiqués sur la carte n°1 avec à l'Est le Nigéria. Ce dernier constitue un débouché pour le département. La ville de Parakou est le chef-lieu dudit département.

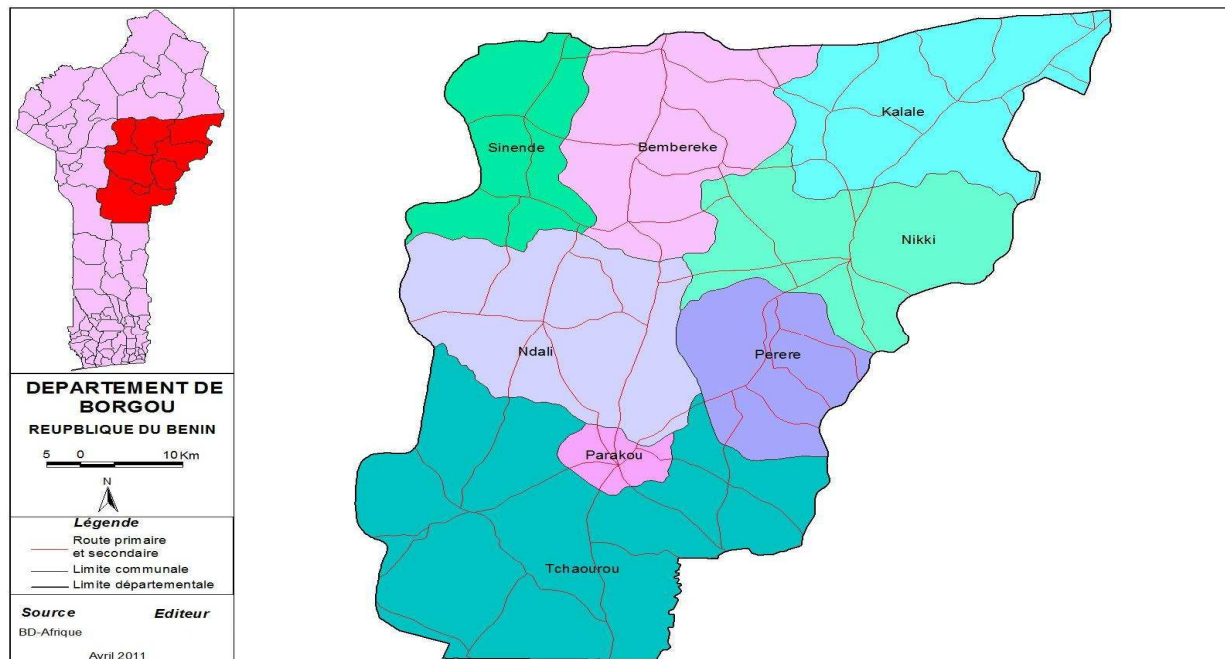
La zone d'étude – le département du Borgou (carte n°2) – est le département le plus grand (23% de la superficie totale) du Bénin. Elle compte 57% de populations rurales. L'agriculture est la principale activité économique.

Irrigation de complément dans le Nord Bénin : cas du département du Borgou



Carte 1 : Pays limitrophes du Bénin et les départements du Bénin.

Source : Données SIG 2iE - Avril 2011



Carte 2 : les Communes du département du Borgou

II.3. Description du cadre physique

Cette section permettra d'une part de décrire le cadre physique de la zone d'étude et d'autre part souligner les atouts de l'application de la culture irriguée.

II.3.1. Climat

Dans le département du Borgou, le climat est du type tropical humide (climat Sud soudanien). Il se caractérise par l'alternance d'une saison de pluies (Mars à Octobre) et d'une saison sèche (Novembre à Février). C'est en Décembre-Janvier (période de l'harmattan) que l'on enregistre les températures les plus basses dans ce département du Nord-est du Bénin.

La précipitation moyenne annuelle est de 1200 mm. Le maximum survient entre juillet, août et septembre (Rapport annuel 2009, CeRPA Borgou/Alibori).

L'évapotranspiration de référence ET_0 est de 5 mm par jour en moyenne. Ce qui est faible par rapport à celle de la station de Gaya (ville du Niger frontalière au Bénin). Les autres éléments caractéristiques de l' ET_0 sont présentés sur le tableau ci-dessous.

Tableau 6 : Valeurs caractéristiques du climat des stations de Parakou et de Gaya

Station météo	Valeur	Temp. Min	Temp. Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ET ₀
		°C	°C	%	km/jour	heures	MJ/m ² /jr	mm/jr
Parakou	Min	18.5	28.6	33.0	173.0	4.1	15.6	3.5
	Moy.	20.9	32.6	62.0	194.0	6.7	18.8	5.0
	maxi	23.1	36.2	82.0	259.0	8.0	21.2	6.9
Gaya	Min	18.6	31.1	19.7	103.7	5.8	17.5	3.9
	Moy.	22.7	35.2	47.8	183.6	7.6	20.0	5.8
	maxi	27.1	40.3	81.4	267.8	8.4	21.5	7.6

Source : Climwat 2.0 for Windows

Note : Temp.=température - Min = minimale - Max = maximale - Moy. = moyenne

Ray.= rayonnement solaire

La station de Gaya est à la frontière entre le Bénin et le Niger. Malanville est la ville frontalière proche de Gaya. A Malanville, il y a plus de 400 ha de périmètre irrigué et environs 2000 ha en cours d'aménagement par l'ABN.

Au regard des valeurs de ces stations, on constate que les caractéristiques du climat de Parakou sont très voisines de celles de Gaya. On tire la conclusion que ce climat représente un atout à la réalisation de la culture irriguée.

II.3.2. Types de sols et végétation

II.3.2.1. Types de sols

On distingue plusieurs unités pédologiques qu'on peut regrouper en quatre (04) grands ensembles à savoir :

- Les bas-fonds, ils sont très cultivés pour le maraîchage. Ces sols sont de très bons sols pour la culture de riz et des cultures maraîchères. En effet, ces sols contiennent une proportion plus ou moins importante d'argile. Ce qui explique sa grande teneur en eau ;
- Les sols minéraux bruts, ils sont bons pour l'agriculture car ces sols possèdent plusieurs minéraux desquels les plantes puisent pour leur besoins nutritionnels;
- Les sols peu évolués couvrent une petite superficie et sont exploités également pour l'agriculture.
- Les sols ferrugineux tropicaux sont les plus répandus. Ce sont des sols ayant une profondeur plus ou moins importante ; leur perméabilité et leur porosité sont généralement bonnes. On les rencontre en position de plateau, de sommet ou de haut de pente. Très cultivés, ces sols sont sensibles à l'érosion avec d'importantes contraintes sur l'agriculture.

Le terrain en général n'est pas accidenté. Le sol constitue également un atout pour l'agriculture irriguée. Mais, la non délimitation des aires de pâturage pourrait constituer l'obstacle majeur pour l'implantation de grande superficie irriguée.

II.3.2.2. La végétation

La végétation est composée de savanes boisées, arborées et arbustives. On y rencontre de forêts claires par endroits. Mais l'action de l'homme y a provoqué de profonds bouleversements. En conséquence, on note la disparition de nombreux ligneux et des ressources fauniques. Les espèces fréquentes sont : Combretum nigricans, Detarium microcarpum, Gardénia erubescens et Gardénia triforia. Les sols de ces formations soumises aux pressions humaines et aux contraintes climatiques sont confrontés au phénomène d'érosion de plus en plus accentuée.

La savane arborée se caractérise par la présence du faux acajou (*Blighia sapinda*), de bois d'ébène (*Diospyros mespilifounis*) et surtout du karité (*Butyrospermum paradoxum*) et du néré (*Parkia biglobosa*). Les bas-fonds sont des prairies marécageuses de savanes, des buissons de

bambous (*Bambusa arundinacca*). Il y a en somme diverses variétés d'arbres et d'arbustes dans cette végétation.

II.3.3. Hydrographie et Hydrogéologie

II.3.3.1. Hydrographie

Le Bénin est drainé par un assez dense réseau hydrographique constitué de plusieurs cours d'eau à régime d'écoulement saisonnier avec des débits de crue relativement importants et des débits d'étiage quasi nuls dans la plupart des cas. Le pays est subdivisé en 4 grands ensembles hydrographiques (annexe 3).

Dans la zone d'étude, on rencontre deux ensembles hydrographiques :

- ensemble hydrographique du Niger régnant sur les communes de Nikki, Pèrèrè, Kalalé, Sinendé, Bembérékè, Parakou et la partie nord de la commune de Tchaourou. Cet ensemble se caractérise par une saison sèche de 4 mois et une saison pluvieuse de 8 mois.
- ensemble hydrographique de l'Ouémé-Yéwa régnant dans la partie sud de la zone d'étude (commune de Tchaourou). Cet ensemble se caractérise par deux saisons pluvieuses (la grande saison pluvieuse et la petite saison pluvieuse);

Il est à noter que, le département du Borgou ne connaît qu'une saison sèche et une pluvieuse correspondant à l'ensemble hydrographique du Niger. Par ailleurs, cette hydrographie ne permet pas de pratiquer une irrigation avec prise au fil de l'eau en toute saison.

Un atout important, c'est l'existence de plusieurs barrages et retenues d'eau qui servent principalement à l'abreuvement des animaux. Pour ce qui est de l'irrigation, ces barrages pour le moment servent aux maraîchers.

II.3.3.2. Hydrogéologie

Le Borgou est une zone de socle cristallin. Les études hydro géophysiques montrent l'existence de plusieurs nappes exploitables. Ce qui peut favoriser la réalisation des forages ou des puits dans les zones d'exploitation agricole. Cependant, les hydrogéologues qualifient

cette région d'hydro géologiquement difficile en raison de quelques forages et puits négatifs (Plan de Développement de Parakou, 2006).

II.3.4. Principales cultures agricoles

Les principales productions vivrières (maïs, manioc, sorgho, mil, igname, soja, niébé et arachide) permettent de couvrir globalement les besoins alimentaires, mais restent encore largement en deçà des potentialités offertes par les conditions écologiques du pays. La principale culture de rente est le coton produite en majorité au Nord du pays.

Les données chiffrées relatives aux principales cultures dans le département du Borgou sont consignées dans le tableau de l'annexe 1.

De l'analyse de ces données, nous notons que :

- Quelque soit l'année, la superficie couverte par la culture d'igname est supérieure à celle des autres cultures ;
- La culture vivrière la plus produite est le maïs. Il en existe deux sortes le maïs local et celui amélioré.

II.3.5. Techniques de conservation des sols

Les services spécialisés des CeCPA ou du CeRPA utilisent le terme de gestion de la fertilité du sol pour parler de Conservation des sols.

Dans le Borgou, on rencontre deux types de techniques de conservation des sols :

- Les jachères traditionnelles ou non améliorées :

Ces jachères sont envahies par des herbes et des arbustes assez divers et laissées pendant plusieurs années. Cette pratique est délaissée de plus en plus au profit de techniques modernes car d'autres cultures sont possibles sur ces jachères jugées pauvres par l'exploitant mais aussi la pression faite sur les terres.

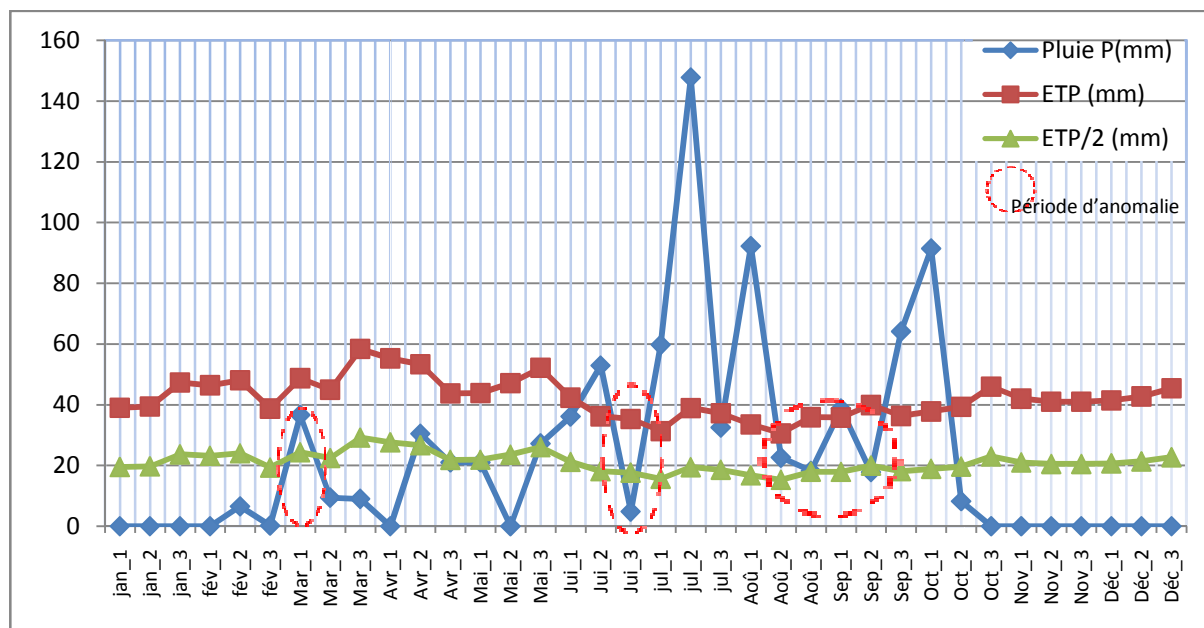
- Les jachères améliorées sont les sols sur lesquels on utilise des légumineuses pour améliorer les sols qui n'ont plus de bons rendements. Ces jachères sont dites de courte durée. Les légumineuses rencontrées sont : le niébé, l'arachide, le soja, le mucuna, le pois d'Angole, etc. Certaines de ces légumineuses sont pérennes d'autres saisonnières.

Certaines pratiques relatives à la lutte anti-érosion sont rencontrées. Il s'agit de l'implantation des haies antiérosives autour des sols jugés légers. Sur ces derniers, il est interdit d'utiliser des tracteurs pour le labour.

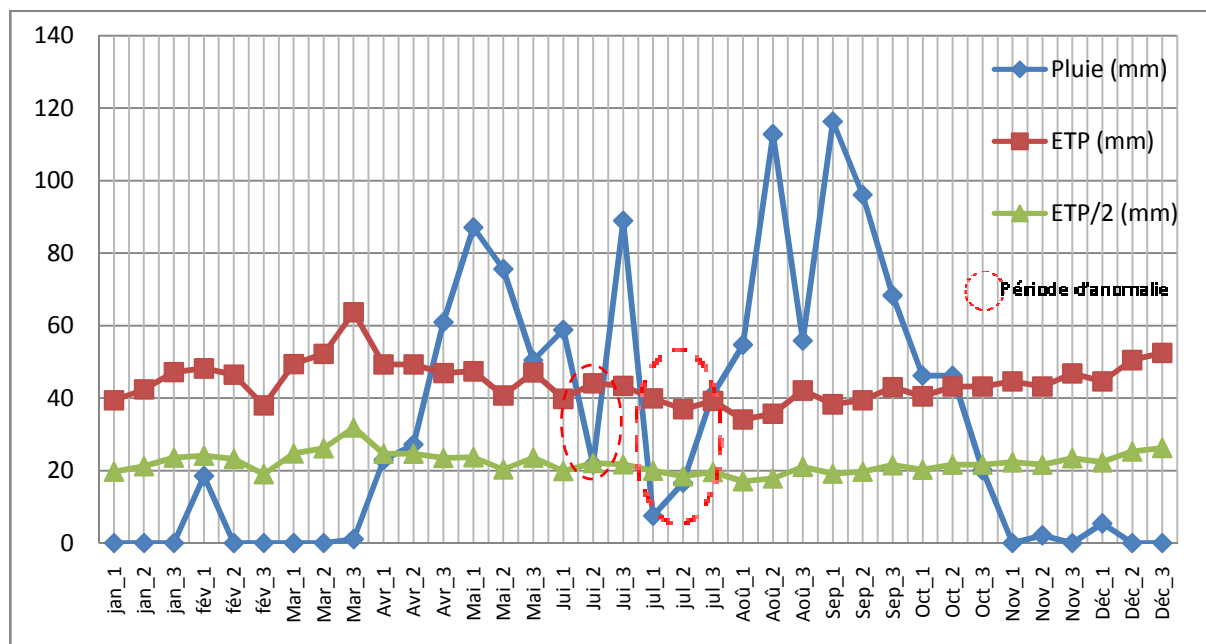
II.4. Changement climatique en agriculture pluviale et calendrier cultural

Selon le diagnostic fait sur les effets du changement climatique au Bénin, il apparaît de façon générale que la sécheresse, les pluies tardives et violentes, et les inondations sont les trois (03) risques climatiques majeurs (Rapport de l'Atelier de Haut niveau de Syrte, 2008).

Cet état de choses perturbe le démarrage des activités de la campagne agricole chez les agriculteurs. L'utilisation de la méthode d'analyse agro-climatique en région tropicale proposée par Franquin en 1968 permet d'apprécier les calendriers culturaux de 2006 et 2007 (graphique 3 et 4). Selon la méthode, il faut distinguer quatre zones : la pluie $P < ETP/2$; $ETP/2 < P < ETP$; $P > ETP$ et $P < ETP$ correspondant respectivement aux périodes de **préparation des sols, pré-humide ou de semis** (durant cette période le stock d'eau de rétention du sol se reconstitue), **période de humide ou de végétation** (durant laquelle l'eau est utilisée par les plantes et l'ETP) et la **période post-humide** durant laquelle les pluies diminuent et le stock d'eau du sol s'épuise.



Graphique3 : Graphe montrant l'évolution de la pluie, de l'ETP et de l'ETP/2 en 2006.



Graphique4 : Graphe montrant l'évolution de la pluie, de l'ETP et de l'ETP/2 en 2007.

L'analyse comparée des deux graphiques (tableau n°8) permet d'identifier des périodes d'anomalies.

On constate qu'entre deux campagnes (2006 et 2007 par exemple), il y a eu de grandes anomalies pluviométriques et de grands décalages au niveau du calendrier culturel.

La période post-humide est pratiquement identique. Ce qui est en adéquation avec l'analyse statistique du nombre de jours de pluies qui varie peu.

Le caractère unimodal de la pluviométrie caractérisant la zone d'étude n'est pas perceptible. Plusieurs pics s'observent sur les graphes. Les conséquences observées au niveau des exploitants sont : la peur de démarrer la campagne agricole ; les re-semis engrangeant une grande partie du crédit agricole et le démarrage à des périodes différentes de la campagne agricole.

Tableau 7 : détermination des périodes de différentes activités agricoles

Période	Graphique3 (2006)	Graphique4 (2007)	Observations
$P < \frac{ETP}{2}$ ou période de préparation des sols	jan_1 à Mai_2	jan_1 à avr_1	La période de préparations des sols varie d'une année à une autre.
$\frac{ETP}{2} \leq P \leq ETP$ ou période des semis	Mai_3 à jui_1 puis Aoû_2 à sep_2	Jui_2 puis la période jul_1 à jul_3	Les périodes en rouges sont des anomalies car ce sont des périodes de semis qui apparaissent dans la période humide.
$P \geq ETP$ ou période de végétation	Jui_2 puis jul_1 à Aoû_1	Avr_3 à jui_1 puis la décade jui_3 et enfin jul_3 à oct_2	Trois pics pluviométriques en 2006 et 4 en 2007
$P \leq ETP$ ou période post-humide	Oct_2 à Déc_3	Oct_3 à Déc_3	Il y a un décalage d'une décade.

III. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

III.1. Définition et efficacité de l'irrigation de complément

Dans Les données de bases de l'irrigation (2005), M. COMPAORE Laurent définit l'irrigation d'appoint comme celle qui permet d'obtenir une récolte normale en se contentant de combler le déficit en eau dû à l'insuffisance des pluies et / ou à leur mauvaise répartition. Quant à M. VAN LAERE Pierre-Emile, dans Mémento de l'Irrigation (2003), il précise que l'irrigation d'appoint se distingue de l'irrigation pérenne par le fait qu'elle consiste à apporter une petite quantité d'eau aux cultures pour pallier à l'insuffisance des précipitations, dans le but de stabiliser les rendements. De ces définitions, ressort l'intérêt de l'irrigation de complément : obtenir une récolte normale pour M. COMPAORE Laurent et stabiliser les rendements pour M. VAN LAERE Pierre-Emile.

Quant à l'efficacité de l'irrigation de complément, les travaux de Lui et al., 2005 en Chine et en Afrique de l'Est, ont montré que l'irrigation de complément faite avec les eaux de ruissellement collectées dans les champs, a permis d'accroître les rendements du maïs et du blé de plus de 50%. Les travaux expérimentaux de ROCKSTROM J., BARON J. et FOX P. en 2002 au Kenya et au Burkina Faso ont montré que l'irrigation de complément couplée à une bonne fertilisation, a permis d'accroître les rendements de sorgho et du maïs de 70 à 300%.

III.2. Etudes récentes menées sur le sujet dans la zone d'étude

Dans le Rapport de la Conférence de Haut Niveau en 2008 à Syrte en Lybie, sur le thème l'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique, on note l'existence de plusieurs projets et études réalisés dans le Borgou. Ces projets sont relatifs à la petite irrigation villageoise, à l'irrigation privée ou à l'aménagement des bas-fonds. On peut citer :

- Le PUASA qui contribue depuis 2008 à la lutte contre l'insécurité alimentaire. Dans ce projet, il a été développé de petits périmètres irrigués, des bas-fonds améliorés aménagés. Ces aménagements sont suivis de dotations de matériels d'arrosage tels que les motopompes et la réalisation de forages de faibles profondeurs. Sur certains bas-fonds non inondables en saisons de pluie, ces matériels sont utilisés pour l'irrigation de complément ;

- Le PNPIP qui a démarré depuis 2009 et s'achèvera en 2019. Ce programme dirigé par la DGR vise à promouvoir l'irrigation privée. Dans ce cadre, il est prévu l'émergence d'entreprises agricoles modernes, le renforcement des capacités techniques et de gestion des producteurs, des associations et des opérateurs évoluant dans le secteur des activités connexes à l'irrigation. Ce programme, pour sa pérennité, installera des systèmes fonctionnant en toute saison. En conséquence, il s'agira de l'irrigation d'appoint en période de pluie.

Deux travaux récents ont utilisé GAMS pour caler et simuler leurs modèles bioéconomiques dans une zone proche du Borgou. Il s'agit de :

- De la thèse de Monsieur ISSAKA Kassimou publiée en 2002. Elle est relative à l'évaluation de l'introduction des innovations technologiques en agriculture et la prise en compte du risque;

- Des travaux de BARBIER, B. et FLOQUET, A. sur la sédentarisation de l'igname réalisés dans la zone du centre du Bénin. Cette étude a été menée dans le cadre du programme CORUS. Elle est empirique et prospective grâce à un modèle bioéconomique. Ce modèle a pris en compte des aspects de crédit et du risque agricoles.

IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. Le besoin de faire l'irrigation de complément est fonction de la date de semis

En prenant les précipitations moyennes de 2006 à 2010 de la station météo de Parakou et en variant les dates de semis, les besoins en eau d'irrigation d'appoint varient (Tableau 11).

Lorsque la date des semis est :

- entre le 1^{er} mars et le 1^{er} avril, le besoin d'eau est très grand et peut atteindre 2657 m³/ha;
- le 1^{er} mai, le besoin d'irrigation est de 26 m³/ha. C'est une quantité faible par rapport à 2657 ;
- le 1^{er} juin, aucun besoin d'irrigation ;
- et le 1^{er} juillet, le besoin d'eau d'irrigation est de 185 m³.

Les besoins en eau des cultures sont importants au début (mars-avril) et à la fin (octobre) de la saison pluvieuse. Donc le besoin d'apporter l'eau de complément est fonction des hauteurs d'eau précipitées dans la période. Ces valeurs de besoin d'eau d'irrigation ont conduit au résultat suivant lequel **le besoin de faire l'irrigation de complément est fonction de la date de semis**.

Ce résultat est conforme à ceux de IBRAHIM Aliou (1994) et ceux de FOX P et al., qui trouvent qu'en aucune étape du stade végétatif, il faut éviter que la plante ressente un stress hydrique. Chaque déficit hydrique provoque une perte de rendement qu'on peut évaluer (IBRAHIM, 1994).

Les résultats du tableau 11 montrent que lorsque la date de semis varie entre le 1^{er} mai et le 1^{er} juillet, l'irrigation de complément est nécessaire aux quatre dernières décades du cycle végétatif. Par contre lorsque les semis ont lieu le 1^{er} mars ou le 1^{er} avril, l'irrigation est nécessaire en début du cycle végétatif.

Pour VAN LAERE (2003), l'effet de l'irrigation d'appoint est maximal lorsqu'elle est pratiquée à un stade critique du développement de la culture (floraison, maturation, etc.). C'est le cas lorsque les semis sont faits entre le 1^{er} mai et le 1^{er} juillet. Au-delà du 1^{er} juillet, le cycle cultural s'achèverait en novembre ou même en décembre. Dans ce cas, il s'agira de l'irrigation pérenne et non celle de complément.

En somme, on trouve que tous les stades sont importants. Tout retard de développement accusé par la plante à un stade donné, va se répercuter sur le rendement final. En conséquence avec l'irrigation de complément, la perte de rendement calculée au paragraphe II.2 peut être évitée.

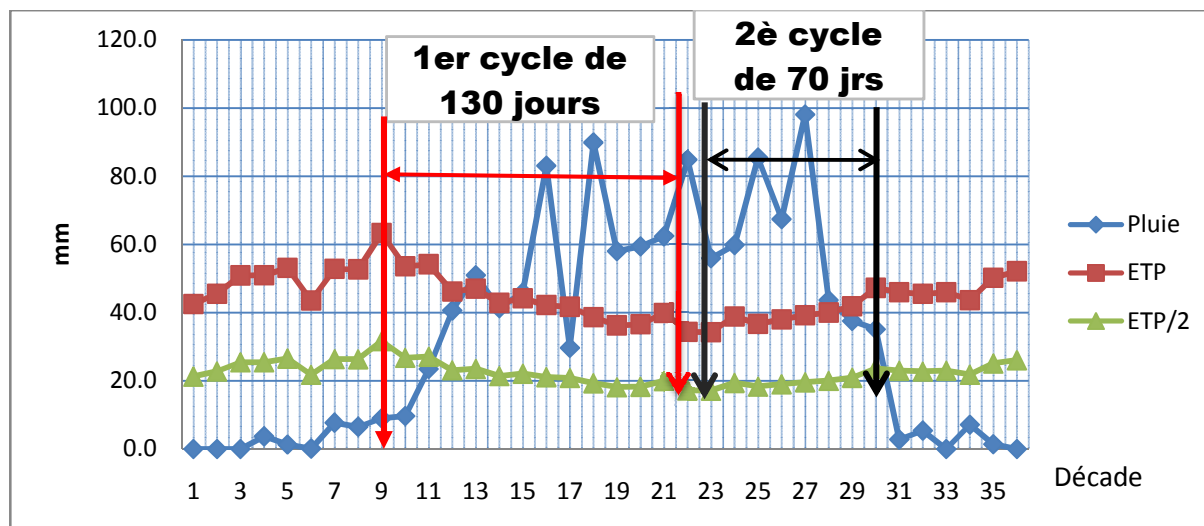
IV.2. Passer d'un à deux cycles de production dans une campagne agricole pour le maïs

L'analyse de la pluviométrie au paragraphe II.4, montre que la variabilité annuelle des pluies perturbe énormément le démarrage de la campagne agricole. Le démarrage du calendrier cultural en mars, avril, mai présente des risques pour les agriculteurs parce qu'ils craignent les séquences sèches.

L'existence d'équipements pour réaliser l'irrigation d'appoint pourrait changer le comportement des agriculteurs. Et ceux-ci pourraient démarrer la campagne dans la première quinzaine de mars. La campagne agricole pourrait se subdiviser de la façon indiquée sur le graphique 6. Il existe également des variétés de maïs de cycles différents pouvant faciliter la faisabilité du résultat. La variété « Pozanika » avec de gros grains très farineux, a un cycle de 120 jours. On rencontre également quelques variétés de l'INRAB. On peut citer la variété « Obatampa » grains farineux qui a un cycle de 90 jours ; la variété DMR a un cycle de 60 jours. On peut citer également la variété hybride jaune (cycle 90 jours) qui est très cultivé dans la zone d'étude.

Grâce à l'irrigation de complément, il est possible de passer d'un à deux cycles de production lorsque des dispositions adéquates sont prises. Par conséquent, chaque cycle fournira sa production (soit $P+P=2P$). L'accroissement correspondant est $\frac{2P-P}{P} * 100 = 100\%$. On montre ainsi que **la production peut doubler et ainsi la productivité se verrait au moins doubler**. Cependant, deux cycles de productions nécessiteraient l'usage d'une main d'œuvre abondante et des matériels agricoles.

Ce résultat est conforme à celui de FOX P. et al (2002) selon lequel la productivité varie de 70 à 300%. Sur financement de la FARM, le CNID-B et l'AMVS ont obtenu des résultats similaires dans le cadre du Projet d'Appui aux Initiatives des Producteurs vivriers et à l'Intensification Responsable (PAIPIR); en conduisant au cours de la campagne agricole 2008-2009, une opération d'irrigation de complément sur le maïs en culture pluviale à la vallée du Sourou (Burkina Faso). Cette opération s'est déroulée sur le périmètre de la Société Coopérative de Di (SOCADI). Le rendement du maïs est passé de 2300 à 3490 Kg/ha. L'irrigation de complément est donc une opération à encourager pour lutter contre les aléas liés au changement climatique.



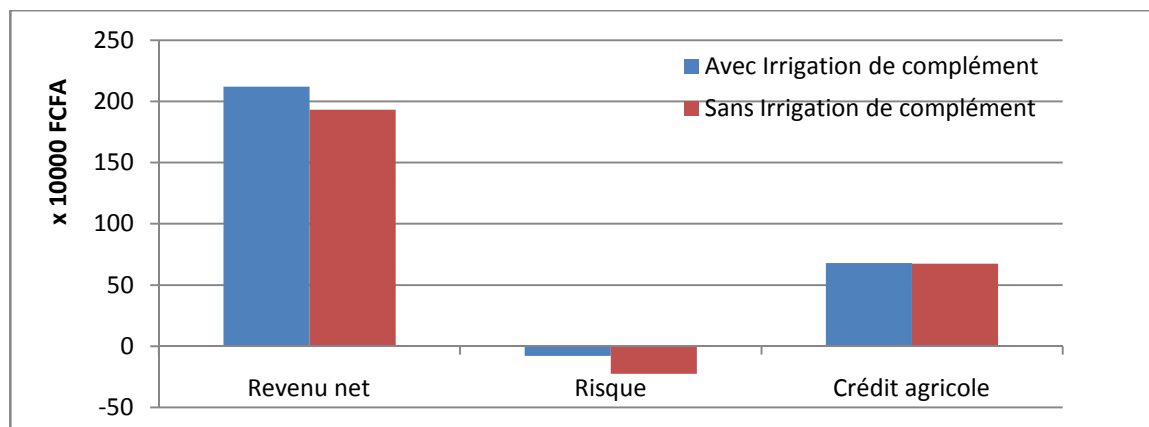
Graphique 7 : Graphe présentant la période de la campagne agricole et deux propositions de cycles de production.

IV.3. Le revenu net s'accroît avec l'irrigation de complément

En simulant le modèle en tenant compte de l'irrigation de complément, on obtient les résultats consignés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Résultats comparatifs du modèle avec ou sans irrigation de complément

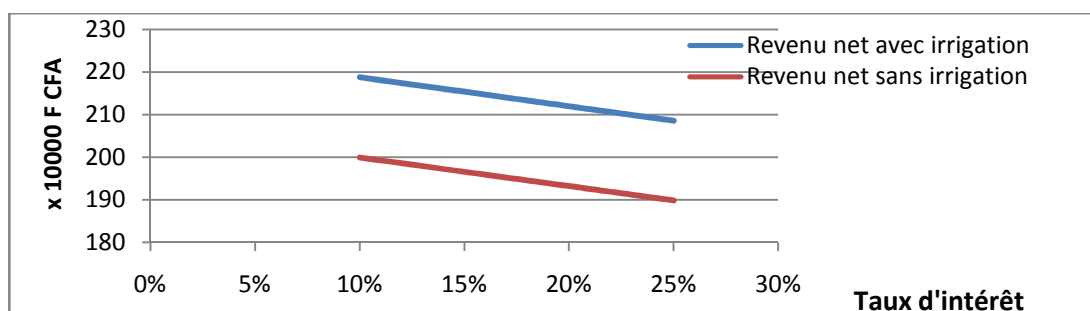
Superficie emblavée	Sans irrigation de complément (ha)	Avec irrigation de complément (ha)
Gombo et piment	0.5	0.5
Coton	3.25	3.28
Igname	3.26	1.9
Sorgho	0.5	0.5
Maïs local	0.5	0.5
Maïs amélioré 1	0	0
Maïs amélioré 2	0	1.3
Soja	0.5	0.5
Crédit agricole (Fcfa)	675 320	679 440
Revenu net (Fcfa)	1 932 220	2 119 800
Revenu minimal (Fcfa)	-225 200	-79 340
Superficie Totale emblavée	8.51	8.50



Graphique 8 : Résultats comparatifs de l'exploitant avec ou sans irrigation de complément

Les données du tableau 9 permettent de faire des analyses suivantes :

- L'application de l'irrigation de complément et l'effet combiné de la rotation, améliore le revenu net de 1 932 220 à 2 119 800 F CFA soit un accroissement de 9.7% avec la même superficie emblavée.
- Le risque c'est-à-dire le revenu net en année défavorable est faible lorsque l'exploitant applique l'irrigation de complément. En conséquence, on peut dire que l'irrigation de complément sécurise le revenu de l'agriculteur en atténuant sa perte dans les années sèches.
- Le crédit agricole joue également un rôle important dans l'activité agricole. Il permet à l'exploitant de prendre plus de risque. Le crédit agricole sera plus productif si le taux d'intérêt était plus faible (graphique 8).



Graphique 9 : Evolution du revenu net en fonction du taux d'intérêt.

En somme, l'irrigation d'appoint favorise un accroissement du revenu net. Ce résultat est conforme à celui trouvé par VAN LAERE (2003) relatif à la sécurisation de la culture pluviale. Ce revenu net varie en sens inverse du taux d'intérêt. On en déduit que, plus le taux d'intérêt diminue, plus le revenu du producteur augmente. L'augmentation des revenus nets de plusieurs producteurs peut conduire à l'éradication de la faim dans le Borgou.

Irrigation de complément dans le Nord Bénin : cas du département du Borgou

Tableau 11 : Calcul des besoins en eau d'irrigation en fonction de la date de plantation

Phase	Date de plantation: 1 mars			Date de plantation: 1 avril			Date de plantation: 1 mai			Date de plantation: 1 juin			Date de plantation: 1 juillet		
	Décade	Kc	Bes. Irr mm/dec	Décade	Kc	Bes. Irr mm/dec	Décade	Kc	Bes. Irr mm/dec	Décade	Kc	Bes. Irr mm/dec	Décade	Kc	Bes. Irr mm/dec
Init	Mar	0.3	16.3	Avr	0.3	4.5	Mai	0.3	0	Jui	0.3	0	Jui	0.3	0
Init	Mar	0.3	16	Avr	0.3	0	Mai	0.3	0	Jui	0.3	0	Jui	0.3	0
Crois	Mar	0.45	23.9	Avr	0.44	0.8	Mai	0.44	0	Jui	0.43	0	Jui	0.45	0
Crois	Avr	0.73	32	Mai	0.68	7.2	Jui	0.7	0	Jui	0.67	0	Aoû	0.7	0
Crois	Avr	0.98	42.1	Mai	0.93	12.6	Jui	0.94	0	Jui	0.91	0	Aoû	0.94	0
Mi-sais	Avr	1.19	45.4	Mai	1.14	20.3	Jui	1.13	0	Jui	1.12	0	Aoû	1.14	0
Mi-sais	Mai	1.2	36.6	Jui	1.16	4.2	Jui	1.14	0	Aoû	1.14	0	Sep	1.15	0
Mi-sais	Mai	1.2	27.2	Jui	1.16	0	Jui	1.14	0	Aoû	1.14	0	Sep	1.15	0
Mi-sais	Mai	1.2	23.8	Jui	1.16	0	Jui	1.14	0	Aoû	1.14	0	Sep	1.15	0
Arr-sais	Jui	1.12	2.4	Jui	1.1	0	Aoû	1.07	0	Sep	1.07	0	Oct	1.08	2.5
Arr-sais	Jui	0.85	0	Jui	0.85	0	Aoû	0.81	0	Sep	0.81	0	Oct	0.82	5.9
Arr-sais	Jui	0.56	0	Jui	0.57	0	Aoû	0.54	0	Sep	0.55	0	Oct	0.54	6.6
Arr-sais	Jui	0.38	0	Aoû	0.38	0	Sep	0.36	2.6	Oct	0.38	0	Nov	0.36	3.5
	Besoin Total d'irrigation (mm)		265.7	Besoin Total d'irrigation (mm)		49.6	Besoin Total d'irrigation (mm)		2.6	Besoin Total d'irrigation (mm)		0	Besoin Total d'irrigation (mm)		18.5

V. CONCLUSION

La présente étude ayant traitée des intérêts de l'irrigation de complément dans le département du Borgou (Nord Bénin), a pu démontrer que :

- L'application de la culture irriguée dispose d'atouts importants pour sa réussite ;
- cette technique d'irrigation permet de doubler la production des exploitants.

Il ressort également qu'avec une irrigation de complément appliquée à des périodes bien adaptées, on éviterait une perte en taux de rendement moyen de 35%. Ce qui augmente les rendements au niveau des céréales.

L'irrigation d'appoint permettrait de passer d'un à deux cycles de production dans une campagne agricole. Les magasins de stockage adaptés (magasin de warrantage du PA3D par exemple) sont un atout pour la réussite de telle opération. Il ressort également que le crédit agricole est un facteur important de réussite pour l'exploitant.

En somme, l'irrigation de complément appliquée à une bonne période peut permettre de stabiliser les rendements et contribuer à l'atteinte des OMD. Son couplage à l'usage de produits phytosanitaires adéquats est une garantie de sécurisation des récoltes. Cette sécurisation des récoltes peut inciter les acteurs du secteur privé à s'investir à l'entrepreneuriat agricole.

Les équipements d'irrigation étant chers, l'implication des partenaires financiers nécessiterait des préalables tels que la sécurisation des terres agricoles ou la délivrance des titres fonciers ruraux. Ces derniers relèvent de la volonté des autorités politico-administratives. Elles pourraient créer le cadre juridique pour faciliter la mise en place d'équipements d'irrigation, mais aussi créer des conditions d'accès au crédit agricole. Ainsi, on aurait abouti à un moyen efficace constituant un rempart face aux aléas climatiques.

VI. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

VI.1. Recommandations

Pour sortir l'agriculture du Borgou de son assujettissement aux changements climatiques et sécuriser la culture pluviale, nous recommandons de:

- Promouvoir les équipements adaptés aux agriculteurs pauvres et permettant l'irrigation de complément tels que : les bassins (citernes) de récupération des eaux de ruissellement, des forages agricoles. Ces équipements permettront aux exploitants agricoles de cultiver dans un climat plus sécurisé.

- Multiplier les fournisseurs d'intrants agricoles afin d'éviter la situation de monopole existant en ce moment. Dans le même ordre, il sera important faire la promotion de la fumure organique. L'irrigation de complément couplée à une intensification appropriée pourra accroître les revenus et le bien-être des paysans.

- Mettre en place des politiques rendant l'agriculture plus rentables pour les producteurs. Il s'agit notamment du crédit agricole à taux d'intérêt modéré. Les subventions pourraient également aider à l'acquisition des intrants agricoles. La mécanisation de l'agriculture avec les matériels adaptés et de maintenance facile est un atout pour ces politiques. Les machines permettant l'épandage de la fumure organique, des tracteurs de labours, les moissonneuses et des semoirs pourraient convenir également à la zone d'étude.

- Commanditer des recherches complémentaires relatives à l'irrigation de complément. Cette dernière est une nouvelle technologie pour les producteurs de la zone d'étude. Pour pouvoir la mettre entre leurs mains, aucun effort ne doit être négligé ni au niveau des recherches complémentaires ni au niveau des actions de développement.

- Rendre disponibles les informations agro climatiques, techniques et socio-économiques en alimentant les banques de données agricoles régionales et communales.

- Encourager les technologies locales en impliquant les agriculteurs à la recherche des solutions qui se posent à eux. Les techniques traditionnelles de collectes d'eau pour

l'irrigation de complément existent de part le monde (Agrawal et Narain, 1997; Zhu et Li, 2000 cités par Fox P et al, (2002)). Ces techniques locales de stockage d'eau pour l'irrigation de complément existent et ont donné des résultats satisfaisants (Liu et al. 2005).

VI.2. Perspectives

L'avenir de l'agriculture dans le Borgou pourrait passer par la promotion des techniques appropriées et durables d'arrosage pour différentes conditions pédo-climatiques et socio-économiques adaptées à l'irrigation de complément. Cette dernière étant une nouvelle technique qui peut permettre de faire des agriculteurs de véritables entrepreneurs. Ces futurs entrepreneurs pourraient également s'investir plus si la production pluviale est sécurisée.

Pour arriver à cette révolution verte, les contraintes de production en irrigation de complément doivent être identifiées, des solutions proposées en temps réel et les capacités d'adaptation des producteurs améliorées.

Quels équipements d'irrigation faut-il mettre en place pour atteindre les objectifs de l'irrigation d'appoint ? Les équipements à réaliser doivent être d'utilisation facile, d'une technologie locale pour permettre aux producteurs de s'en occuper. Ils doivent être réalisables à faibles coûts. Les techniques pour apporter l'eau d'irrigation de complément sont nombreuses de part le monde mais les propositions du tableau n°12 pourrait convenir à la zone d'étude.

Tableau 12 : Quelques sources d’approvisionnement d’eau d’irrigation de complément

Option	Avantages	Inconvénients
Bassin de récupération des eaux de ruissellement	<ul style="list-style-type: none">- Faible coût de réalisation,- Gestion personnelle par l’exploitant ;- Aucune utilisation d’énergie électrique,- Adéquat pour le maraîchage.	<ul style="list-style-type: none">○ Faible volume d’eau,○ Nécessité d’utiliser des matériels d’arrosage,○ Risque de prolifération des moustiques,○ Valable pour des superficies faibles de l’ordre de 0.5 ha.
Forage agricole	<ul style="list-style-type: none">- Ouvrage connu par les exploitants,- Maintenance locale existant- Volume d’eau permanent et important,- Adéquat pour superficies voisines de 2 ha.	<ul style="list-style-type: none">○ Ouvrage à usage collectif ;○ Gestion des tours d’eau,○ Nécessité de créer des caisses pour la maintenance.
Pivot enrouleur	<ul style="list-style-type: none">- Technique moderne,- Couverture de grande superficie de l’ordre de 100 ha,- Possibilité de créer des coopératives agricoles	<ul style="list-style-type: none">○ Nécessité de disposer de l’énergie électrique,○ Maintenance qualifiée nécessaire,○ Nécessité d’abattre de gros arbres

VII. BIBLIOGRAPHIE

1. Baumann, M., Diekmann, D. M., Kasten, & Wolfgang, D. (2010). Un nouvel élan pour la recherche agricole pour le développement. Rural 21 , 4-5.
2. CeRPA Borgou/Alibori, (2010). Rapport de la campagne agricole 2009. Parakou, Bénin.
3. Comité National des Irrigations et du Drainage, B. (2009). Irrigation de complément sur maïs en culture pluviale au Burkina Faso. Ouagadougou: Comité National des Irrigations et du Drainage du Burkina.
4. Compaore, L. (2005). Les données de bases de l'irrigation. Cours pour la formation initiale EIER . Ouagadougou, Burkina Faso: EIER.
5. Conférence de haut Niveau (2008). L'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique: les défis du changement climatique. Syrte.
6. Falkenmark, M., & Rockström, J. (2004). Balancing water for humans and nature: the new approach in ecohydrology. London, UK: Earthscan Publications Ltd.
7. Floquet, A., & Barbier, B. (2011). Etude de la sédentarisation de l'igname. Cotonou.
8. Hamma, Y. (2010). Cours de climatologie. Ouagadougou, Burkina Faso: 2iE.
9. Ibrahim, A. (1994, juillet). Le climat et les besoins en eau des plantes. Cour de Formation Initiale . Ouagadougou, Burkina Faso: EIER.
10. ISSAKA, K. (2002). Innovations in agricultural technology: assessment of constraints and performance in Benin. Stuttgart: F. u. T. Müllerbader GmbH.
11. Karambiri, H. (2005). Initiation à la modelisation hydrologique. Cours de Formation Initiale EIER-ETSHER . Ouagadougou Burkina Faso: Groupe EIER-ETSHER.
12. Mermoud, A. (2010). Cours de Physique du sol. Ouagadougou, Kadiogo, Burkina Faso: 2iE.
13. Rockström, J., Barron, J., & Fox, P. (2002). Rainwater management for increased productivity among small-holder farmers in drought prone environments. Physics and Chemistry of the Earth , 949-959.
14. SANOU, E. (1999). Perspectives de développement de l'irrigation de complément dans le Sud-Ouest du Burkina: choix technologiques et économiques. Ouagadougou: EIER.
15. Van Laere, P.-E. (2003). Mémento de l'irrigation. Bruxelles - Belgique: Ingénieurs Assistance Internationale - Ingénieurs sans Frontières 2003.

VIII. ANNEXES

- **Annexe 1** : Tableau des principales spéculations des départements Borgou-Alibori
- **Annexe 2** : Tableau des pluies moyennes décadaires et ETP de Parakou
- **Annexe 3** : Carte des régimes hydrographiques du Bénin
- **Annexe 4** :
 - Calcul des volumes d'eau ruisselé en saison pluvieuse normale a1 et en saison pluvieuse sèche a2 ;
 - Données générales sur le maïs ;
 - Données générales sur le sol.
- **Annexe 5** : Le modèle.

Irrigation de complément dans le Nord Bénin : cas du département du Borgou

- **Annexe 1** : Tableau des principales spéculations des départements Borgou-Alibori

SPECULATIONS	2005-2006		2006-2007		2007-2008		2008-2009		2009-2010	
	Sup. embl (ha)	Prod. (Kg)	Sup. embl (ha)	Prod. (Kg)	Sup. embl (ha)	Prod. (Kg)	Sup. embl (ha)	Prod. (Kg)	Sup. embl (ha)	Prod. (Kg)
COTON	42 651	21 697	42 523	39 932	33 145	28 183	20 642	18 990	12 230	11 393
CULTURE INDUSTRIELLE	42 651	21 697	42 523	39 932	33 145	28 183	20 642	18 990	12 230	11 393
MAÏS LOCAL	107 124	119 125	67 818	115 231	89 276	102 676	98 806	110 727	101 127	125 538
MAÏS AMELIORE	28 042	35 566	16 169	26 920	11 385	15 578	15 156	27 938	31 464	51 139
Total Maïs	135 166	154 691	83 987	142 151	100 661	118 254	113 962	138 665	132 591	176 678
SORGHO	50 881	45 014	34 161	32 833	51 835	49 552	35 083	31 010	20 749	20 516
MIL	1 276	340	588	346	658	559	1 087	861	1 395	1 183
RIZ	5 207	7 938	1 884	15 265	2 298	4 328	3 058	6 699	1 751	3 873
TOTAL CEREALES	192 529	207 982		190 595		172 693	153 190	177 235	156 486	202 249
MANIOC	58 026	299 200	23 114	214 532	26 534	284 119	23 252	279 054	10 920	125 697
IGNAME	190 916	940 618	58 970	686 199	72 507	927 604	65 375	965 264	57 397	836 804
TOT. RACINE & TUBERCULE	248 942	1 239 818	82 084	900 731	99 040	1 211 723	32 785	511 657	68 317	962 501
NIEBE LOCAL	10 639	20 776	16 737	14 076	18 031	14 254	9 548	6 993	6 337	5 578
NIEBE AMELIORE	3 206	2 016	2 099	2 283	1 602	1 161	1 093	1 175	1 181	1 337
TOTAL NIEBE	13 845	22 792	18 836	16 360	19 633	15 415	10 641	8 167	7 518	6 915
ARACHIDE LOCALE	7 860	7 236	11 864	8 133	8 421	7 868	10 842	9 941	9 943	9 725
ARACHIDE AMELIOREE	4 255	2 823	2 018	1 982	1 218	1 787	895	978	1 549	1 867
TOTAL ARACHIDE	12 115	10 059	13 882	10 115	9 638	9 655	11 737	10 920	11 492	11 592
VOANDZOU	1 831	583	1 021	939	978	671	1 203	816	261	191
SOJA	10 546	7 784	3 267	2 738	3 977	3 536	10 635	10 802	19 611	18 728
TOTAL LEGUMINEUSES	38 337	41 218	37 006	30 152	34 225	29 276	34 216	30 705	38 881	37 426
GOMBO	9 459	13 954	2 585	7 469	1 856	6 406	2 333	6 965	1 194	3 563
PIMENT	7 471	9 855	1 972	3 305	2 005	11 223	2 700	8 009	1 446	3 768
TOMATE	7 973	6 468	1 567	7 229	3 140	2 427	2 686	10 513	2 232	7 933
TOTAL MARAÎCHERS	24 903	30 276	6 124	18 003	7 001	20 056	7 719	25 487	4 872	15 264

Source : CeRPA Borgou-Alibori

Irrigation de complément dans le Nord Bénin : cas du département du Borgou

- **Annexe 2** : Tableau des pluies moyennes décadaires et ETP de Parakou

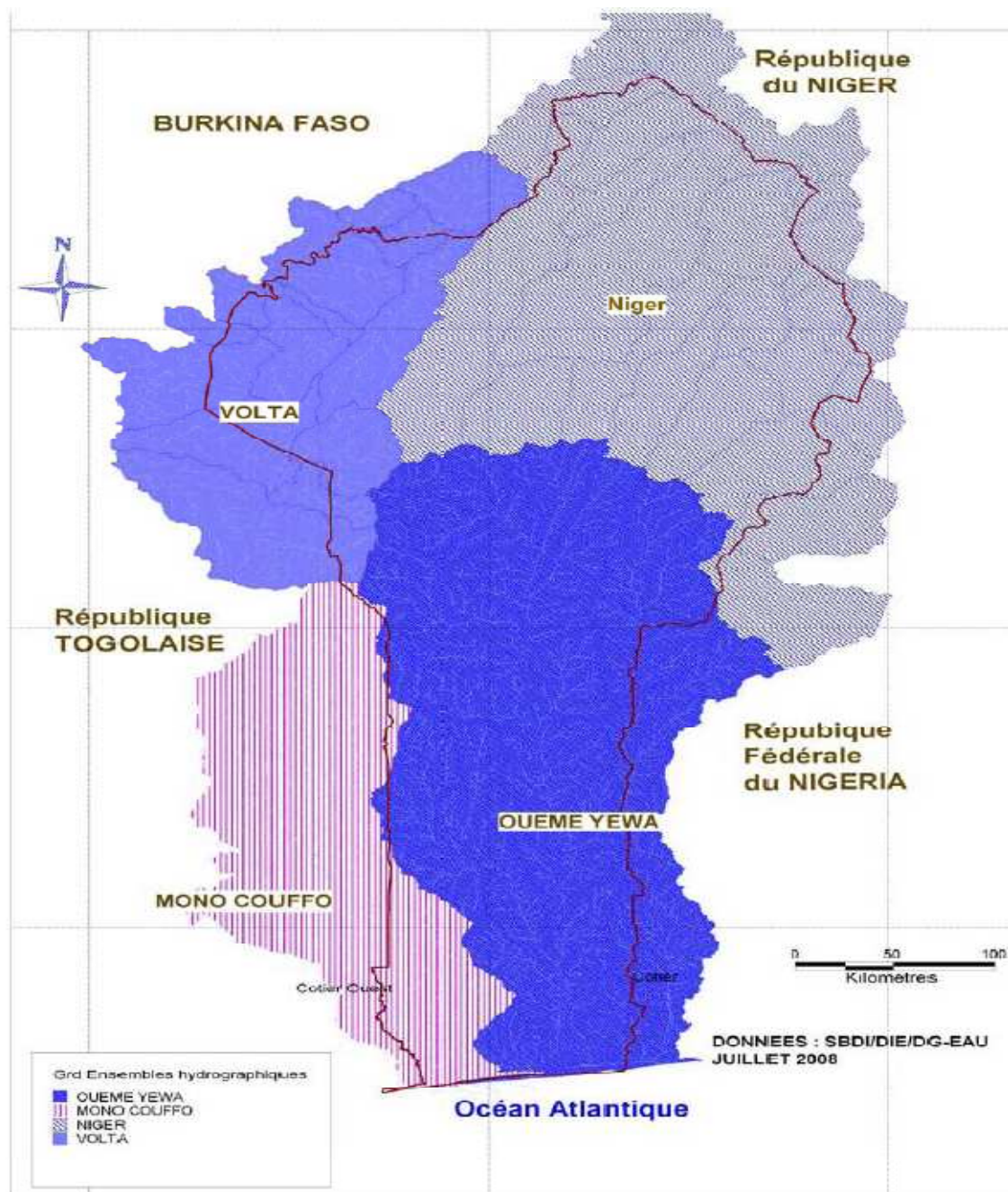
Mois	Année	2006		2007		2008		2009		2010	
		Pluie (mm)	ETP (mm)	Pluie (mm)	ETP (mm)	Pluie (mm)	ETP (mm)	Pluie (mm)	ETP (mm)	Pluie (mm)	ETP (mm)
Janvier	1er décade	0	39	0	39.4	0	49.1	0		0	
	2ème décade	0	39.4	0	42.4	0	54.7	0		0	
	3ème décade	0	47.3	0	47.2	0	58.1	0		0	
Février	1er décade	0	46.4	18.5	48.2	0	58.2	0		0	
	2ème décade	6.5	48	0	46.5	0	64.7	0		0	
	3ème décade	0.2	38.7	0	38	0	53.9	0		0.4	
Mars	1er décade	36.6	48.7	0	49.4	0	60.3	0		2	
	2ème décade	9.4	44.9	0	52.2	9.9	60.9	6		7.2	
	3ème décade	9	58.3	1.1	63.7	10.6	67.9	24.4		0	
Avril	1er décade	0	55.2	22.9	49.3	24.6	56.1	0.3		0.5	
	2ème décade	30.4	53.3	27.2	49.3	1.9	59.9	13.8		44.1	
	3ème décade	21	43.7	60.9	46.9	35.6	47.9	0.1		85.5	
Mai	1er décade	21	43.8	87.1	47.4	2.1	49.8	61.5		83	
	2ème décade	0	47.1	75.6	40.7	100.1	40.6	21.5		9.5	
	3ème décade	27.2	52.1	50.4	47.1	89.5	33.3	11.5		50.8	
Juin	1er décade	36.1	42.3	58.8	39.8	105.9	44.4	40.5		174.2	
	2ème décade	52.9	36.2	21.7	44.1	11.5	44.7	44.1		18.1	
	3ème décade	4.8	35.3	88.9	43.4	177.9	37.2	90.1		87.8	
Juillet	1er décade	59.7	31.3	7.5	39.9	74.9	37.5	64.8		83.3	
	2ème décade	147.7	38.9	16.6	36.9	62.8	33.8	60		10	
	3ème décade	32.5	37.2	41	39.2	100.1	43.2	81.9		56.3	
Août	1er décade	92.2	33.5	54.7	34.1	87	35.3	131.6		58.8	
	2ème décade	22.6	30.6	112.8	35.7	19.6	36.4	61.2		63.6	
	3ème décade	18.2	35.9	55.8	42.1	51.4	38.4	59.2		114.6	
Septembre	1er décade	38.7	35.8	116.3	38.3	104.3	35.8	46.9		121.1	
	2ème décade	17.8	39.9	96.1	39.4	61.5	34.7	108.1		53.7	
	3ème décade	64.1	36.3	68.3	43	138.5	38.3	96.9		122.7	
Octobre	1er décade	91.4	37.8	46.2	40.5	31.4	41.7	27.1		22	

Irrigation de complément dans le Nord Bénin : cas du département du Borgou

	2ème décade	8.2	39.3	46.2	43.2	59.1	43	33.8		40.5	
	3ème décade	0	45.9	20.1	43.2	0	52.6	154.4		1	
Novembre	1er décade	0	42	0	44.6	0	51.3	0		13.9	
	2ème décade	0	41	2.1	43.2	0	52.2	24.8		0	
	3ème décade	0	41	0	46.8	0	50.1	0		0	
Décembre	1er décade	0	41.4	5.4	44.6	30.2	44.9	0		0	
	2ème décade	0	42.7	0	50.5	0	57.4	7		0	
	3ème décade	0	45.4	0	52.5	0	58.4	0		0	

Source : Station météorologique de l'ASECNA (Parakou)

Annexe 3: Carte des régimes hydrographiques du Bénin



Source : PA3D Parakou

Irrigation de complément dans le Nord Bénin : cas du département du Borgou

Annexe 4 : Calcul des volumes d'eau ruisselé en saison pluvieuse normale a1 et en saison pluvieuse sèche a2

Période	Mois	Pluie en a1(mm)	Pe _{eff} =0.8 Pluie (mm)	Ruissellement (mm)	Ruissellement en a1 en m3/ha	Pluie en a2(mm)	Pe _{eff} =0.8 Pluie (mm)	Ruissellement (mm)	Ruissellement a2 en m3/ha
p1	jan	0	0	0	56.6	3.8	3.04	0.76	102.2
	fév	5.1	4.08	1.02		9.1	7.28	1.82	
	mar	23.2	18.56	4.64		38.2	30.56	7.64	
p2	avr	73.8	59.04	14.76	829.4	79.7	63.76	15.94	690.2
	mai	138.2	110.56	27.64		117.1	93.68	23.42	
	juin	202.7	162.16	40.54		148.3	118.64	29.66	
p3	juillet	179.8	143.84	35.96	1263	161.1	128.88	32.22	1013.6
	août	200.7	160.56	40.14		173.9	139.12	34.78	
	septembre	251	200.8	50.2		171.8	137.44	34.36	
p4	octobre	116.3	93.04	23.26	266	84.5	67.6	16.9	194.8
	novembre	8.2	6.56	1.64		6.3	5.04	1.26	
	décembre	8.5	6.8	1.7		6.6	5.28	1.32	
Total		1207.5	966	241.5	2415	1000.4	781.9	200.08	2000.8

Source des données de pluies en a1 : Moyenne des pluies décadaires obtenues à la station météorologique de l'ASECNA Parakou.

Source des données de pluies en a2 : Moyenne des pluies mensuelles obtenues CeRPA Borgou Alibori (Parakou)

Caractéristiques du maïs	Initiale	Croissance	Mi-saison	Arrière-saison	Total
Durée cycle (jrs)	20	35	40	30	125
Kc	0.3	1.2	0.35	0.35	
Profondeur d'enracinement (m)	0.3	1	1	1	
Épuisement maxi	0.55	0.55	0.8		
Réponse de rendement	0.4	0.4	1.3	0.5	1.25
Hauteur de la plante (m)				2	

Données générales sur le sol:

Type de sol retenu: Medium (Loam)
 Eau disponible totale (CC - PF) = 290.0 mm/m
 Taux d'infiltration maximum de l'eau = 40mm/j
 Profondeur maximum d'enracinement = 900 cm
 Épuisement de la teneur en eau initiale = 0 %
 Eau disponible initiale = 290.0 mm/m

Annexe 5 : Copie du modèle

\$ontext

Modèle d'une ferme de 10 ha à Parakou en république du Bénin

9 spéculations; 5 types de sols.

\$offtext

SET c **cultures** /sor, mais, mai1, mai2, igna, soja, pim, gom, coton/

ci(c) cultures irriguées /mai1, mai2/

cp(c) cultures autoconsommées

/sor, mais, igna, soja, pim, gom/

s/s1 bas fonds,

s2 sols sablo-limoneux,

s3 sols ferrugineux,

s4 jachères traditionnelles

s5 jachères améliorées /

p periode /p1, p2, p3, p4 /

a type de saisons /a1 saison pluvieuse normale, a2 saison pluvieuse sèche /

b type de bassin /b1, b2 /;

PARAMETER pr(a) probabilité d'occurrence des saisons

/a1 0.8, a2 0.2 /

TABLE ass(c,p) assolement des cultures

	p1	p2	p3	p4
coton	0	1	1	1
mais	0	1	1	0
mai1	0	1	1	0
mai2	0	1	1	0
sor	0	1	1	0
igna	1	1	1	1
pim		1	1	
gom		1	1	
soja	0	1	1	

PARAMETER px(c) prix par kilo de cultures

/coton 210, mais 150, mai1 150, mai2 150, sor 120, igna 200, pim 180, gom 180, soja 270/;

PARAMETER bc(c) charges en FCFA par hectare

/coton 100000, mais 60000, mai1 50000, mai2 50000, sor 60000, igna 90000,
pim 30000, gom 50000, soja 40000/;

TABLE w(c,p) jours de travail par hectare et par période de culture

	p1	p2	p3	p4
coton	15	20	30	35
mais	10	10	22	
mai1	10	10	22	
mai2		10	10	22
sor		10	10	22
igna	20	5	5	10
pim			40	60
gom			40	60
soja		20	25	12

parameter cons(c) kilogramme par personne

/sor 40, mais 140, igna 30/

TABLE bo(c,p,a) besoin en eau en m3

	p1.a1	p2.a1	p3.a1	p4.a1	p1.a2	p2.a2	p3.a2	p4.a2
mai1	562	2095	26	30	552	2085	16	20
mai2	562	2095	26	30	552	2085	16	20

TABLE rdmt(c,s,a) rendements en kg par hectare de culture

	a1	a2
coton.s3	1000	510
mais.s3	1200	800
mai1.s3	3900	3500
mai2.s3	3900	3500
sor.s2	1200	950
sor.s3	1150	800
igna.s2	5000	2000
igna.s3	4000	2500
pim.s1	2000	1000
gom.s1	3000	1500
soja.s4	1000	850

DISPLAY rdmt

PARAMETER rdmt rendements et cc;

$rdmt(c,s,a) = rdmt(c,s,a) * 1;$

PARAMETER mb(c,s,a) marge brute par hectare;

$mb(c,s,a) = px(c) * (rdmt(c,s,a)) - bc(c);$

DISPLAY mb;

PARAMETER terres(s) surfaces de l'exploitation

/s1 0.5, s2 0.5, s3 7, s4 1, s5 1/;

PARAMETER j_dispo(p) jours disponibles dans les périodes de pointe

/p1 80, p2 80, p3 80, p4 80/

PARAMETER imp(c) impact du déficit hydrique des cultures

/coton 0, mais 0, mai1 2, mai2 2, sor 0, igna 0, pim 0, gom 0/

PARAMETER mxbas(b) volume par type de bassins en m3

/b1 100, b2 500/

PARAMETER coub(b) cout bassin en FCFA

/b1 2000, b2 5000/

PARAMETER annu(b) année pour l'amortissement du bassin

/b1 5, b2 10/

PARAMETER cout(b) cout par m3 par an;

$cout(b) = coub(b)/annu(b);$

TABLE ruis1(b,p,a) ruissellement dans bassin en m3

	p1.a1	p2.a1	p3.a1	p4.a1	p1.a2	p2.a2	p3.a2	p4.a2
b1	57	829	1263	266	10.2	690	102	195
b2	57	829	1263	266	10.2	690	102	195

SCALAR pop population /10/

SCALAR mod coût /5000/

VARIABLES

REVENU variable objectif

RMIN revenu minimum;

POSITIVE VARIABLES

X cultures en ha

PDT production des cultures
 AUTO autoconsommation
 CRED crédit agricole
 EAU volume d'eau en m3
 BAS bassin de 100 m3
 DEFH déficit hydrique
 RUIS ruissellement dans le bassin;

EQUATIONS

lrev fonction objectif
 lterre terre
 lprod production végétale
 ltravail travail
 lconso contrainte de consommation
 lcap contraintes de liquidité en début de campagne
 leau contrainte en eau
 lba1 contrainte eau dans bassin
 lba2 contrainte eau dans bassin
 lba3 contrainte eau dans bassin
 lrui contrainte de ruissellement
 lcred contrainte credit agricole
 lrot contrainte coton
 lrot2 contrainte rotation igname sorgho
 lris risque ;

lrev.. $\sum((c,s,a), pr(a) * PDT(c,s,a) * px(c) - bc(c) * X(c,s) - 1.3 * px(c) * AUTO(c,a) - (0.2 * CRED)) = E = \text{revenu};$

lterre(s,p).. $\sum(c, ass(c,p) * X(c,s)) = L = \text{terres}(s);$

lprod(c,s,a).. $PDT(c,s,a) = E = rdmt(c,s,a) * X(c,s) - imp(c) * DEFH(c,a) \$ci(c);$

ltravail(p).. $\sum((c,s), w(c,p) * X(c,s)) = L = pop/2 * j_dispo(p) ;$

lconso(cp,a).. $\sum(s, PDT(cp,s,a)) + AUTO(cp,a) = G = cons(cp) * pop;$

lcap.. $\sum((c,s), bc(c) * X(c,s)) = L = mod * pop + CRED;$

lcred.. $\sum(s, X('coton',s) * 180000) = G = CRED ;$

leau(c,p,a,s).. $bo(c,p,a) * X(c,s) = L = EAU(c,p,a) + DEFH(c,a) \$ci(c);$

lba1(p,a).. $\sum(c, EAU(c,p,a)) = L = \sum(b, BAS(b));$

lba2(b).. $BAS(b) = L = mxbas(b) ;$

lrui(b,p,a).. $RUIS(b,p,a) = L = ruis1(b,p,a) ;$

lba3(b,p,a).. $\sum(c, EAU(c,p-1,a)) + RUIS(b,p,a) - \sum((c,s), bo(c,p,a) * X(c,s)) = G = \sum(c, EAU(c,p,a)) ;$

lris.. $\sum((c,s), rdmt(c,s,'a2') * px(c) * X(c,s) - bc(c)) = E = RMIN;$

lrot(s).. $X('coton',s) = L = .5 * \sum(c, X(c,s));$

lrot2(s).. $X('igna',s) = L = \sum(c, X('sor',s));$

MODEL parakou /all/
SOLVE parakou using nlp maximizing revenu;