

Évaluation des performances techniques de l'irrigation au Burkina Faso

Donkora KAMBOU



COMMUNAUTÉ FRANCAISE DE BELGIQUE
UNIVERSITÉ DE LIÈGE - GEMBLoux AGRO - BIO TECH

**Évaluation des performances techniques de l'irrigation au Burkina
Faso**

Donkora KAMBOU

Essai présenté en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences
agronomiques et ingénierie biologique

Promoteur : Prof. Aurore DEGRÉ

2019

COPYRIGHT

Cette œuvre est sous licence Creative Commons. Vous êtes libre de reproduire, de modifier, de distribuer et de communiquer cette création au public selon les conditions suivantes :

- paternité (BY) : vous devez citer le nom de l'auteur original de la manière indiquée par l'auteur de l'œuvre ou le titulaire des droits qui vous confère cette autorisation (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous soutiennent ou approuvent votre utilisation de l'œuvre);
- pas d'utilisation commerciale (NC) : vous n'avez pas le droit d'utiliser cette création à des fins commerciales ;
- partage des conditions initiales à l'identique (SA) : si vous modifiez, transformez ou adaptez cette création, vous n'avez le droit de distribuer la création qui en résulte que sous un contrat identique à celui-ci. À chaque réutilisation ou distribution de cette création, vous devez faire apparaître clairement au public les conditions contractuelles de sa mise à disposition. Chacune de ces conditions peut être levée si vous obtenez l'autorisation du titulaire des droits sur cette œuvre. Rien dans ce contrat ne diminue ou ne restreint le droit moral de l'auteur.

CC KAMBOU Donkora 22/10/19

**Donkora KAMBOU (2019) EVALUATION OF TECHNICAL
PERFORMANCE OF IRRIGATION IN BURKINA FASO (PhD thesis).
Gembloux, Belgium,
University of Liège – Gembloux Agro-Bio Tech**

RÉSUMÉ

Au Burkina Faso, face à la persistance des aléas climatiques qui compromettent la production agricole essentiellement pluviale, le développement de l'irrigation est apparu comme une alternative porteuse pour sécuriser, intensifier et accroître durablement la production agricole.

Cependant, l'une des principales contraintes au développement de l'irrigation est la disponibilité en eau, la rareté ou le manque d'eau dans les zones irriguées.

La présente recherche a contribué à la réflexion sur la problématique de l'eau sur les périmètres irrigués au Burkina Faso à travers l'évaluation des indicateurs de performances techniques, l'analyse de la gestion de l'irrigation et l'efficacité organisationnelle des irrigants, tout en examinant préalablement le contexte général du développement de l'irrigation.

L'étude montre qu'il tombe globalement des quantités d'eau relativement importantes au Burkina Faso. Cependant, la répartition de cette eau dans le temps et dans l'espace est très aléatoire et ne permet pas de garantir une bonne campagne agricole de saison humide. La mise en œuvre de techniques de collecte des eaux de ruissellement et la pratique de l'irrigation d'appoint permettraient de sécuriser davantage la production agricole de saison humide. Ce contexte pluviométrique aléatoire justifie le choix des producteurs et des politiques de développer l'agriculture irriguée.

L'irrigation au Burkina Faso est essentiellement gravitaire et est faiblement développée, avec 33 % de superficies aménagées sur un potentiel irrigable de 233500 ha.

Des efforts sont consentis dans la réalisation des ouvrages pour l'irrigation. Cependant, le pilotage de l'irrigation est peu maîtrisé et les producteurs peu organisés pour assurer la bonne gestion de l'eau et l'entretien des ouvrages hydrauliques.

Par ailleurs, si l'eau utilisée pour l'irrigation ne présente aucun risque pour les cultures et le sol pour l'instant, une mauvaise gestion des engrais et des pesticides a été mise en exergue, ce qui pourrait avoir des conséquences négatives sur l'environnement à plus ou moins long terme.

Afin d'évaluer les performances techniques des périmètres irrigués, une synthèse bibliographique a permis de passer en revue et d'éclaircir davantage les concepts d'efficacité et de productivité de l'eau selon leurs domaines d'application ainsi que les systèmes d'irrigation et les outils à mettre à contribution dans le pilotage efficient de l'irrigation.

Les résultats de l'évaluation des performances techniques des périmètres irrigués de Savili et de Mogtédou, montrent que l'efficacité d'application de l'eau est inférieure à 20 % à Savili et comprise entre 41 et 55 % à Mogtédou.

La productivité de l'eau varie de 1,12 à 3,4 kg m⁻³ pour *Allium Cepa* (oignon) à Mogtédó et à Savili, 0,31 kg m⁻³ pour *Zea mays* (maïs) à Mogtédó et 0,34 kg m⁻³ pour *Phaseolus vulgaris* (haricot vert) à Savili.

La modélisation des calendriers théoriques et réels d'irrigation montre que par rapport au calendrier théorique d'irrigation, le calendrier réel d'irrigation des périmètres formels et informels présentait des irrigations trop fréquentes et abondantes, les cultures recevant de l'eau avant d'avoir épuisé les réserves en eau disponibles.

Une mauvaise gestion de l'irrigation a entraîné une perte d'eau importante, estimée à 2 999 923 m³ / an pour les sites de Mogtédó et Savili. La raison principale de cette contre-performance semble être liée aux faiblesses techniques et organisationnelles des producteurs.

Cette étude a mis en évidence le gaspillage de l'eau pour l'irrigation et la forte concurrence entre les périmètres formels et informels. Ainsi, le problème de l'eau sur les périmètres irrigués au Burkina Faso n'est pas directement lié au manque d'eau mais surtout à sa mauvaise gestion.

L'amélioration des performances des périmètres irrigués autour des petits réservoirs pourrait nécessiter de :

- renforcer les capacités techniques, organisationnelles et opérationnelles des agriculteurs ;
- améliorer la qualité technique des aménagements parcellaires ;
- privatiser l'approvisionnement en eau des périmètres irrigués, de sorte que l'agriculteur bénéficie du service de l'eau.

Mots-clés : Efficience d'application de l'eau, productivité de l'eau, gestion de l'eau, calendrier cultural, utilisation de l'eau, ressource en eau, efficience d'utilisation de l'eau, méthode d'irrigation.

ABSTRACT

In Burkina Faso, faced with the persistence of severe climatic conditions that compromise mainly rain-fed agricultural production, the development of irrigation appeared as a promising alternative to secure, intensify and increase sustainably agricultural production.

However, one of the main constraint to irrigation development is the availability of water, scarcity or shortage of water on irrigated areas.

This research contributed to the reflection on the problem of water on irrigated areas in Burkina Faso through the evaluation of the technical performance indicators, the irrigation management analysis and the irrigators organizational efficiency, while first examining the general context of the development of irrigation.

The study shows that overall, relatively large quantities of water fall in Burkina Faso. However, the distribution of this water in time and space is very uncertain and does not guarantee a good rainy season for agricultural production. The implementation of water harvesting techniques and the practice of supplemental irrigation would help secure agricultural production during the rainy season. This random rainfall context justifies the choice of producers and policies to develop irrigated agriculture.

Irrigation in Burkina Faso is essentially gravity and is poorly developed, with 33% of areas developed on an irrigable area of 233,500 ha.

Efforts are made in the construction of irrigation infrastructures. However, irrigation management is poorly controlled and producers poorly organized to ensure the proper management of water and the maintenance of hydraulic infrastructures.

Furthermore, if the water used for irrigation does not present any risk for crops and soil, on the other hand, poor management of fertilizers and pesticides has been highlighted, which could have negative consequences for the environment in more or less long term.

In order to evaluate irrigation performance, a bibliographic synthesis allowed to review and clarify the concepts of water use efficiency and productivity according to their fields of application as well as the irrigation systems and the tools to be used for best management of irrigation.

The results show that water application efficiencies were less than 20% at Savili, and between 41 and 55% at Mogtédó. Water use efficiencies ranged from 1.12 to 3.4 kg m⁻³ for *Allium Cepa* (onion) in three networks, 0.31 kg m⁻³ for *Zea mays* (corn) at Mogtédó, and 0.34 kg m⁻³ for *Phaseolus vulgaris* (green beans) at Savili.

The modeling of the theoretical and actual irrigation schedules shows that, compared with the theoretical irrigation schedule, the actual schedule in the typical and illegal irrigation networks applied irrigation too often, with crops receiving water long before they had exhausted the available soil-water supply. The amount applied was similar at the two sites (58 mm in the Savili and Mogtédó Typical network, respectively, and 43 mm in the Mogtédó illegal network) and the method of irrigation was also similar (filling furrows or small basins).

Poor irrigation management resulted in significant water loss, estimated to be 2,999,923 m³/year for the Mogtédo and Savili sites. The main reason for this underperformance seems to be related to technical and organizational failures by producers.

This study highlights the waste of water for irrigation and the strong water competition between typical and illegal irrigation networks. Thus, the problem of water on the irrigated areas in Burkina Faso is not directly related to the lack of water but especially to the poor water management.

Improving the performance of irrigated areas around small reservoirs may require:

- strengthen the technical, organizational and operational capacities of farmers;
- improve the technical quality of land development;
- privatize the water supply of the irrigated perimeters, so that the farmer benefits from the water service.

Keywords: Water application efficiency, water productivity water management, cropping calendar, water use, water resources, water use efficiency, irrigation method.

REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé avec le soutien de Wallonie-Bruxelles International (WBI) en collaboration avec l'Université de Liège (ULiège) et le Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydro-agricoles (MAAH) du Burkina Faso. A ce titre, qu'il me soit permis de leur témoigner ma profonde gratitude.

Je voudrais ensuite exprimer ma reconnaissance au Professeure Aurore DEGRE, qui a suivi toutes les étapes de ce travail et qui a fait preuve d'une grande disponibilité et d'une immense patience. Malgré vos multiples charges académiques, vous avez toujours su dégager du temps pour moi dans le cadre de cette thèse. Si ce travail est aujourd'hui finalisé, c'est fondamentalement grâce à vos conseils, vos critiques constructives et vos encouragements soutenus. Merci grandement professeure de m'avoir permis de conduire ce travail sous votre encadrement.

Mes remerciements vont au Professeur Dimitri XANTHOULIS, avec qui ce projet de thèse a été initié et qui a accepté de sacrifier son temps pour suivre rigoureusement toutes les étapes de sa réalisation. Professeur Dimitri XANTHOULIS, merci pour vos précieux conseils et vos multiples sacrifices.

J'adresse mes remerciements au Professeur Korodjouma OUATTARA, qui m'a apporté un encadrement de proximité au niveau du Burkina Faso ainsi qu'un appui technique et logistique lors de la phase de collecte de données et de réalisation des mesures.

Mes remerciements vont également à l'ensemble des membres de mon comité de thèse qui m'ont prodigué leurs conseils tout au long de cette recherche, ainsi qu'aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer la qualité de ce travail. Chers professeurs, recevez mes sincères remerciements pour toute l'attention que vous avez porté à ce travail.

Je tiens à remercier les Autorités du Burkina Faso, notamment celles en charge du Ministère de l'Agriculture pour m'avoir accordé tout l'appui nécessaire dans la réalisation de ce travail de recherche qui contribuera à améliorer les performances de l'irrigation au Burkina Faso.

J'exprime ma gratitude à toute l'Administration et à l'ensemble du corps enseignant de l'université de Liège (Belgique) et de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles du Burkina Faso pour leur accompagnement dans le cadre de cette thèse.

Je remercie les collaborateurs du professeure Aurore DEGRÉ, notamment Katia BERGHMANS pour sa grande disponibilité et son soutien constant ainsi que Daniel BAES du côté de la Bibliothèque.

Je salue et remercie le personnel du Service social de Gembloux et particulièrement Mme Françoise DECAMP, Mme Joëlle HAINE et les gestionnaires de la Maison Nord-Sud M. Thierry HENCKAERTS et Mme Alix RAWAY pour leur accueil chaleureux lors de mes séjours à Gembloux.

J'adresse ma profonde reconnaissance à mon épouse Valérie KAMBOU / SAWADOGO et à mes enfants Gloria M-P.W. KAMBOU, Ariel J.S. KAMBOU et Alicia M-R.W. KAMBOU, qui ont souffert de mon absence auprès d'eux pendant ces longues années d'études.

Je réitère ma profonde gratitude à mon défunt Père et à ma mère qui m'ont permis d'aller à l'école et qui m'ont toujours soutenu dans mes études.

Mes remerciements vont aussi à mes frères, sœurs, amis et collègues et de tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'aboutissement de ce travail.

Que le Seigneur bénisse chacun abondamment pour sa contribution.

TABLE DES MATIÈRES

COPYRIGHT	I
RÉSUMÉ.....	III
ABSTRACT	V
REMERCIEMENTS.....	VII
TABLE DES MATIÈRES	IX
LISTE DES FIGURES.....	XIII
LISTE DES TABLEAUX	XV
SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XVI
1. INTRODUCTION GENERALE.....	1
1.1. PROBLEMATIQUE	1
1.1.1 CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE	1
1.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	3
1.3 MATERIEL ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE GLOBALE.....	4
1.3.1 CHOIX DES SITES.....	4
1.3.2 MATERIEL ET METHODOLOGIE GLOBALE	4
1.3.2.1 Revue bibliographique	5
1.3.2.2 Enquête.....	5
1.3.2.3 Mesures	5
1.3.2.4 Evapotranspiration potentielle (ETp) et évapotranspiration de la culture (ETc)..	9
1.3.2.5 Indicateurs de performances	10
1.3.2.6 Approche de modélisation des besoins en eau des cultures et des calendriers d'irrigation optimum.....	11
1.3.2.7 Variabilité climatique.....	12
2. CONTEXTE CLIMATIQUE, RESSOURCES EN EAU ET DEVELOPPEMENT DE L'IRRIGATION AU BURKINA FASO	15
2.1 CONTEXTE GENERAL DU CLIMAT DU BURKINA FASO.....	15
2.1.1 METHODES D'ANALYSES DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE.....	17
2.1.2 COMMENTAIRES ET DISCUSSION SUR LA VARIABILITE CLIMATIQUE DU BURKINA	19
2.1.2.1 Pluviométrie et évapotranspiration	19
2.1.2.2 Courbes de températures et du cusum.	23
2.2 RESSOURCES EN EAU DU BURKINA	26
2.3 DEVELOPPEMENT DE L'IRRIGATION AU BURKINA FASO	27
2.3.1 TYPOLOGIE DES AMENAGEMENTS HYDRO-AGRIQUES ET DES SYSTEMES D'IRRIGATION AU BURKINA FASO	28
2.3.1.1 Typologie des aménagements hydro-agricoles	28
2.3.1.2 Systèmes et techniques d'irrigation au Burkina.....	31
2.3.1.3 Mode de gestion de l'eau sur les aménagements hydro- agricoles.....	33
2.3.1.3.1 Cas des périmètres communautaires	33
2.3.1.3.2 Cas des périmètres individuels ou privés.....	34
2.4 SITUATION ACTUELLE DES AMENAGEMENTS ET DE L'IRRIGATION AU BURKINA	35

3. DIAGNOSTIC DES INFRASTRUCTURES D'IRRIGATION, DE L'ORGANISATION ET DU FONCTIONNEMENT DES PERIMETRES IRRIGUES	39
3.1 OBJECTIF DU DIAGNOSTIC	39
3.2 METHODOLOGIE DU DIAGNOSTIC	39
3.3. CADRE DE GESTION DES RESSOURCES EN EAU AU BURKINA FASO.	40
3.4 CARACTERISTIQUES DES PERIMETRES IRRIGUES	42
3.4.1 DYNAMIQUE ORGANISATIONNELLE SUR LES PERIMETRES IRRIGUES	42
3.4.2 REDEVANCE EAU ET AMENAGEMENT	47
3.4.3 CARACTERISATION PHYSIQUES DES PERIMETRES IRRIGUES	52
3.4.4 RESSOURCES EN EAU POUR L'IRRIGATION : DISPONIBILITE, QUALITE ET APPROVISIONNEMENT EN EAU DES PERIMETRES IRRIGUES	55
3.4.4.1 Ressources en eau pour l'irrigation	55
3.4.4.2 Qualité de l'eau d'irrigation	55
3.4.4.3 Approvisionnement en eau des périmètres irrigués	57
3.4.5 AMENAGEMENT ET FONCTIONNALITE DES OUVRAGES D'IRRIGATION	58
3.4.5.1 Aménagement parcellaire	58
3.4.5.2 Réseau d'irrigation et de drainage	60
3.4.5.3 Fonctionnalité des infrastructures d'irrigation	61
3.4.6 GESTIONS DES ENGRAIS ET DES PESTICIDES SUR LES PERIMETRES IRRIGUES	68
CONCLUSION	75
4. ANALYSE DE LA PERTINENCE DES FREQUENCES D'IRRIGATION A L'AIDE DU SUIVI DE LA TENSION DU SOL	79
4.1 OBJECTIF DE L'ESSAI	79
4.2 SITES ET APPROCHES METHODOLOGIQUES	79
4.3 ANALYSE DES RESULTATS DES RELEVES DE LA TENSION DU SOL	80
4.3.1 MESURES IN SITU DES PROFONDEURS RACINAIRES	80
4.3.2 COURBES DE TENSION DU SOL	81
5. CONCEPTS D'EFFICIENCE ET DE PRODUCTIVITE DE L'EAU	87
RESUME	87
INTRODUCTION	87
5.1 NOTION DE SYSTEMES D'IRRIGATION	88
5.1.1 L'IRRIGATION DE SURFACE	89
5.1.2 L'IRRIGATION SOUS PRESSION	90
5.1.3 L'IRRIGATION SOUTERRAINE	90
5.2 NOTION D'EFFICIENCE ET DE PRODUCTIVITE DE L'EAU AGRICOLE	91
5.2.1 CONCEPTION TRADITIONNELLE DE L'EFFICIENCE DE L'IRRIGATION	92
5.2.2 CONCEPTS DE PRODUCTIVITÉ (PE) ET D'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'EAU (EUE)	93
5.3 APPROCHES DE CALCUL DES PRINCIPAUX INDICATEURS DE PERFORMANCE A LA PARCELLE	98
5.3.1 CAS DE L'IRRIGATION DE SURFACE	98
5.3-1-1 Uniformité de distribution (UD)	98

5.3-1-2 Coefficient de stockage (CoS)	99
5.3.1.3 Efficience d'application	99
5.3.1.3.1 Approche de Merriam et Keller	99
5.3.1.3.2 Approche de Elliot et Walker	99
5.3.1.3.3 Approche de Walker	100
5.3.1.3.4 Approche de Molden	100
5.3-2 Cas de l'irrigation par aspersion	101
5.4 BESOINS EN EAU DES PLANTES, TENEUR EN EAU DU SOL ET METHODES DE DETERMINATION	101
5.5 QUELQUES APPROCHES D'ESTIMATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION ET DE CALCULS DE L'EFFICIENCE ET DE LA PRODUCTIVITE DE L'EAU A L'AIDE DE PROGRAMMES INFORMATIQUES	102
CONCLUSION.....	103
6. ÉVALUATION ET PROPOSITIONS D'AMELIORATION DES PERFORMANCES TECHNIQUES DE PERIMETRES IRRIGUES AUTOUR DE PETITS RESERVOIRS AU BURKINA FASO : UNE ETUDE DE CAS	107
RESUME	107
6.1. INTRODUCTION	107
6.2 - MATERIELS ET METHODES	109
6.2.1 DESCRIPTION DES SITES D'ETUDES.....	109
6.2.1.1 Site de Mogtédou.....	109
6.2.1.2 Site de Savili	111
6.2.2 METHODE DE COLLECTE DES DONNEES.....	112
6.2.2.1 Enquête.....	112
6.2.2.2 Mesures	112
6.2.2.3 Données météorologiques	114
6.2.2.4 Indicateurs de performances	114
6.2.2.5 Approche de modélisation des besoins en eau des cultures et des calendriers d'irrigation optimum.....	115
6.3 RESULTATS ET DISCUSSIONS	116
6.3.1 CULTURES ET PERIODE DE MISE EN PLACE DES CULTURES.....	116
6.3.2 PERFORMANCES AGRONOMIQUES ET TECHNIQUES DE L'IRRIGATION.....	118
6.3.2.1 Performances agronomiques.....	118
6.3.2.2 Performances techniques de l'irrigation à la parcelle.....	119
6.3.3 RESEAU DE DISTRIBUTION DE L'EAU	120
6.3.4 MODELISATION DE CALENDRIERS D'IRRIGATION THEORIQUE ET REELLE, OPPORTUNITES D'AMELIORATION DE LA GESTION DE L'EAU	121
6.3.4.1 Conception de la parcelle et mise en place du système d'irrigation	121
6.3.4.2 Fréquences d'irrigation	122
6.3.4.3 Modélisation de calendriers d'irrigation théorique et réelle	123
6.3.5 ORGANISATION DES PRODUCTEURS, GESTION DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES ET PERSPECTIVES	126
CONCLUSION.....	129

7. CONCLUSION GENERALE 133
8. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES..... 137
8.1 RECOMMANDATIONS..... 137
8.2 PERSPECTIVES..... 138
9. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 141
ANNEXES..... 153

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Zones climatiques, stations météorologiques.....	16
Figure 2 : Migration des isohyètes 600 mm et 900 mm du fait du changement climatique	16
Figure 3 : Evolution de l'ETP, de la pluviométrie et du déficit pluviométrique en zone sahélienne (Période de 1980-2010).....	19
Figure 4 : Indices pluviométriques en zone Sahélienne sur la période de 1980 à 2010 ..	20
Figure 5 : Evolution de l'ETP, de la pluviométrie et du déficit pluviométrique en zone nord-soudanienne (période de 1980-2010).....	21
Figure 6 : Indices pluviométriques en zone nord-soudanienne sur la période de 1980 à 2010	21
Figure 7 : Pluviométrie, ETp et déficit pluviométrique en zone sud-soudanienne (Période de 1980-2010)	22
Figure 8 : Indices pluviométriques en zone sud-soudanienne (Période de 1980-2010) ..	23
Figure 9 : Courbes des températures de la période de 1980 à 2010	24
Figure 10 : Courbes cusum (période de 1980-2010)	25
Figure 11 : Raies multiples	60
Figure 12 : Cultures de tomates sur raies multiples.....	60
Figure 13 : Evolution de la tension du sol sur des parcelles de maïs à Mogtédó	82
Figure 14 : Evolution de la tension du sol sur des parcelles de maïs à Débé/AMVS au Sourou.....	82
Figure 15 : Evolution de la tension du sol sur des parcelles d'oignon à Savili	83
Figure 16 : Localisation des sites d'étude et connaît de fortes variations interannuelles.	110
Figure 17 : période de mise en place des cultures (données d'enquête)	117
Figure 18 : Effet du retardement de la date de semis-repiquage	118
Figure 19 : Fréquence d'irrigation sur les périmètres formels (données d'enquête)	122
Figure 20 : Calendrier théorique et réel d'irrigation de l'oignon (Savili périmètre formel)	125
Figure 21 : Calendrier théorique et réel d'irrigation de l'oignon (Mogtédó Périmètre Formel)	125
Figure 22 : Calendrier théorique et réel d'irrigation de l'oignon (Mogtédó Périmètre informel)	126
Figure 23 : Dispositif de relevage hydraulique à l'aide d'hydro vis dans la Vallée du Sourou (Photo D. Kambou).....	153
Figure 24 : Moteurs diesel couplés à des réducteurs de vitesses actionnant des hydro vis dans la Vallée du Sourou (Photo D. Kambou)	153
Figure 25 : Vue d'un canal primaire dans la Vallée du Sourou (Photo D. Kambou)....	154
Figure 26 : Irrigation à la raie dans la Vallée du Sourou (Photo D. Kambou).....	154
Figure 27 : Canal enherbé dans la Vallée du Sourou. Absence de vannette de régulation remplacée par un arrosoir (Photo D. Kambou).....	155
Figure 28 : Station de pompage de Savili(Photo D. Kambou).....	155
Figure 29 : Réseau de distribution des conduites dans les sept blocs du périmètre (Photo D. Kambou)	156
Figure 30 : Canne de sortie : vue latérale (à gauche) et vue en plan (à droite) (Photo D. Kambou)	156
Figure 31 : Irrigation d'une sous-parcelle d'haricots verts à Savili (Photo D. Kambou)	157
Figure 32 : A gauche station de pompage installée sur une plate- forme stabilisée et protégée des intempéries. A droite bassins de distribution Photos D. Kambou	157

Figure 33 : Vue partielle du périmètre de Lantaogo non mis en valeur par manque d'eau (Photo D. Kambou)	158
Figure 34 : Vue partielle du Barrage de Lantaogo en assèchement (Photo D. Kambou).....	158
Figure 35 : Ouvrage de prise d'eau dans le barrage de Lantaogo en assèchement (Photo D. Kambou).....	159
Figure 36 : Vue partielle du canal primaire du périmètre de Lantagogo ; Dégradation et installation d'un dispositif sommaire parallèle de canalisation de l'eau. (Photo D. Kambou).....	159
Figure 37 : Station de pompage sommairement installée sur le petit réservoir de Rassomdé . (Photo D. Kambou)	160
Figure 38 : Refoulement de l'eau pompée à partir du réservoir vers le canal primaire du périmètre de Rassomdé . (Photo D. Kambou)	160
Figure 39 : Vue partielle du canal primaire du périmètre de Rassomdé. (Photo D. Kambou)	161
Figure 40 : Parcelle Arrosée à Rassomdé. Absence de dispositif de drainage. L'arrosage paraît abondant. (Photo D. Kambou).....	161
Figure 41 : Parcelle Arrosée à Rassomdé. Absence de dispositif de drainage. L'arrosage paraît abondant. (Photo D. Kambou).....	162
Figure 42 : Parcelle Arrosée Zimtanga. Absence de dispositif de drainage. L'arrosage paraît abondant. (Photo D. Kambou).....	162
Figure 43 : Parcelle Arrosée à Rassomdé. Absence de dispositif de drainage. L'arrosage paraît abondant. (Photo D. Kambou).....	163
Figure 44 : Stagnation d'eau d'arrosage dans une parcelle à Boulbi. (Photo D. Kambou).....	163
Figure 45 : Stagnation d'eau d'arrosage dans une parcelle à Boulbi. (Photo D. Kambou).....	164
Figure 46 : Arrosage manuel à partir de puisard à Boulbi. (Photo D. Kambou)	164
Figure 47 : Arrosage manuel à partir de d'un puits maraicher à Boulbi. Puits maraicher visible au fonds. (Photo D. Kambou)	165
Figure 48 : Prélèvement d'eau dans le canal primaire du périmètre de Mogtédó (Photo D. Kambou).....	165
Figure 49 : Pratique de fertilisation minérale (Urée) par épandage Rassomdé (Photo D. Kambou).....	166

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Sites de l'étude	4
Tableau 2 : Coefficients cultureux	12
Tableau 3 : Situation actuelle des aménagements du Burkina	35
Tableau 4 : Situation des organisations des producteurs sur les sites	43
Tableau 5 : Caractéristiques des périmètres irrigués	53
Tableau 6 : Conductivité des eaux d'irrigation	56
Tableau 7 : Classification de Ayers.....	56
Tableau 8 : Dimensions des raies, planches et bassins.....	59
Tableau 9 : Caractéristiques des sites visités.....	62
Tableau 10 : Fiche technique de fertilisation de la tomate et de l'oignon en production de saison sèche au Burkina Faso	70
Tableau 11 : Situation des pesticides recensés sur les sites.....	71
Tableau 12 : Profondeurs d'enracinement de l'oignon et du maïs	81
Tableau 13 : Résumé de quelques acceptions des notions d'efficience et de productivité de l'eau	97
Tableau 14 : Cultures et superficies irriguées (Données d'enquête)	116
Tableau 15 : Eléments de performance agronomiques.....	119
Tableau 16 : Performances techniques de l'irrigation à la parcelle.....	119
Tableau 17 : Efficience du réseau de distribution de Savili	121
Tableau 18 : Dimensions des raies, planches et bassins.....	122
Tableau 19 : Coefficients de conductivité hydraulique	124
Tableau 20 : Modalités de distribution et d'application de l'eau à Savili et Mogtédou (données d'enquête).....	127
Tableau 21 : Accès à la ressource en eau pour les irrigants (données d'enquête).....	127

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ACP	: Afrique, Caraïbes et Pacifique
AMVS	: Autorité de mise en valeur de la vallée du Sourou
AN	: Assemblée nationale
BUNASOL	: Bureau National des Sols
CAPES	: Centre d'analyse des politiques économiques et sociales
CFE	: Contribution financière en matière d'eau
CLE	: Comité local de l'eau
CI	: Comités d'irrigants
CTA	: Centre Technique de coopération agricole et rurale
DGESS	: Direction Générale des études et des statistiques sectorielles
DGM	: Direction Générale de la Météorologie
DGPER	: Direction générale de la promotion de l'économie rurale
DAP	: Di-Ammonium Phosphate
DIPAC	: Projet de développement de l'irrigation privée et des activités connexes
DSA	: Direction des Statistiques Agricoles
EPA	: Etablissement public à caractère administratif
ETP	: Evapotranspiration potentielle
FAO	: Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FKDEA	: Fonds Koweïtien pour le développement économique arabe
GIP	: Groupement d'intérêt public
ICRISAT	: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics
IGB	: Commission Internationale des Grands Barrages
INERA	: Institut de l'Environnement et Recherches Agricoles
IWMI	: International water management institution
MAH	: Ministère de l'Agriculture et des Aménagements hydrauliques
MAHRH	: Ministère de l'Agriculture de l'hydraulique et des Ressources halieutiques
MASA	: Ministère de l'Agriculture et de la Sécurité Alimentaire
MATD	: Ministère de l'administration territoriale et de la décentralisation
MEE	: Ministère de l'Environnement et de l'Eau
MEF	: Ministère de l'économie et des finances
MOB	: Maîtrise d'ouvrage de Bagré
ONG	: Organisation non gouvernementale
OUEA	: Organisations d'usagers de l'eau agricole
PAFASP	: Projet d'appui aux filières agro-sylvo-pastorales
PAGIRE	: Plan d'actions pour la gestion intégrée des ressources en eau
PAS	: Programme d'ajustement structurel
PF-Mo	: Périmètre formel de Mogtédou
PF-Sa	: Périmètre formel de Savili
PI-Mo	: Périmètre informel de Mogtédou

PI-Sa	: Périmètre Informel de Savili
PM	: Premier Ministère
PIIV	: Programme de développement de la petite irrigation villageoise
PPP	: Partenariat public - privé
PPTE	: Pays Pauvres Très Endettés
PTF	: Partenaires techniques et financiers
PRES	: Présidence
SAGE	: Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau
SDAGE	: Schéma directeur d'aménagement et de gestion de l'eau
SEM	: Société d'économie mixte
SN-	: Société nouvelle sucrière de la Comoé
SOSUCO	
SOCADI	: Société des coopératives agricoles de Dî
Sup F	: Superficie formelle aménagée
TDR	: Time domain reflectrometry
TOR	: Tout ou rien
TSP	: Triple Super Phosphate

1.

Introduction générale

1. Introduction générale

1.1. Problématique

1.1.1 Contexte et problématique

Les superficies irriguées dans le monde représentent 20 % des terres cultivées mais fournissent 40 % des disponibilités alimentaires mondiales à cause de leurs rendements plus élevés (FAO, 2011).

Au Burkina Faso, elles représentent un peu moins d'un pourcent des superficies cultivées et connaissent une évolution rapide ces dernières années, avec le développement de l'irrigation informelle (superficies sommairement aménagées par les producteurs eux-mêmes sans études préalables et sans assistance technique appropriée; on parle aussi de périmètres informels) et formelle (superficies aménagées sur base d'études de faisabilité par des entreprises spécialisées, recrutées par l'Etat, des projets, des ONG ou associations ou toute autre personne physique ou morale; on parle de périmètres formels).

Dans les pays sahéliens comme le Burkina Faso, les aléas climatiques deviennent de plus en plus sévères, avec une plus grande occurrence des inondations, des poches de sécheresses (Sally et al., 2011) et une répartition spatio-temporelle des pluies fréquemment en déphasage avec le calendrier agricole.

L'idée de développer les petits réservoirs pour surmonter les problèmes de pénurie d'eau et permettre le développement de l'irrigation tire ses fondements de ce contexte et fait suite aux graves sécheresses des années 1970 et 1980 qui ont engendré une crise alimentaire aigüe (Cecchi et al., 2009 ; Druyan, 2011; Venot and Krishnan, 2011) dans la plupart des pays sahéliens. La création de ces petits réservoirs permet d'atténuer la principale contrainte au développement de l'irrigation qu'est la disponibilité de l'eau.

Au sens de la Commission Internationale des grands barrages (IGB) (Banque mondiale, 2017), les petits réservoirs, ou petits barrages ou encore barrages réservoirs sont des ouvrages hydrauliques dont la hauteur sur fondation est inférieure à 15 mètres ; ainsi les ouvrages hydrauliques dont la hauteur sur fondation est supérieure ou égale à 15 m sont considérés comme des grand barrages.

En Afrique de l'Ouest, le Burkina Faso est le pays ayant construit le plus grand nombre de petits réservoirs ces dernières décennies, leur nombre est estimé entre 1300 et 2000 (Cecchi et al., 2009; Leemhuis et al., 2009).

Ces petits réservoirs comportent souvent en aval un système d'irrigation formelle associé. En 2004, le Burkina Faso comptait 32 258 ha de périmètres aménagés formels autour des réservoirs dont 24 300 ha étaient mis en valeur (MAHRH, 2004). En 2012, les superficies des cultures irriguées, effectivement exploitées en saison sèche au Burkina Faso, étaient évaluées à environ 60 000 ha dont plus de 52 % de périmètres irrigués informels (MAH, 2012). Les superficies des périmètres formels étaient de l'ordre de 40 300 ha dont 29 800 ha étaient mis en valeur.

Sur les périmètres irrigués au Burkina Faso, en 2010, 80 % des irrigants déploraient l'insuffisance de l'eau pour couvrir leur besoin en eau d'irrigation (DGPER, 2010). Mais la question de cette insuffisance de l'eau n'est pas clairement élucidée. En effet, s'il est vrai qu'il y a une insuffisance de l'eau avérée sur les périmètres irrigués pour couvrir les besoins en eau des cultures, il conviendrait de savoir s'il s'agit d'une insuffisance liée à la quantité d'eau disponible ou à la gestion déficiente de la ressource en eau disponible ou encore à une demande trop importante par rapport à la disponibilité effective de l'eau.

Le colloque sur la « gestion équitable, efficiente et durable de l'eau pour le développement agricole et rural en Afrique subsaharienne et dans les Caraïbes » (CTA, 1999) relève que dans la plupart des régions du monde, plus particulièrement dans les pays ACP (Afrique Caraïbes et Pacifique), le développement de l'agriculture irriguée aboutit à des crises soit du fait de sa stagnation voire son échec, soit au contraire du fait de son extension mal contrôlée et de ses conséquences pour l'ensemble de la société.

Concernant spécifiquement la performance des petits réservoirs, l'étude de IWMI (1997), indique que les systèmes d'irrigation utilisés ne sont pas toujours les meilleurs en matière d'économie de l'eau et les plus performants économiquement.

Au Burkina Faso, des rapports du Ministère en charge de l'Agriculture sur l'irrigation (MAHRH, 2004; CAPES, 2007) relèvent une gestion déficiente des périmètres irrigués, liée au faible niveau d'organisation des producteurs.

En rapport avec les performances agronomiques des périmètres irrigués au Burkina Faso, les rendements des céréales irriguées comme le maïs et le riz sont respectivement en moyenne de 3,5t /ha et de 4t/ha (MAH, 2012). Pour les cultures maraîchères, les rendements restent également bas, de l'ordre de 17 à 25 t/ha pour l'oignon et de 6 à 7t /ha pour le haricot vert (MAH, 2012).

Les rendements potentiels du maïs (bondofa) sont de 7 à 9 t/ha, ceux de l'oignon (violet de galmi) de 40 à 50t/ha et le haricot vert 10 à 12 t/ha (Barbier et al., 2006).

Cette faiblesse des rendements peut être associée à la non maîtrise et/ou le non-respect des itinéraires techniques mais aussi à la gestion inappropriée de l'eau d'irrigation.

De façon plus générale, plusieurs études ont conclu à la faible performance agronomique et économique des périmètres irrigués au Burkina (Mdemu et al., 2009 ; Dembélé et al., 2012 ; de Fraiture et al., 2014 ; Fowe et al., 2015). Le non-respect des itinéraires techniques de production, le choix inapproprié des spéculations, la faible maîtrise des bonnes pratiques d'irrigation ont souvent été associés à ces contreperformances.

Par contre, les aspects liés aux performances techniques de l'irrigation, à la gestion des infrastructures d'irrigation et à la gestion de l'eau à la parcelle ont rarement été abordés.

Dans un contexte de raréfaction des ressources, il est essentiel de suivre les indicateurs de performance technique qui permettent de prendre les dispositions pour produire plus avec moins d'eau. Du reste, l'amélioration des performances économiques et/ou agronomiques, passe aussi par l'amélioration des performances techniques.

Toutefois, les indicateurs de performance de l'irrigation sont différemment perçus, entraînant parfois des confusions dans leur appréhension, ce qui complique leur application et exploitation objective et consensuelle (Bluemling et al., 2007 ; Lankford, 2012 ; van Halsema et Vincent, 2012).

Au regard de ce contexte, afin de contribuer à la réflexion aussi bien sur la performance de l'irrigation que sur le problème de l'insuffisance de l'eau sur les périmètres irrigués au Burkina Faso, trois hypothèses de recherche ont été émises :

Hypothèse 1 : L'insuffisance de l'eau d'irrigation sur les périmètres aménagés s'explique par l'inexistence d'une bonne méthode de pilotage des irrigations pour assurer une économie d'eau à l'échelle parcellaire.

Hypothèse 2 : Le mode d'organisation des producteurs pour la gestion des aménagements hydro-agricoles a des impacts sur l'économie de l'eau, la productivité de l'eau et la durabilité des infrastructures hydrauliques.

Hypothèse 3 : Le faible niveau technique des irrigants affecte la bonne gestion de l'eau d'irrigation, ainsi que l'efficience et la productivité de l'eau d'irrigation.

1.2 Objectifs de l'étude

L'objectif global de cette recherche est de contribuer à la réflexion sur la problématique de l'eau sur les périmètres irrigués au Burkina Faso à travers l'évaluation des indicateurs de performances techniques, l'analyse de la gestion de l'irrigation et l'efficacité organisationnelle des irrigants.

De façon spécifique il s'agit :

- d'analyser le contexte climatique du Burkina Faso ;
- de caractériser le développement de l'irrigation au Burkina Faso ;
- de faire une revue bibliographique sur les concepts d'efficience et de productivité de l'eau ;
- de faire un diagnostic des infrastructures d'irrigation, de l'organisation et du fonctionnement des périmètres irrigués et d'analyser les effets des conditions de production (gestions des engrais et pesticides) sur l'environnement ;
- d'évaluer les performances techniques des périmètres irrigués ;
- de proposer des recommandations pour l'amélioration des performances techniques de l'irrigation au Burkina.

1.3 Matériel et démarche méthodologique globale

1.3.1 Choix des sites

Seize (16) périmètres irrigués ont été choisis dans les 13 régions administratives du Burkina Faso pour des besoins d'enquêtes et de suivi. Le choix de ces sites tient compte de l'objectif de disposer d'un échantillon représentatif des différents systèmes d'irrigation existants au Burkina Faso, mais également de couvrir les différents types de périmètres irrigués. Le tableau 1 présente les sites concernés par l'étude.

Sur ces 16 périmètres, 2 périmètres (Savili et Mogtédou), tous approvisionnés par gravité par des petits réservoirs, mais relativement contrastés du fait que l'un soit arrosé sans pompage (Mogtédou) et l'autre par moto-pompage, ont fait l'objet d'investigations plus approfondies en terme de suivi, d'enquêtes, de mesures et d'essais afin de mieux appréhender leurs performances techniques.

1.3.2 Matériel et méthodologie globale

L'approche méthodologique globale a consisté à faire une revue bibliographique, conduire une enquête, visiter et suivre les activités d'irrigation sur les sites d'étude, réaliser des mesures sur des sites et collecter des données auxiliaires qui ont fait l'objet d'analyse.

Tableau 1 : Sites de l'étude

Région	Province	Commune	Nom du site
Boucle du Mouhoun	Balé	Fara	Fara/SOCAP
	Sourou	Lanfiéri	Débé/AMVS
Cascades	Comoé	Banfora	Karfiguéla
	Comoé	Banfora	Lémourdougou
Centre Est	Boulgou	Bagré	Bagré
Centre	Kadiogo	Komsilga	Boulbi
Centre Nord	Bam	Zimtanga	Zimtanga
Centre Ouest	Boulkiemdé	Sabou	Savili
Centre Sud	Zoundwégo	Manga	Manga aval
Est	Gourma	Diabo	Lantaogo
Hauts Bassins	Houet	Bama	Vallée du Kou
Nord	Zondoma	Tougou	Rassomdé
Plateau Central	Ganzourgou	Mogtédou	Mogtédou
	Ganzourgou	Mogtédou	Zorgongo
Sahel	Séno	Bani	Oourou Noma
Sud-Ouest	Ioba	Dano	Dano-Moutouri

1.3.2.1 Revue bibliographique

La revue bibliographique a permis de circonscrire le champ de la recherche, d'examiner le contexte climatique et du développement de l'irrigation au Burkina Faso, et de mieux appréhender les concepts d'efficience et de productivité de l'eau et de façon plus générale de cerner la problématique de l'irrigation dans le monde.

1.3.2.2 Enquête

L'enquête a été réalisée à travers des entretiens semi-structurés. Elle a concerné 10 producteurs par site, soit 160 au total. Le nombre d'enquêtés sur les sites spécifiques de Savili et Mogtédó qui font l'objet d'investigations plus approfondies sur les performances techniques de l'irrigation a été légèrement majoré. A Savili, l'enquête a concerné 25 producteurs sur le périmètre aménagé formel ainsi que sur le périmètre informel. A Mogtédó, 25 producteurs ont été concernés sur le périmètre aménagé formel et 150 sur le périmètre informel.

Les producteurs de l'ensemble des sites ont été choisis de façon aléatoire. Les thématiques de l'enquête concernaient la gestion de l'eau à l'échelle du périmètre et de la parcelle, les calendriers d'irrigation et le mode de comptage de l'eau utilisée, le calendrier cultural, les spéculations exploitées, l'utilisation des engrais et des pesticides, le cycle des cultures ainsi que la taille des parcelles individuelles.

Ces entretiens ont concerné également les responsables des coopératives et des comités d'irrigants. Des échanges ont aussi été organisés avec les aiguadiers et les comités de gestion des stations de pompage. Sur les périmètres échantillons, les stations de pompage, les canaux d'irrigation, les parcelles de production ont été visités. Les observations ont également porté sur l'approvisionnement en eau des parcelles et l'organisation de la production.

1.3.2.3 Mesures

Les mesures sur les quantités d'eau appliquées à la parcelle, les productions obtenues, les temps d'irrigation, les caractéristiques hydrodynamiques des sols (vitesse d'infiltration et courbe de rétention en eau), l'estimation de l'efficience du réseau de distribution de l'eau ont concerné les périmètres spécifiques de Savili et de Mogtédó.

Les mesures sur la salinité et le pH des eaux d'irrigation ont concerné en plus de Savili et Mogtédó, 8 autres périmètres irrigués.

La tension du sol a été suivie sur des parcelles des périmètres de Mogtédó, de Savili et de Dèbé/AMVS.

❖ Mesures des quantités d'eau appliquées à la parcelle

Pour cette estimation, des mesures de débits ont été réalisées sur les périmètres de Savili et de Mogtédó. Le choix de ces deux sites visait à y conduire une étude approfondie sur leurs performances techniques.

Les mesures ont été réalisées à l'entrée de 10 parcelles de 0,25 ha chacune par site à l'aide de la méthode volumétrique par emportement. A partir de ces mesures, la connaissance des temps d'irrigation permet de déterminer la quantité d'eau appliquée par évènement d'irrigation.

Cette méthode a été préférée à cause de sa simplicité et de son accessibilité aux producteurs. La réalisation des mesures constituait en même temps un moment de formation et d'apprentissage pour l'estimation des volumes d'eau appliqués à la parcelle.

Les superficies de ces deux périmètres ont été également mesurées et les rendements estimés à l'aide des carrés de rendement par pesée.

❖ Caractéristiques hydrodynamique des sols

Les taux d'infiltration constants journaliers ont été déterminés à partir de mesures de conductivité hydraulique à saturation par la méthode du double anneau sur les sites de Mogtédo et de Savili. Les mesures de conductivité hydraulique à saturation par la méthode du double anneau ont été réalisées sur chacun des deux sites sur trois parcelles à raison de trois répétitions par parcelle.

Les teneurs en eau du sol ont été évaluées à l'aide de l'appareil de Richards à partir d'échantillons de sols récoltés en structure conservée sur 10 parcelles de chacun des deux sites aux profondeurs 10, 20 et 40 cm.

Les échantillons ont été prélevés à l'aide d'anneaux de 100 cm³. Après saturation, et une fois à l'équilibre, les poids des échantillons ont été mesurés. Cette opération a été répétée point par point pour des pressions croissantes. Les échantillons ont été soumis successivement à des pressions de 0,98, 3,92, 6,98, 9,81, 29,42, 68,64, 98,06, 490,32 et 1470,96 kPa, correspondant aux valeurs de pF_{1,00}, pF_{1,65}, pF_{1,85}, pF_{2,00}, pF_{2,48}, pF_{2,85}, pF_{3,00}, pF_{3,70} et pF_{4,18} respectivement, où les valeurs de pF sont le log de la valeur absolue du potentiel matriciel (cm) ou, dans ce cas, de la pression appliquée (cm). Après le dernier point de mesure, le poids sec de l'échantillon a été déterminé après séchage dans un four à 105 °C.

Au Burkina Faso, le Bureau national des sols (BUNASOL) [1985] recommande à la capacité au champ, un potentiel matriciel de pF_{2,5} pour les sols à texture grossière (limons- sableux ou limono-sableux) et moyens (sableux-argileux), et un potentiel matriciel de pF_{3,0} pour les sols à texture fine (limono-argileux, argilo-sableux, limon argileux, argile). Suite à ces indications, le potentiel matriciel à la capacité au champ a été attribué en fonction des résultats de l'analyse de la texture du sol. La valeur du potentiel matriciel au point de flétrissement permanent (pwp) a été fixée à pF_{4,2}.

Ainsi, les réserves en eau du sol ont été déterminées entre la capacité au champ (θ_{fc}) et le point de flétrissement permanent (θ_{pwp}) à l'aide des courbes de teneur en eau du sol.

Les échantillons de sol prélevés à une profondeur de 10 cm ont été utilisés pour calculer la réserve en eau utile du sol entre 0 et 20 cm, ceux prélevés à une profondeur de 20 cm ont été utilisés pour calculer la réserve en eau utile du sol entre 20 et 40 cm, tandis que les échantillons prélevés à une profondeur de 40 cm ont été utilisés pour calculer la réserve en eau utile du sol entre 40 et 100 cm.

Les résultats de cette analyse ont été utilisés pour produire des courbes de teneur en eau du sol.

La réserve en eau du sol a été calculée comme suit :

$$WR = (\theta_{fc} - \theta_{pwp}) \cdot BD \cdot Z \quad (\text{Eq.1})$$

où WR est la réserve en eau du sol, BD est la densité apparente, Z la profondeur ou l'épaisseur du sol en dm, θ_{fc} est la teneur en eau du sol en poids à la capacité au champ, et θ_{pwp} est la teneur en eau du sol en poids au point de flétrissement permanent. BUNASOL [1985] recommande d'utiliser une valeur de 1,7 g.cm⁻³ pour la densité de sol au Burkina Faso.

Ainsi, les valeurs moyennes de la réserve en eau du sol pour chaque site et chaque couche considérée ont été déterminées.

❖ Efficience du réseau

Pour l'efficience du réseau de distribution au niveau de Savili, les mesures ont été réalisées au niveau du canal primaire à l'aide d'un débitmètre à ultrason et au niveau de chaque canne de sortie par emportement. Chacune des mesures a été répétée trois fois.

❖ Salinité de l'eau d'irrigation

La salinité de l'eau d'irrigation a été mesurée à l'aide d'un conductimètre de poche.

Les mesures ont concerné 10 périmètres irrigués dont 3 sont alimentés par des puits maraîchers (Boulbi, Bani et Zorgongo), 3 par des petits réservoirs (Savili, Mogtédo et Rassomdé), 3 par des cours d'eau (Lemourdougou, Fara et Lanfiéra) et 1 par un lac (Zimtenga).

Ces périmètres irrigués ont été choisis pour constituer un échantillon qui prend en compte les sources d'eau habituellement utilisées pour l'irrigation (eau de barrage, rivière, puits maraîchers, lac). Trois répétitions ont été réalisées par mesure pour chaque source d'eau utilisée pour l'irrigation.

❖ Mesures de la tension du sol

Plusieurs outils de conduite de l'irrigation, basés sur la mesure de l'état hydrique du sol ont été mis au point. C'est notamment les outils de mesure de la teneur en eau du sol et de la tension du sol.

Parmi les méthodes de mesure de la teneur en eau du sol, les approches axées sur des prélèvements d'échantillons à différentes dates suivis d'analyse ultérieure de la quantité d'eau qu'ils contiennent, et les mesures réalisées dans le sol en place sont les plus connues.

La méthode basée sur le prélèvement d'échantillons est la méthode gravimétrique qui utilise l'appareil de Richards et permet d'estimer l'humidité pondérale du sol. Elle a été décrite précédemment dans cette section au § « Caractéristique hydrodynamique des sols ». Rieul et Ruelle (2003) relèvent que cette méthode comporte un certain nombre d'inconvénients qui peuvent gêner son utilisation, surtout en milieu paysan.

En effet, cette méthode est jugée, entre autres, lourde et destructrice (du fait des difficultés à réaliser parfois le sondage, du nombre important d'échantillons à prélever, des analyses de laboratoire à faire, etc.) et présenterait également des risques de perturbation du milieu analysé du fait surtout des piétinements.

Concernant les méthodes de mesure de la teneur en eau dans le sol en place, la sonde à neutron permettant de déterminer l'humidité neutronique de profondeur et la méthode TDR (Time Domain Reflectometry) sont présentées comme les plus utilisées.

L'utilisation de ces appareils pour les mesures de profondeur serait délicate et nécessiterait préalablement un travail d'étalonnage (Rieul et Ruelle, 2003).

Quant à la mesure de la tension du sol, elle est un moyen pratique pour évaluer l'évolution de l'état hydrique du sol et apprécier la rationalité des approvisionnements en eau des parcelles sous irrigation. Cette approche permet d'apprécier l'opportunité de commencer ou de renouveler les arrosages.

Les tensiomètres sont relativement moins coûteux, robustes et facile d'utilisation.

L'inconvénient majeur de la tensiométrie est que les mesures ne sont généralement pas significatives en dessous de 10 kPa (Rieul et Ruelle, 2003).

Ainsi, pour apprécier la pertinence du calendrier d'irrigation des producteurs, la tension du sol de parcelles irriguées a été suivie sur trois sites à l'aide de tensiomètres à bougie poreuse. Le choix du tensiomètre à bougie poreuse se justifie par sa fiabilité, sa simplicité d'usage par les producteurs eux-mêmes. Les sites de Mogtêdo, de Savili et Dêbé/AMVS ont été choisis pour cet essai qui permettra d'alimenter la discussion sur l'efficacité des calendriers d'irrigation des producteurs.

Le choix du périmètre de Dêbé/AMVS qui fait partie intégrante du grand périmètre de la Vallée du Sourou, alimenté par motopompe à partir de la dérivation des eaux du Fleuve Sourou, vise à établir une comparaison de la rationalité des irrigations entre les petits périmètres gravitaires sans pompage et les grands périmètres alimentés par motopompe.

Les mesures ont été réalisées à 30 cm de profondeur, zone de grande concentration racinaire et à 60 cm horizon, pouvant être exploré par les racines de certaines cultures comme le maïs et zone de percolation pour les cultures dont le système racinaire est peu profond.

Sur 3 parcelles de 0,25 ha chacune, choisies sur chacun des 3 sites (Mogtédou, Savili et Débé), (07) tensiomètres y ont été placés.

Les mesures ont été relevées tous les soirs à partir de 16 heures.

1.3.2.4 Evapotranspiration potentielle (ETp) et évapotranspiration de la culture (ETc)

Les données climatiques moyennes décennales (précipitations, températures minimales et maximales, humidités relatives, vitesses du vent et durées d'insolation) d'une série de 30 ans (1980-2010), obtenues auprès de la Direction Générale de la Météorologie du Burkina ont été utilisées pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle sur base de l'équation «FAO-Penman-Monteith » définie comme suit :

$$ET_p \text{ ou } ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad (\text{Eq.2})$$

Où : ET_0 : Evapotranspiration de référence (mm jour-1)

R_n : Rayonnement net à la surface du sol (MJ m-2 jour-1)

G : Flux de chaleur du sol (MJ m-2 jour-1)

T : Température moyenne de l'air à 2 m de hauteur (°C)

u_2 : vitesse du vent à 2 m de hauteur (°C)

e_s : Pression de vapeur à la saturation (kPa)

e_a : Pression de vapeur réelle (kPa)

$e_s - e_a$: Déficit de pression de vapeur de l'air par rapport à la saturation (kPa)

Δ : Pente de la courbe de la pression de vapeur (kPa °C -1)

γ : Constante psychrométrique (kPa °C -1)

Les données relatives à la vitesse du vent utilisées ont été mesurées à une hauteur de 10 m et ont été converties à une hauteur de 2 m, en utilisant la formule de conversion de Allen et al. (1998) donné par :

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)} \quad (\text{Eq.3})$$

Où : u_2 = vitesse de vent à 2 m de hauteur par rapport au sol (m/sec)

u_z = vitesse du vent mesurée à z m au-dessus du sol (m/sec)

z = hauteur mesurée du vent par rapport au sol (m)

Cropwat 8.0 (FAO,1992) utilise Eq. (3) pour calculer ET_o . Ensuite, à partir des données de culture, l'évapotranspiration des cultures (ET_c), a été calculée à l'aide de la formule ci-après :

$$ET_c = K_c ET_o \text{ (Eq.4)}$$

Où ET_c est l'évapotranspiration des cultures (mm), K_c est le coefficient de récolte et ET_o est l'évapotranspiration de référence (mm).

1.3.2.5 Indicateurs de performances

De nombreux indicateurs sont proposés dans la littérature pour l'évaluation des performances des périmètres irrigués (Merriam et Keller, 1978 ; Walker, 1999 ; IWMI, 1997; van Halsema et Vincent, 2012 ; Lankford, 2012). Cependant, les indicateurs de performance sont perçus et définis différemment (Kambou et al., 2014).

À l'échelle de la parcelle, les indicateurs utilisés pour mesurer la performance d'un système d'irrigation sont l'efficacité d'application, la productivité de l'eau et l'uniformité.

L'uniformité concerne la distribution de l'eau (dans les raies, les planches ou bassins). Pour cet indicateur, Merriam et Keller (1978) proposent que cette distribution soit définie comme le rapport entre la dose minimale moyenne infiltrée et la dose moyenne infiltrée:

$$UD = \frac{\bar{D}_{inf,min}}{\bar{D}_{inf}} \text{ (Eq. 5)}$$

UD = uniformité de distribution ; \bar{D}_{inf} = dose moyenne infiltrée ; $\bar{D}_{inf,min}$ = dose minimale moyenne infiltrée.

La dose minimale moyenne infiltrée se calcule en prenant la moyenne du quart inférieur de toutes les valeurs de doses infiltrées obtenues au niveau de la raie.

L'efficacité d'application (E_a) est définie selon les auteurs d'une part comme le rapport de l'évapotranspiration de la culture (ET_c) à l'eau appliquée (ea) (Bos et Nugteren, 1990 ; van Halsema et Vincent, 2012) et d'autre part comme le rapport des besoins bruts d'irrigation (GIR) à la parcelle sur l'eau appliquée (ea) (Lankford, 2012):

$$E_a = \frac{ET_c}{ea} 100 \text{ (Eq. 6)}$$

E_a = efficacité d'application ; ET_c = évapotranspiration réelle ; ea = eau appliquée ;

La productivité de l'eau (P_c) a été définie comme le rapport entre le rendement de production (P) et la quantité d'eau appliquée (Playán et Mateos, 2006; Flexas et al. 2010):

$$Pc = \frac{P}{ea} \text{ (Eq. 7)}$$

Pc = productivité de l'eau ; P = production ; ea = eau appliquée

Pour cette étude, Ea a été estimé en utilisant Eq. (6) et la productivité de l'eau en utilisant Eq. (7). La quantité d'eau appliquée a été mesurée en utilisant la profondeur d'eau moyenne appliquée par irrigation, fréquence d'irrigation et cycle de culture. ETc a été calculé dans Cropwat en utilisant ETo et les coefficients de culture.

1.3.2.6 Approche de modélisation des besoins en eau des cultures et des calendriers d'irrigation optimum

Cropwat 8.0 (FAO 1992) qui permet l'évaluation des besoins en eau des cultures et l'élaboration des calendriers culturaux et qui a connu de nombreuses applications à l'échelle de la parcelle (Nazeer, 2009; Bana et al., 2013; Ayu et al., 2013) a été utilisé.

La stratégie de gestion de l'irrigation utilisée dans Cropwat était basée sur le calendrier d'irrigation et l'application de l'irrigation. L'option utilisée dans Cropwat était «irriguer à l'épuisement critique». Pour l'irrigation, l'option utilisée dans Cropwat était la suivante: «irriguer à la capacité au champ».

Les dates de plantation et le cycle des cultures ont été obtenus par l'enquête et le suivi. Les coefficients culturaux ont été ajustés à l'aide de la formule de Allen et al., (1998). Les taux d'infiltration constants journaliers et les capacités de rétention en eau du sol mesurés ont été utilisés.

Pour l'évaluation de l'ETc, étant donné que le site de l'étude est situé dans une zone aride, afin de prendre en compte l'impact relatif du climat et de la hauteur de la culture sur kc, les coefficients de culture (kc) pour les conditions climatiques standards ont été utilisés et ajustés avec la méthode présentée par Allen et al. (1998) (Tableau 2). Des corrections ont été apportées à Kc au stade de mi-saison (Kc mid) et à kc au stade de fin de saison (Kc end) comme :

$$K_{c \text{ midc}} = K_{c \text{ mid}} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(HR_{\min} - 45)] (h/3)^{0,3} \text{ (Eq.8)}$$

$$K_{c \text{ endc}} = K_{c \text{ end}} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(HR_{\min} - 45)] (h/3)^{0,3} \text{ (Eq.9)}$$

Où Kc midc est la valeur corrigée de Kc au stade de mi-saison de la culture, Kc endc est la valeur de Kc corrigée au stade de fin de campagne, Kc mid est la valeur de Kc au stade de milieu la saison de la culture pour les conditions climatiques standard de la zone sub-humide, Kc end est la valeur de Kc au stade de fin de campagne de la culture pour les conditions climatiques standard de la zone subhumide, u_2 est la valeur moyenne de la vitesse du vent quotidienne à 2 m (m. sec-1) pour des valeurs comprises entre 1 ms-1 et 6 m s-1, HR_{\min} est la moyenne de la valeur de l'humidité relative minimale quotidienne (%) pour des valeurs comprises entre 20 % et 80 %, h est la hauteur moyenne des plantes au stade de la fin du cycle de culture (m). Les valeurs de Kc converties utilisées sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Coefficients culturaux

Crop	K_c	$K_{c\text{ ini}}$	$K_{c\text{ mid}}$	$K_{c\text{ end}}$
Maïs	k_c en région subhumide et en conditions sans stress	0,3	1,2	0,35
	Valeurs corrigées de K_C	0,3	1,30	0,49
Oignon	k_c en région subhumide et en conditions sans stress	1,05	0,75	0,4
	Valeurs corrigées de K_C	0,70	1,06	1,06
Haricot vert	k_c en région subhumide et en conditions sans stress	0,5	1,05	0,90
	Valeurs corrigées de K_c	0,5	1,11	0,98

K_c =coefficient cultural, $K_{c\text{ ini}}$ = K_c au stade initial de croissance de la culture, $K_{c\text{ mid}}$ = K_c mid est la valeur de K_c au stade de mi-saison de la culture, $K_{c\text{ end}}$ = est la valeur de K_c au stade de fin de saison de la culture

Les taux d'infiltration de base mesurés et la capacité de rétention en eau du sol ont été utilisés pour élaborer des calendriers d'irrigation. Pour chaque site, la somme de la capacité de rétention en eau des trois couches de sol a été considérée, afin de prendre en compte la profondeur moyenne d'enracinement des cultures concernées par l'étude. Allen et al., (1998) ont estimé la profondeur d'enracinement du maïs entre 100 et 170 cm, l'oignon entre 30 et 60 cm et les haricots verts entre 50 et 70 cm.

1.3.2.7 Variabilité climatique

L'appréciation de la variabilité climatique a été réalisée à l'aide de données auxiliaires à partir d'une série de données chronologiques de température, de pluviométrie et de l'ETP de 1980 à 2010, obtenues auprès de la Direction Générale de la Météorologie du Burkina Faso. L'analyse de la variabilité climatique a été basée sur l'exploration de la tendance, en utilisant les indices pluviométriques, l'approche du Cusum (Tam, 2009) et le lissage.

2.

**Contexte climatique, ressources en eau et
développement de l'irrigation au Burkina
Faso**

2. Contexte climatique, ressources en eau et développement de l'irrigation au Burkina Faso

2.1 Contexte général du climat du Burkina Faso

Le Burkina Faso a un climat tropical sec (Albergel et al., 1985 ; Sivakumar et al., 1987), caractérisé par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison des pluies qui couvre 5 à 6 mois, de mai à novembre. Ce climat se subdivise en trois grandes zones climatiques (Figure 1) qui sont :

- **la zone sahélienne**, située au Nord du 14^e parallèle caractérisé par un climat quasi-désertique et une pluviométrie annuelle moyenne variant entre 400 et 600 mm ;
- **la zone nord-soudanienne**, comprise entre 11°30' et 14° latitude Nord, avec une pluviométrie relativement plus importante variant en moyenne entre 600 et 900 mm par an ;
- **et la zone sud-soudanienne**, située au Sud de 11°30' latitude Nord, la mieux arrosée avec une pluviométrie moyenne annuelle fluctuant entre 900 à 1200 mm.

Dans toutes ces zones climatiques, la pluviométrie est caractérisée par de fortes variabilités interannuelles et spatio-temporelles, des pluies torrentielles avec de fréquentes poches de sécheresse. Par ailleurs, des études relèvent une tendance à l'aridification du climat du nord au sud accentué par le phénomène du changement climatique, caractérisé par le mouvement des isohyètes du nord au sud. En effet, pour la décennie (1970-1980), Albergel et al., (1985) soutiennent une descente en latitude des isohyètes de presque deux degrés et une diminution de la période de croissance végétale de 20 à 30 jours.

La Direction Générale de la Météorologie du Burkina (DGM, 2010) fait le même constat de la migration des isohyètes du nord au sud sur la période de 1961 à 2010 comme l'indique la figure 2.

Ces variations climatiques impactent sur les performances de l'agriculture burkinabé, qui est essentiellement pluviale. A titre d'exemple, la campagne agricole de saison humide 2007-2008 a été caractérisée par un arrêt brutal des pluies au début du mois de septembre et a occasionné une baisse de 16 % et de 11 % de la production céréalière, respectivement par rapport à la campagne 2006-2007 et à la moyenne des cinq dernières campagnes précédentes (DSA, 2008).

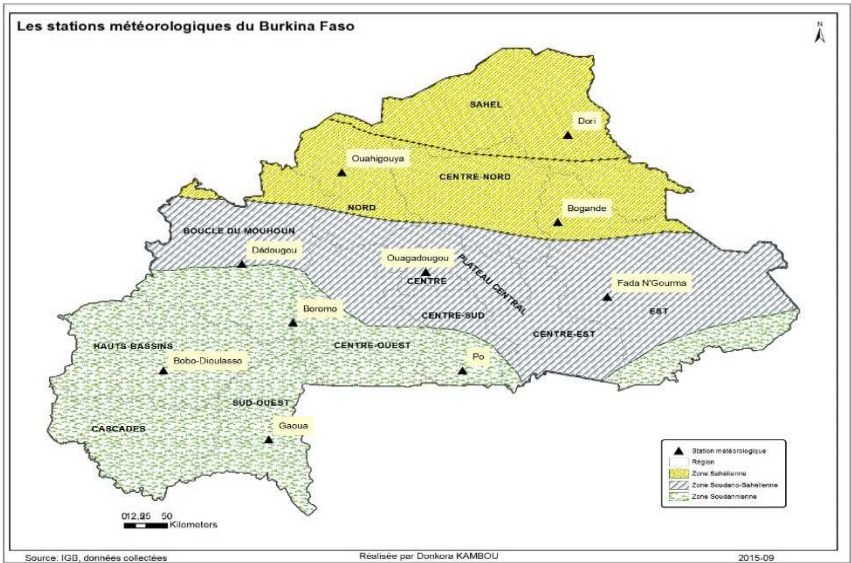


Figure 1 : Zones climatiques, stations météorologiques

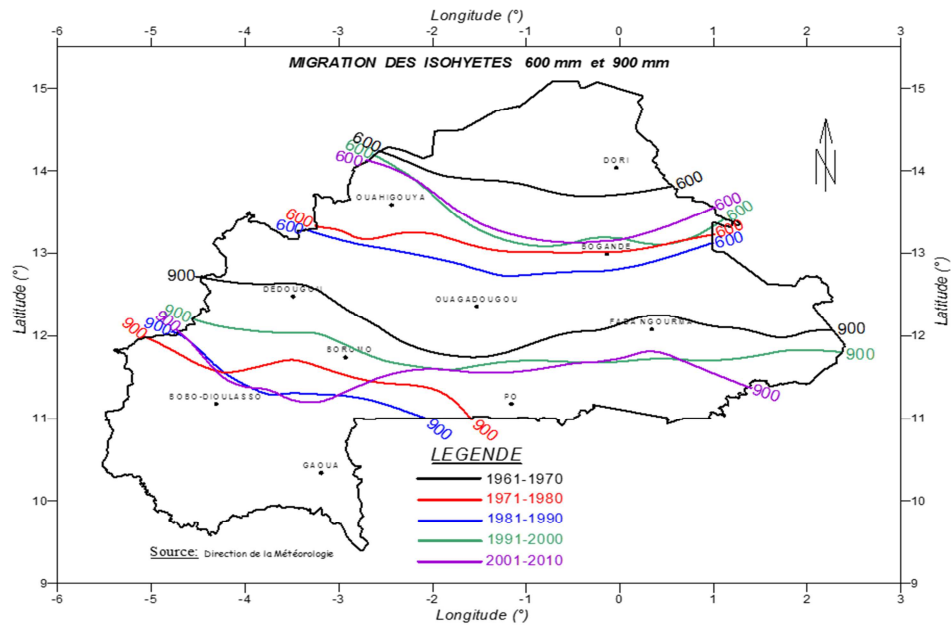


Figure 2 : Migration des isohyètes 600 mm et 900 mm du fait du changement climatique

Par rapport aux prévisions de la même campagne, la baisse de la production céréalière due essentiellement aux mêmes effets, est estimée à 17 %, alors qu'en année normale, l'écart entre les prévisions et les résultats définitifs avoisine 5 %. Plus récemment, la campagne agricole 2017-2018 au Burkina Faso a enregistré un déficit céréalière de 477 448 tonnes (DGESS, 2017). En effet, la production céréalière définitive de la campagne agricole 2017-2018 a été estimée à 3 607 967 tonnes contre des besoins estimés à 4 085 415 tonnes. Cette production enregistre une baisse respective de 11,03 % et de 11,65 % par rapport à la campagne agricole précédente et par rapport à la moyenne des 5 dernières années. Ces baisses s'expliquent en partie par une baisse globale des rendements de toutes les spéculations, négativement affectées par les longues séquences sèches, l'arrêt précoce des pluies, mais aussi dans une certaine mesure par l'attaque de la chenille légionnaire et des oiseaux granivores (DGESS, 2017).

Les superficies annuellement exploitées au Burkina Faso sont estimées à environ 5 400 000 ha (MAH, 2012), dont moins de 1% est sous irrigation. Pour Albergel et al., (1985) la majorité des déficits céréalières vécus au Burkina sont liés à des périodes climatiques défavorables.

Face à ce contexte, le développement de l'irrigation apparait comme une alternative pour sécuriser et intensifier la production agricole. Aussi, une meilleure connaissance de l'environnement climatique s'avère-t-elle nécessaire pour une bonne planification de la production agricole, fut-elle pluviale ou irriguée. La présente analyse se situe dans ce contexte et vise à examiner les tendances pluviométriques actuelles dans les trois grandes zones climatiques du Burkina et à discuter des options d'une meilleure planification et sécurisation de la production agricole, notamment irriguée. Elle s'intéressera à l'évolution tendancielle de la pluviométrie et de l'évapotranspiration potentielle (ETP).

2.1.1 Méthodes d'analyses de la variabilité climatique

Les méthodes d'analyse de la variabilité climatique les plus utilisées sont basées sur l'exploration de la tendance.

❖ L'indice pluviométrique

Il est aussi connu sous le nom d'indice centré réduit et exprime le rapport de l'écart à la moyenne sur l'écart type des hauteurs pluviométriques annuelles.

$$I_p = (x_i - \bar{x}) / E \quad (\text{Eq.10})$$

Avec :

- x_i , hauteurs de pluie précipitée au cours de l'année i ;
- \bar{x} , hauteurs annuelles moyennes de pluie au cours de la période considérée ;
- E , écart type des hauteurs pluviométriques annuelles au cours de la période considérée.

L'indice pluviométrique permet de détecter les années excédentaires et déficitaires par rapport à la pluviométrie d'une année normale¹. Cette méthode a été utilisée par Kassin (2008) pour orienter la replantation cacaoyère dans le Centre Ouest de la Côte d'Ivoire.

❖ L'approche du Cusum

Le cusum ou cumulated Sum (Tam, 2009) s'exprime par :

$$\text{CUSUM}(j) = \sum X_i - jM \quad (\text{Eq.11})$$

Il consiste à calculer successivement :

- la moyenne arithmétique M d'un certain nombre de valeur (exemple le premier tiers ou la première moitié de la série) ;
- les valeurs cumulées $\sum_{i=1} X_i$ des grandeurs physiques de la série de données ;
- le CUSUM (j), en soustrayant de la j^{ème} somme cumulée j fois la moyenne M ;
- et à représenter graphiquement le CUSUM (j) en ordonnée et le temps (t) en abscisse.

Si CUSUM (j) est nul ou proche de zéro (axe des abscisses), cela signifie que

$X_i = f(t)$ est stable.

Si CUSUM (j) se décale fortement de zéro, cela signifie que $X_i = f(t)$ est instable.

❖ Le lissage

C'est une méthode qui permet de supprimer le bruit aléatoire (composante aléatoire) d'une série chronologique et consiste à déterminer un point à partir d'un groupe de n points situés de part et d'autres, en donnant à chacun de ces points, des poids bien choisis. Le groupe de points doit comprendre un nombre impair de points (n impair) pour permettre le centrage des résultats.

Les techniques de lissage par Moyenne mobile ou glissante (méthode de lissage qui consiste à donner aux n points, des poids égaux et à calculer la moyenne arithmétique) et le lissage simple quadratique et cubique (les poids donnés aux mesures sont identiques) sont les plus utilisées.

Ces méthodes s'appuient toutes sur l'exploration de la tendance et présentent beaucoup de similarités. Pour cette analyse, la méthode des indices pluviométriques qui permettent d'apprécier l'occurrence des années humides et sèches et celle du cusum, qui donne le mouvement de la tendance, ont été utilisées.

¹ « L'année normale » est défini par la Direction Générale de la Météorologie du Burkina comme étant la moyenne arithmétique d'une série chronologique de données pluviométriques sur 30 ans pour une station donnée.

❖ Données climatiques

Les données climatiques utilisées sont une série chronologique de données de la pluviométrie, de l'ETP et de la température, couvrant la période de 1980 à 2010 et issues des 10 stations synoptiques du Burkina, réparties dans les trois zones climatiques dont 3 dans la zone Sahélienne, 4 dans la zone Nord-soudanienne et 3 dans la zone Sud-soudanienne (cf. Figure 1). Ces données ont été obtenues auprès de la Direction Générale de la Météorologie Nationale du Burkina.

2.1.2 Commentaires et discussion sur la variabilité climatique du Burkina

2.1.2.1 Pluviométrie et évapotranspiration

❖ Cas de la zone Sahélienne

La figure 3 montre une pluviométrie concentrée sur 6 mois dans l'année, entre mai et octobre avec août comme le mois le plus pluvieux (182 mm pour le mois d'août).

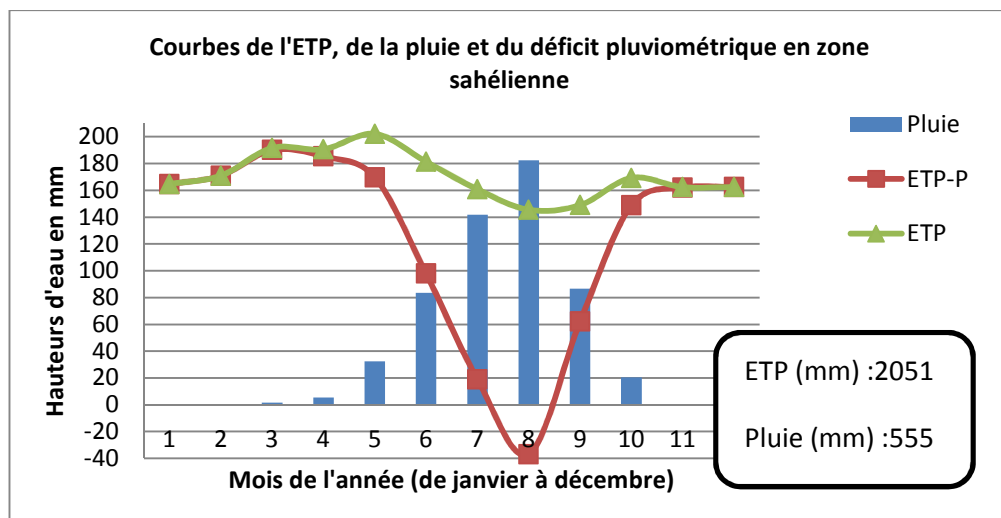


Figure 3 : Evolution de l'ETP, de la pluviométrie et du déficit pluviométrique en zone sahélienne (Période de 1980-2010)

Le déficit pluviométrique (ETP-P) est inférieur ou égal à zéro seulement pour le mois d'août. Théoriquement, c'est pendant ce mois que les quantités d'eau tombées suffisent à compenser l'évapotranspiration. Pour le mois de juillet, il y a une tendance à l'équilibre entre ETP et pluviométrie. Cette situation pluviométrique indique que l'activité de production agricole, sur base stricte de la pluviométrie, est très risquée surtout pour les cultures ayant un cycle de plus de deux mois.

Dans cette zone, sur les 555 mm de pluie qui tombent par an, 89 % des pluies tombent entre juin et septembre et les pluies mensuelles ≥ 100 mm représentent 59 % et se concentrent entre juillet et août. La période humide est relativement courte et intense.

La sécurisation de la production agricole dans cette zone nécessite non seulement l'utilisation de variétés précoces mais aussi la pratique de l'irrigation d'appoint et des techniques de conservation des eaux et des sols. Les semis peuvent intervenir dès mai si des techniques de conservations des eaux et des sols et d'irrigation d'appoint sont mises en place.

Les indices pluviométriques (figure 4) montrent un caractère aléatoire du régime pluviométrique, avec une alternance de périodes excédentaires et déficitaires. Cette situation compromet la bonne croissance et le développement normal des cultures conduisant très souvent à une perte totale ou partielle des récoltes.

On observe des périodes déficitaires (sèches) continues de 1982 à 1987 et de 1989 à 1990. Les périodes excédentaires à normales continues, vont de 1991 à 1992, de 1994 à 1999 et de 2007 à 2011. Les années excédentaires sont légèrement plus nombreuses que les années déficitaires et représentent 53 %.

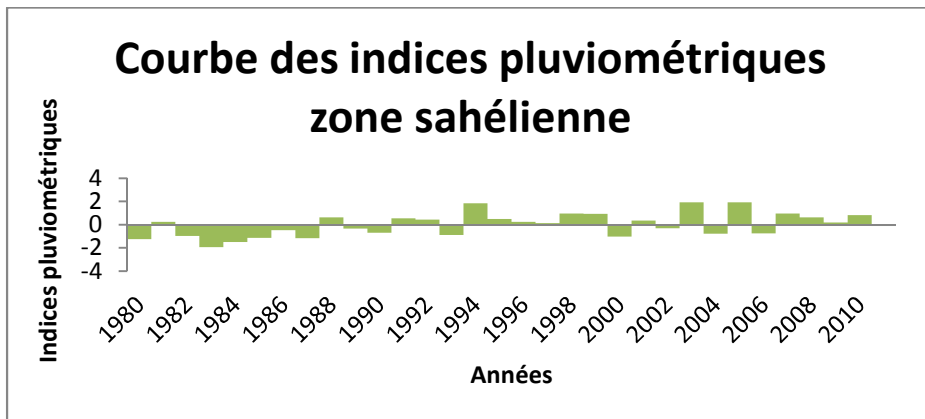


Figure 4 : Indices pluviométriques en zone Sahélienne sur la période de 1980 à 2010

❖ Cas de la zone sahélo-soudanienne

Dans cette zone (figure 5), la pluviométrie moyenne est de 760 mm par an. La période pluvieuse va de mai à octobre avec des événements pluvieux mensuels ≥ 100 mm couvrant les mois d'août à septembre. Les pluies qui tombent au cours de cette période représentent 84 % de la pluviométrie annuelle de la zone. Des événements pluvieux peu significatifs (cumul mensuel inférieur à 10 mm) sont observés sur le reste de l'année. Sur la période pluvieuse (mai à octobre), le déficit pluviométrique (DP) est inférieur ou égal à zéro pour les mois de juillet à septembre.

Théoriquement, c'est pendant cette période que les quantités d'eau tombées suffisent à compenser l'évapotranspiration. La compensation du déficit pluviométrique pour les périodes de mai à juin et octobre nécessite également la mise en place de l'irrigation de complément pour la pratique de l'activité agricole.

L'agriculture dans cette zone doit cibler des cultures à cycle court, de trois mois à mettre en place à partir de juillet. En dehors de la période de juillet à septembre, toute activité de production agricole de saison humide sans irrigation de complément est risquée.

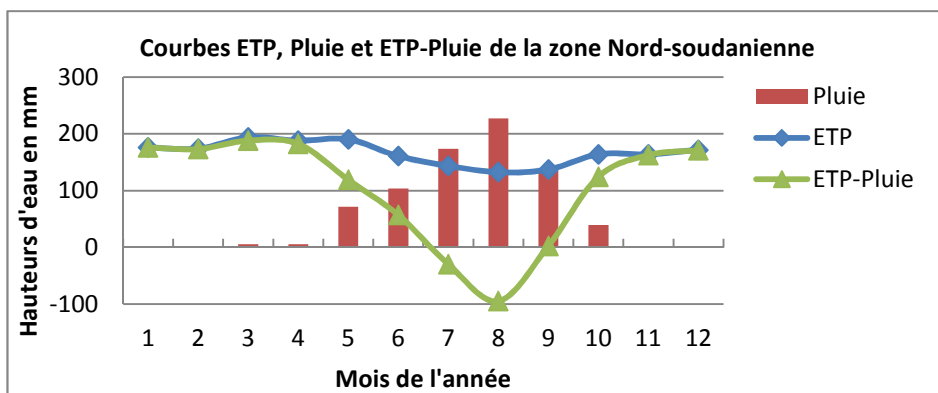


Figure 5 : Evolution de l'ETP, de la pluviométrie et du déficit pluviométrique en zone nord-soudanienne (période de 1980-2010)

Pour cette zone, les indices pluviométriques (figure 6), montrent également un caractère aléatoire du régime pluviométrique avec une alternance de périodes excédentaires et déficitaires. Les années déficitaires se dégagent assez nettement et représentent 59 %, mais restent diffuses dans la période.

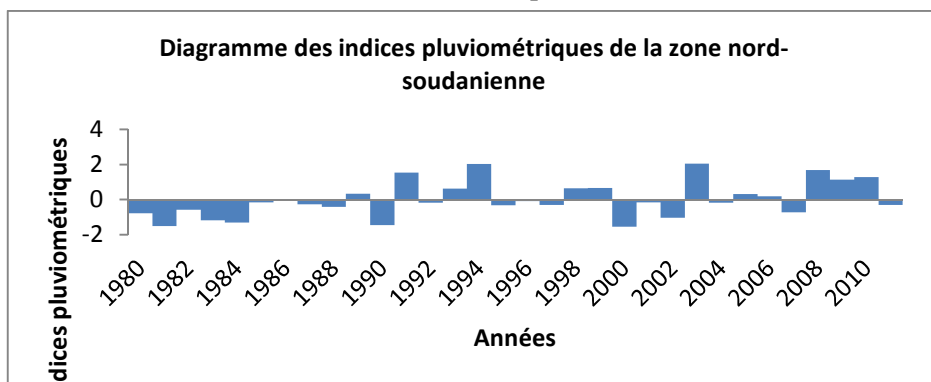


Figure 6 : Indices pluviométriques en zone nord-soudanienne sur la période de 1980 à 2010

❖ Cas de la zone Sud-soudanienne

La zone sud-soudanienne (figure 7) est la plus pluvieuse avec un cumul annuel de plus de 1000 mm. Comme dans les autres zones climatiques, le mois d'août est le plus pluvieux avec un cumul de 259 mm. Les pluviométries supérieures à 100 mm par mois couvrent les mois de juin, juillet, août et septembre et représentent 84 % de la pluviométrie annuelle. Le déficit pluviométrique est pratiquement nul ou inférieur à zéro pour ces 4 mois. Avec des cumuls mensuels de pluviométrie supérieurs à 100 mm et un déficit pluviométrique nul à négatif sur quatre mois, cette zone présente de meilleures conditions de production. Les cycles des cultures peuvent être plus longs. Mais par mesure de prudence, l'irrigation de complément peut être envisagée.

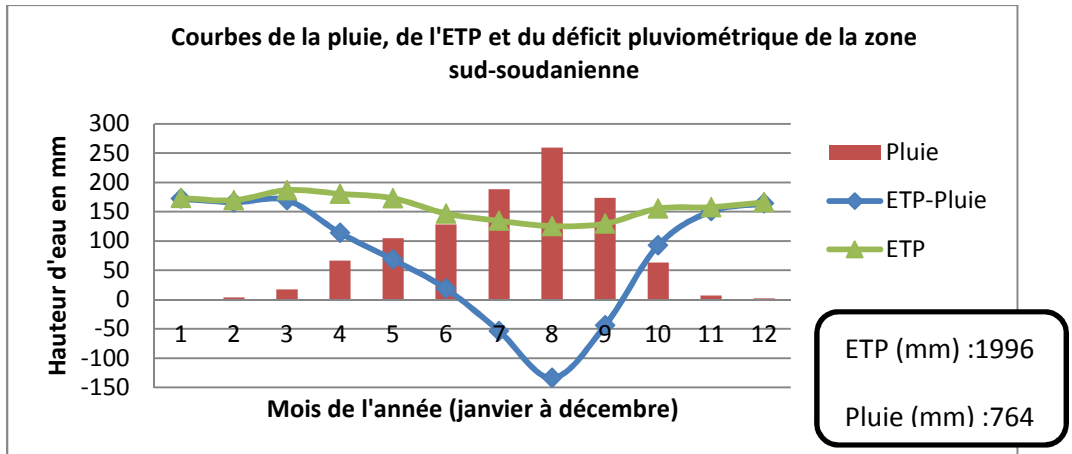


Figure 7 : Pluviométrie, ETP et déficit pluviométrique en zone sud-soudanienne (Période de 1980-2010)

Dans cette zone, les indices pluviométriques (Figures 8) indiquent aussi une répartition aléatoire mais équilibrée des années excédentaires et déficitaires. Une année sur deux est excédentaire ou déficitaire par rapport à la moyenne. Ainsi, bien que des quantités d'eau relativement importantes tombent chaque année, le risque d'inondation et/ou de poches de sécheresse reste préoccupant.

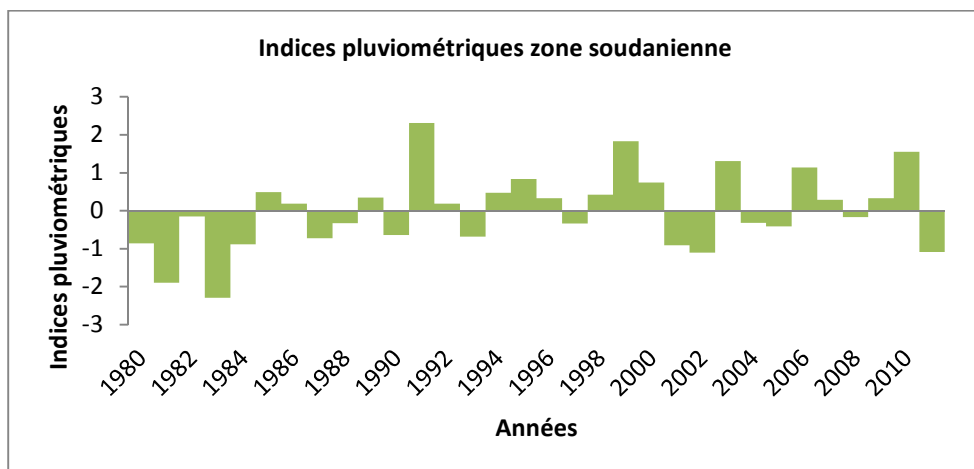


Figure 8 : Indices pluviométriques en zone sud-soudanienne (Période de 1980-2010)

2.1.2.2 Courbes de températures et du cusum.

❖ Courbes des températures

La figure 9 donne les courbes des températures minimales (16-21 °C) et maximales 30 et 41°C) dans les trois zones climatiques au cours de l'année. Elles présentent globalement la même distribution, de type bimodale avec les premiers minima de température en décembre-janvier.

Ces températures montent rapidement pour atteindre un pic en mars (pour la zone soudanienne) et avril (pour les deux autres zones) puis chutent au cours de la saison humide, atteignant leur minima en août. Elles remontent de nouveau pour se plomber en octobre avant de redescendre vers des valeurs minimales en décembre.

Les températures sont particulièrement élevées en avril, ce qui a pour conséquence une évapotranspiration également élevée. Dans ce contexte, l'irrigation étant essentiellement gravitaire au Burkina, irriguer au cours de ce mois engendrera une grande consommation du fait de la forte évaporation de l'eau du sol et évapotranspiration des cultures avec éventuellement des risques de brûlures des cultures.

Néanmoins, le plan de production irriguée peut être élaboré, de sorte à faire coïncider la période de fin de production de saison sèche avec le mois d'avril. Par ailleurs, il est aussi possible de conduire la production irriguée au cours de ce mois, mais en adaptant les périodes d'irrigation au moment où le sol est le moins chaud possible, notamment dans la matinée avant la montée du soleil. Il ne serait pas prudent d'irriguer le soir, du fait de la persistance de la chaleur emmagasinée dans le sol. L'autre stratégie serait d'utiliser le système d'irrigation goutte à goutte qui libèrera directement et progressivement l'eau au pied de la plante.

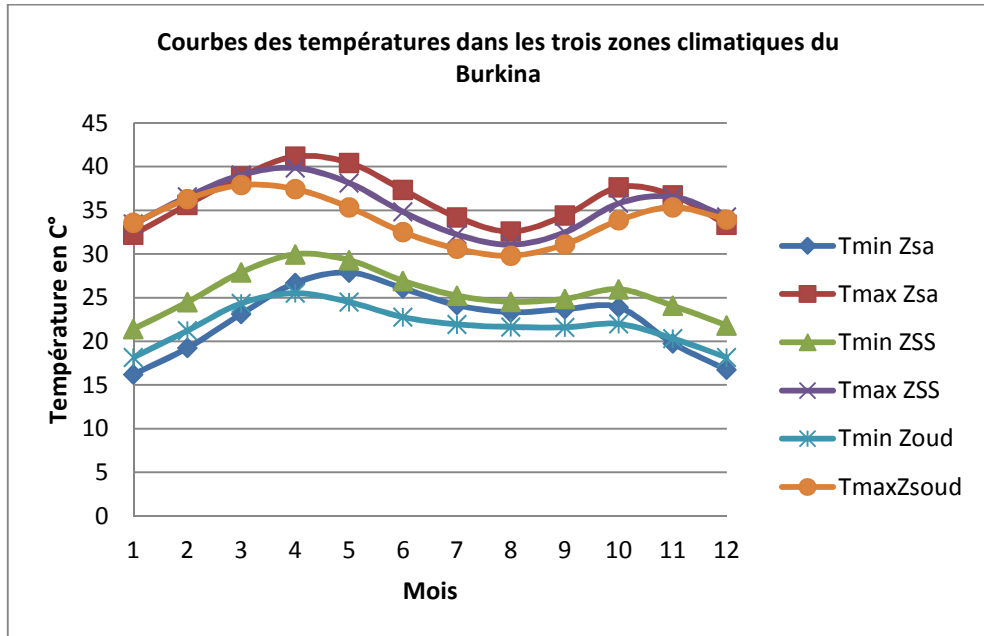


Figure 9 : Courbes des températures de la période de 1980 à 2010

❖ Courbes Cusum

Les courbes Cusum (figure 10) montrent un pic négatif au début des années 1980, indiquant des années de sécheresses suivies d'une période de stabilité entre les années 1985 et 1990. A partir des années 1992, l'allure des courbes devient ascendante, traduisant une tendance à l'augmentation des pluies avec des années excédentaires.

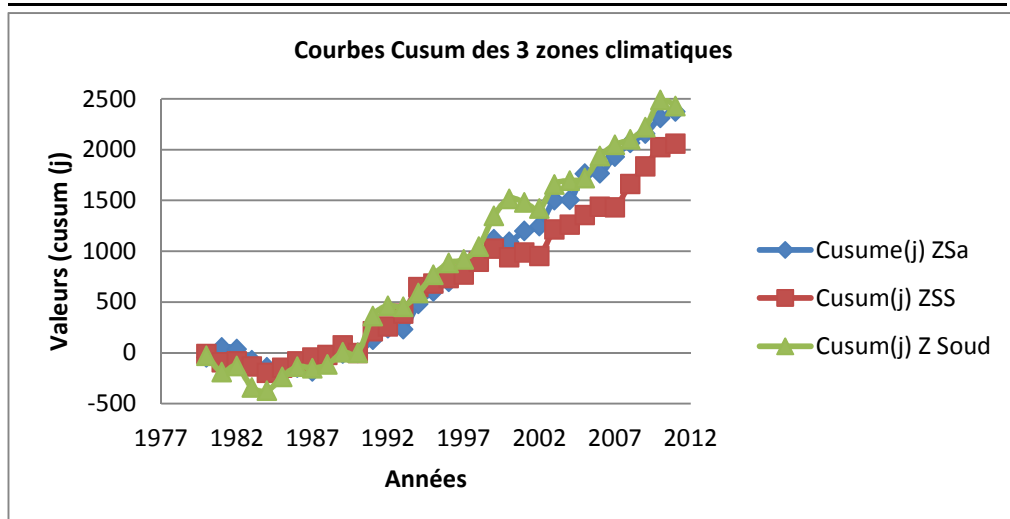


Figure 10 : Courbes cusum (période de 1980-2010)

Le rapport sur l'état des lieux des ressources en eau au Burkina (MEE, 2001) indique pour la période de 1902 à 1959, une tendance globale des précipitations à la baisse entre les années 1960 et 2000, avec des périodes de sécheresse dans les années 1980 et une période d'amélioration entre 1985 et 1995.

La carte d'évolution des isohyètes (figure 2) (DGM, 2010) montre une migration des isohyètes du nord vers le sud, accentuée sur la période de 1961 à 1990 avec une légère tendance à la remontée entre 1991 et 2010. Cette migration des isohyètes serait selon la DGM, un des indices du phénomène du changement climatique au Burkina Faso.

Malgré la migration des isohyètes du nord vers le sud, il apparaît que le niveau global des précipitations est en augmentation ces dernières années. Le problème des précipitations se situerait dans leur répartition dans l'espace et le temps avec une tendance à la concentration des pluies dans le temps, plus intenses et donc plus érosives pour le sol.

Cette analyse montre qu'il tombe globalement des quantités d'eau relativement importantes au Burkina. Cependant, la répartition de cette eau dans le temps et dans l'espace ne permet pas de garantir une bonne campagne agricole de saison humide. La mise en œuvre de techniques de collecte des eaux de ruissellement et la pratique de l'irrigation d'appoint permettraient de sécuriser une partie des productions de saison humide. Les plans de production devraient également tenir compte du mois d'avril, au cours duquel il fait particulièrement chaud.

Cette analyse confirme la nécessité de développer l'irrigation pour une meilleure sécurisation de la production agricole. L'existence d'un nombre important de petits réservoirs devrait permettre de mobiliser suffisamment de ressources en eau pour les besoins d'irrigation.

2.2 Ressources en eau du Burkina

Les ressources en eau du Burkina Faso proviennent principalement des eaux de pluie. Elles sont drainées en surface par 4 bassins hydrographiques et/ou s'infiltrent dans les aquifères du socle cristallin et sédimentaire. En année moyenne, les écoulements représentent 3,6 % des précipitations et les infiltrations 15,6 %.

Selon les estimations faites en 2001 dans le document « Etat des lieux des ressources en eau et leur cadre de gestion », le volume moyen des précipitations est estimé à 206,9 milliards de m³ dont :

- 8,79 milliards de m³ d'écoulement ;
- 32,4 milliards de m³ d'infiltration ;
- 165,9 milliards de m³ d'évaporation ;
- et 113 milliards de m³ en eau souterraine.

Le Burkina Faso dépendrait essentiellement des eaux de surface avec des ressources en eau renouvelables, utilisables estimées à 4,75 milliards de m³ pour une année moyenne, et à 2,32 milliards pour une année très sèche.

Le rapport sur l'état des lieux des ressources en eau mentionne que la demande en eau totale du Burkina est estimée 2 500 millions de m³/an, dont 80% au titre de l'hydroélectricité et les 20 % (soit 505 millions de m³/an) restant en faveur de la demande consommatrice. Cette demande consommatrice se répartit principalement et respectivement dans les secteurs de l'irrigation (64 %), les besoins domestiques (21 %), l'élevage (14 %) et les autres usages (1 %) [dont les mines et l'industrie].

La demande consommatrice représente 10,6 % des ressources renouvelables en année normale et monte à 54,6 % quand on y ajoute la demande hydroélectrique. Par rapport à l'indice de stress de l'UNESCO, qui estime qu'un état de stress hydrique élevé est atteint lorsque plus de 40 % des ressources disponibles sont utilisées, le Burkina Faso est globalement en état de pénurie. De ce fait, les modes actuels d'utilisation risquent de ne pas être viables et la rareté de l'eau limitera la croissance économique.

Pour les eaux souterraines, les possibilités d'exploitation sont très limitées du fait de la profondeur généralement excessive des aquifères. Du reste, le rapport sur l'état des lieux des ressources en eau au Burkina (MEE, 2001) estime qu'il n'existe pas de ressource souterraine utilisable dans la situation climatique actuelle et suggère dans la logique d'une gestion durable des ressources en eau, la non-utilisation des eaux souterraines, sous peine d'aggraver encore la baisse des nappes avec des risques concomitants pour l'environnement.

2.3 Développement de l'irrigation au Burkina Faso

L'introduction de l'irrigation au Burkina remonte à la période coloniale. En effet, les premières cultures produites en dehors de la saison humide ont été réalisées au Burkina dans les années 1920, par les missions catholiques de Pabré et de Bam (Zoungrana, 1998). Il s'agissait surtout de la production de légumes exotiques sur de petites superficies pour les besoins de consommation domestique des missionnaires blancs.

Au cours des années 1960, les premiers barrages en terre ont été construits et l'irrigation se résumait encore principalement au maraîchage en saison sèche (avec des moyens d'irrigation modestes comme l'utilisation des arrosoirs, des seaux et calebasses, etc.) pour approvisionner les centres urbains, mais aussi pour les besoins d'exportation de légumes, notamment pour ce qui concerne le haricot vert.

Entre 1960 et 1970, le Burkina comptait à peine une dizaine de périmètres aménagés et de barrages construits (MAHRH, 2004). L'implication forte des Autorités publiques dans le développement de stratégies de production agricole par la maîtrise de l'eau a commencé véritablement au Burkina Faso suite aux grandes sécheresses des années 1970, qui ont sérieusement affecté les productions agricoles (Aouba, 1993, Albergel et al., 1985) et induit des crises alimentaires aiguës.

Dès lors, le développement de l'irrigation par la mobilisation de l'eau, l'aménagement et la valorisation de périmètres irrigués et de bas-fonds est apparu comme une alternative porteuse pour réduire le risque climatique et accroître la production agricole au Burkina Faso.

Les aménagements réalisés étaient principalement destinés à la production du riz par des paysans colons, sous l'encadrement de techniciens de l'agriculture dont le rôle consistait à accompagner la mise en valeur et l'organisation des producteurs et des tours d'eau sur les périmètres irrigués.

A côté de ces espaces aménagés, se sont développées progressivement de petites exploitations agricoles irriguées aménagées par les paysans eux-mêmes. Ces superficies sommairement aménagées (périmètres informels) correspondent généralement à la petite irrigation privée.

A partir des années 2000, l'irrigation informelle a pris de l'ampleur. En effet, au milieu des années 90, l'Etat burkinabé a marqué son accord pour l'accompagnement des initiatives privées dans le développement du secteur de l'irrigation, notamment à travers la mise en œuvre du Projet de Développement de l'Irrigation Privée et des Activités Connexes (DIPAC), soutenue par la Banque mondiale. L'approche consistait à rendre disponible et accessible aux producteurs les technologies d'irrigation ainsi que les équipements de pompage et de transport de l'eau, y compris la mobilisation de l'eau des nappes alluviales.

En 2001, le Gouvernement Burkinabé lance le programme de développement de la petite irrigation villageoise avec pour objectif de démontrer la faisabilité d'une production agricole à grande échelle en dehors de la saison humide. Il s'agit d'opérer au sein des producteurs un changement de mentalité pour les convaincre que l'on ne doit plus attendre seulement la saison humide pour produire. A cet effet,

les équipements d'irrigation (pompes à pédales, motopompes, tuyauteries, petit matériel de compostage, semences de maïs, etc.) sont mis à la disposition des irrigants à prix subventionné.

A partir de 2002, l'engouement pour l'irrigation est très fort et les interventions sur le terrain se chevauchent. Le Gouvernement fait élaborer une stratégie nationale de développement durable de l'agriculture irriguée adoptée en 2004 et à mettre en œuvre sur la période 2004-2015.

Cette approche visait à intéresser davantage les partenaires techniques et financiers (PTF), mais aussi à disposer d'un cadre officiel de pilotage stratégique et d'harmonisation des interventions dans le domaine de l'irrigation. Ces dernières années, l'Etat burkinabé fait la promotion des agropoles et encourage les investisseurs privés à s'intéresser à la production agricole irriguée. C'est le cas du pôle de croissance de Bagré pour lequel une zone d'utilité publique a été dégagée à des fins de développement de l'irrigation. Par ailleurs, en 2012 le Gouvernement a adopté par le décret n°2012-704/PRES/PM/MAH/MEF/MATDS/MEDD/MRA du 06 septembre 2012, un cahier général des charges pour l'aménagement, l'occupation et l'exploitation de type entrepreneuriat agricole sur des terres aménagées ou à aménager par l'Etat ou les collectivités territoriales.

2.3.1 Typologie des aménagements hydro-agricoles et des systèmes d'irrigation au Burkina Faso

2.3.1.1 Typologie des aménagements hydro-agricoles

Dans le document de la stratégie nationale de développement durable de l'agriculture irriguée au Burkina (MAHRH, 2004), les aménagements hydro-agricoles sont regroupés en quatre grandes catégories :

❖ les grands périmètres

Au Burkina Faso, les grands périmètres se résument à la Maîtrise d'Ouvrage de Bagré (MOB), l'Autorité de Mise en valeur de la Vallée du Sourou et les périmètres de production de canne à sucre de la Société Nouvelle Sucrière de la Comoé (SN-SOSUCO).

La Maîtrise d'ouvrage de Bagré (MOB) a été créée le 25 juin 1986 par Kiti n°86-240/CNR/PRES/Eau avec un statut juridique d'Etablissement Public à caractère Administratif doté de la personnalité morale et de l'autonomie de gestion. La mission essentielle de la Maîtrise d'Ouvrage de Bagré était la mise en œuvre du Projet Bagré qui comprend un volet agricole et un volet électrique.

Le volet électrique a été bouclé avec la réalisation d'une centrale hydroélectrique d'une capacité de 16 MW. Quant au volet agricole, il concernait à terme l'aménagement et l'appui à la mise en valeur de 30 000 hectares de terre. La MOB a été transformée en Société d'Economie Mixte (SEM) et a donné naissance à la Société de Développement Intégré du Pôle de Croissance de Bagré, le 28 juin 2012.

L'Autorité de Mise en valeur de la Vallée du Sourou (AMVS) est un Etablissement Public à caractère Administratif (EPA) créée par Kiti n°86-286/CNR/PRES du 14 juin 1986. Son ambition est d'aménager et d'assurer la mise en valeur d'un potentiel irrigable de 30 000 hectares. Les pouvoirs publics Burkinabé envisagent la transformation de l'AMVS en un pôle de croissance avec le statut de Société d'Economie Mixte.

Les grands périmètres couvrent plusieurs centaines, voire quelques milliers d'hectares, d'un seul tenant et sont généralement conçus pour la riziculture.

Mais, de plus en plus, en dehors des périmètres de la SN-SOSUCO destinés exclusivement à l'exploitation de la canne à sucre, des spéculations autres que le riz sont exploitées sur les grands périmètres, notamment l'oignon et le maïs. Dans la Vallée du Sourou par exemple, les périmètres aménagés de la SOCADI (Société des Coopératives Agricoles de Di) sont soumis à la production du maïs et du blé irrigués tandis que le périmètre aménagé de Guiédougou fait beaucoup plus dans le maraîchage. De nos jours les spéculations produites sur les grands périmètres sont dictées par les tendances du marché.

La mise en valeur des grands aménagements repose essentiellement sur le paysannat.

La superficie des exploitations individuelles varie généralement de 0,5 à 2 ha, mais sur les ensembles dédiés à l'agrobusiness, les superficies attribuées peuvent excéder 10 ha. L'Etat encourage actuellement le développement de l'agrobusiness sur les grands périmètres irrigués (Vallée du Sourou et Bagré pôle de Croissance).

❖ les périmètres moyens

Les périmètres moyens correspondent à des aménagements dont la superficie est comprise entre 20 et 100 ha et sont surtout des périmètres gravitaires situés en aval de petits barrages (Mogtédou, Nagrigré, Dano-Moutori, etc.), ou des périmètres alimentés par pompage à partir de barrage, de cours d'eau, de mare, lac, etc. (Rassomdé, Zimtenga, Savili, Talembika, etc.).

Les périmètres moyens sont généralement aménagés sur initiative de l'Etat ou de ses partenaires au développement. Sur ces périmètres, l'exploitation individuelle familiale constitue le mode de mise en valeur dominant, même s'il existe aussi des exploitations coopératives. Les parcelles individuelles sont généralement de l'ordre de 0,1 à 0,25 ha.

Les grands et moyens périmètres sont de type communautaire ; l'infrastructure de production est exploitée par l'ensemble des bénéficiaires de parcelles, qui partage en commun les moyens de pompage et/ou de distribution de l'eau.

❖ *la petite irrigation*

Elle correspond aux périmètres² de moins d'un hectare à une vingtaine d'hectares. La petite irrigation peut être communautaire ou individuelle. Elle est communautaire lorsque l'investissement autorisant la production est collectif et individuelle dans le cas où l'investissement est autonome, consenti par un promoteur privé.

Dans ce dernier cas, les systèmes de mobilisation et de distribution de l'eau appartiennent au promoteur. Dans le cadre de la petite irrigation, les moyens d'exhaure de l'eau utilisés sont généralement des pompes à pédales, des petites motopompes, des puisettes, des seaux, des arrosoirs, des calebasses et divers autres récipients. Les aménagements de périmètre irrigués de type « petite irrigation » sont sommaires et peu durables.

❖ **les bas-fonds aménagés**

Ce sont des aménagements en maîtrise partielle de l'eau, développés pour la riziculture.

L'objectif d'un aménagement de bas-fond est la rétention et/ou le stockage de l'eau, le contrôle partiel des apports hydriques, la régulation de plans d'eau ou la recharge de la nappe phréatique. Ils sont mis en valeur par des exploitations familiales ou des coopératives. Les bas-fonds sont exploités en saison pluvieuse en riz et en saison sèche pour certains en cultures maraîchères. Pour les cultures de saison sèche, la mobilisation de l'eau se fait à travers des puits maraîchers et/ou des puisards.

D'après le document de bonnes pratiques (MAHRH, 2008), les modèles techniques d'aménagement de bas-fonds, les plus couramment rencontrés au Burkina sont :

- les aménagements de bas-fonds avec diguettes en terre suivant les courbes de niveau : Il s'agit de diguettes en terre compactée, implantées selon les courbes de niveau. Elles ont une hauteur de 15 à 30 cm, distantes de 15 à 50 m avec une dénivelée entre 2 diguettes consécutives de 5 à 30 cm suivant la topographie du site ;
- les aménagements de bas-fonds avec digues ou seuils déversant : Ce sont des micro-bassins de 0,1 à 0,6 m de haut. Ils visent à ralentir la vitesse de l'écoulement et à stocker l'eau des crues en amont, à une hauteur d'eau suivant le stade de croissance du riz ;

² Dans l'esprit du document de la stratégie, la petite irrigation correspond à des espaces non délimités sur lesquels des périmètres irrigués sont installés de manière éparse et désordonnée.

- les aménagements de bas-fonds avec diguettes en terre protégée : Dans ce type d'aménagement, les diguettes sont protégées avec des enrochements permettant de les stabiliser et de les prémunir contre une dégradation rapide. L'enrochement posé sur un géotextile améliore considérablement la résistance de ces aménagements face aux crues ;
- les aménagements de bas-fonds avec collecteur central : Ce type d'aménagement est muni d'un collecteur (ou drain) central dont la fonction est de réduire les effets des crues, en facilitant leur évacuation rapide. Il est dimensionné pour évacuer la crue décennale en 72 heures. A la fin de la saison des pluies, il permet de retenir les écoulements, faisant office alors de canal d'irrigation ;
- les aménagements de bas-fond avec digues filtrantes : ils sont réalisés, soit uniquement en pierres sèches dans le cas de petits bassins versants (superficie $\leq 10 \text{ km}^2$) soit en gabions dès que le débit à évacuer devient important. Ces aménagements permettent de ralentir la vitesse de l'eau dans sa course et d'étendre la nappe d'inondation sur une superficie cultivable plus grande.

Dans cette typologie, les grands périmètres, les moyens périmètres et la petite irrigation correspondent au type d'aménagement où l'apport de l'eau aux cultures est sous le contrôle de l'irrigant ; ils sont dits de ce fait « aménagements en maîtrise totale de l'eau ».

Quant aux aménagements de bas-fonds, qui dépendent exclusivement des eaux de pluie généralement à des fins de production rizicole, ils sont dits « aménagement en maîtrise partielle de l'eau ».

Les aménagements en maîtrise totale de l'eau utilisent divers systèmes d'irrigation, essentiellement basés sur les techniques d'irrigation de surface. Au Burkina Faso, les aménagements en maîtrise totale de l'eau sont généralement de type gravitaire.

2.3.1.2 Systèmes et techniques d'irrigation au Burkina

Les systèmes d'irrigation utilisés sur les périmètres irrigués comprennent :

❖ Système d'irrigation à exhaure, transport et application de l'eau par réceptifs

Pour ce système, l'eau d'irrigation est prélevée à la source à l'aide de puisettes ou de réceptifs divers (calebasses, seaux, arrosoirs) puis transportée et appliquée à la parcelle par l'exploitant à l'aide des réceptifs. C'est le système le plus répandu sur les exploitations maraîchères et surtout pour la petite irrigation (Annexe 1, figure 46).

❖ **Système d'irrigation à réseau principal et systèmes de distribution tous gravitaires**

Ce type de système s'applique dans les aménagements de périmètres en aval de barrages (Dano-moutori, Mogtédou, Bagré, Lantaogo). Dans ce cas, l'alimentation en eau du périmètre se fait à partir d'une prise en aval, qui déverse l'eau dans un canal principal, le plus souvent revêtu. (Annexe 1, figures 33 et 39).

Cette eau se répand ensuite dans des canaux secondaires, voire tertiaires et atteint finalement les parcelles de production. Ce système s'applique aussi dans le cas des prises en rivières par dérivation. Il se retrouve également dans les aménagements en amont de barrage ou aux environs d'un plan d'eau par pompage. Ainsi, l'eau est pompée de la source et refoulée dans un canal à contre-pente pour l'amener en un point haut du périmètre où elle se répand dans des canaux de distribution à ciel ouvert, revêtus ou non et coule de façon gravitaire pour desservir les parcelles de production (Rassomédi).

❖ **Système à réseau principal sous pression et système de distribution gravitaire**

Dans ce système, l'eau d'irrigation est pompée de la source, refoulée dans une canalisation enterrée et conduite sous pression à un bac de répartition placé en un point haut du périmètre d'où elle est répartie dans des canaux à ciel ouvert revêtus ou non et s'écoule gravitairement pour approvisionner les parcelles de production (périmètre de Zimtenga). (Annexe 1, figures 17, 32 et 38).

❖ **Système à réseau d'irrigation semi-californien**

Dans ce système, l'eau d'irrigation est pompée de la source et conduite dans des canalisations enterrées qui aboutissent à des bornes de distribution (partiteurs). Chaque partiteur alimente un bloc (plusieurs parcelles). Le partiteur débite l'eau dans un canal à ciel ouvert servant à alimenter les parcelles de production. Le périmètre de Savili est le plus illustratif de ce système au Burkina Faso. (Annexe 1, figures 29, 30 et 32).

Le système à réseau principal sous pression et système de distribution gravitaire, et le système à réseau d'irrigation semi-californien, peuvent s'appliquer aux grands et moyens aménagements mais aussi à la petite irrigation (moto pompage et pompage mécanique) et permettent d'alimenter les périmètres de production à l'aide de raies d'irrigation, de micro-bassins, de bassins ou de planches.

❖ **Système d'irrigation sous pression**

Ce système comprend la micro-irrigation (irrigation goutte-à-goutte et micro-aspiration) et l'aspersion. Il requiert la mise en pression de l'eau et son apport au pied de la plante (goutte-à-goutte) grâce à des lignes de goutteurs assorties de goutteurs incorporés, ou à l'aide de micro-asperseurs qui pulvérisent les cultures sur des rayons limités.

Le système d'irrigation par aspersion utilise des rampes, des asperseurs, des canons à des portées variables et plus importantes que la micro-aspersion.

La micro-irrigation est encore à ses débuts au Burkina. Les essais introductifs du système d'irrigation goutte à goutte remontent à la fin des années 1990. Il a été promu par l'ICRISAT, à travers le système Jardin Potager Africain et vulgarisé par le projet de Développement de l'Irrigation Privée et des Activités Connexes (DIPAC). Actuellement, le Ministère de l'Agriculture mobilise les partenaires techniques et financiers dans le sens de la promotion et de la diffusion de cette technologie à grande échelle. La technologie goutte à goutte connaît une application sur le périmètre agro-sucrier de Banfora avec l'utilisation du système de goutteurs enterrés. Quant à l'aspersion, elle est aussi et surtout pratiquée sur le périmètre agro-sucrier de Banfora. Quelques applications à petite échelle existent dans diverses localités et principalement sur le périmètre aménagé de Di, dans la Vallée du Sourou et à Bagré.

En 2018, selon la synthèse des informations sur l'irrigation localisée (goutte-à-goutte) au Burkina Faso (DGESS, 2018 ; MAAH, 2016) les superficies sous irrigation localisée sont estimées à environ 953 ha dont environ 600 ha de vergers réalisés avec l'appui du Projet d'Appui aux Filières Agro-Sylvo-Pastorales (PAFASP), 180 ha de canne à sucre de la Société nouvelle sucrière de la Comoé (SN- SOSUCO) et environ 170 ha de cultures maraîchères réalisés avec l'appui de projets ou sous initiative privée.

La tendance actuelle est le développement parallèle de l'irrigation localisée et non la reconversion des périmètres gravitaires en périmètres irrigués sous pression (irrigation localisée).

2.3.1.3 Mode de gestion de l'eau sur les aménagements hydro- agricoles

2.3.1.3.1 Cas des périmètres communautaires

Sur les périmètres communautaires, la distribution de l'eau se fait selon le principe de l'irrigation par tour d'eau. Les périmètres sont subdivisés en blocs ou quartiers hydrauliques, irrigués successivement selon un calendrier préétabli.

Le débit fourni par le réseau, la durée d'application de l'eau dans les quartiers hydrauliques et la périodicité des apports sont souvent déterminés d'avance, à la conception des aménagements. Mais de façon générale, les tours d'eau actuels ne correspondent plus à ceux établis à la conception des aménagements.

Sur les périmètres gravitaires sans pompage, l'ouverture de la vanne principale est assurée par un aigudier et le contrôle des vannes qui assurent la desserte des quartiers hydrauliques par le responsable du comité de gestion, conformément au programme d'approvisionnement. Les constats sur le terrain indiquent que les différents exploitants des quartiers hydrauliques sont le plus souvent absents aux heures d'irrigations, ce qui entraîne un gaspillage dans la distribution de l'eau.

Sur les périmètres communautaires gravitaires par pompage, le principe est le même ; la mise en marche de la motopompe est effectuée par le responsable du comité d'irrigant ou du comité de gestion et l'approvisionnement de plusieurs parcelles est réalisé en même temps conformément au plan d'irrigation.

Le non-respect de ce plan existe également sur les périmètres communautaires gravitaires par pompage, entraînant aussi un désordre dans la distribution de l'eau et évidemment le gaspillage d'eau.

Les débits délivrés dans le réseau d'irrigation sont variables et dépendent des capacités des équipements de pompage ou de la pression de l'eau dans le réservoir mais aussi de la capacité du transit du réseau. Les apports d'eau à la parcelle sont laissés à l'initiative de l'irrigant, qui le fait selon son expérience sans tenir compte le plus souvent des besoins réels en eau des cultures.

Les visites de terrain relèvent que les parcelles semblent recevoir l'eau en excès (Annexe 1, figures 41, 42, 43, 44 et 45). Il ressort également des visites des périmètres irrigués que les réseaux d'irrigation de la plupart des périmètres communautaires sont dégradés, enherbés et les ouvrages de comptage et de régulation de l'eau fréquemment absents ou en mauvais état de fonctionnement lorsqu'ils existent. Wellens (2009) justifie entre autres la mauvaise distribution de l'eau d'irrigation par l'absence ou le non-respect des calendriers d'irrigation, la défectuosité des ouvrages de régulation, la présence d'un seul aiguadier pour tout le périmètre. La mauvaise qualité du réseau d'irrigation et le non-respect des plans de production et de distribution de l'eau est une preuve d'un déficit organisationnel des irrigants, ce qui constitue une entrave réelle à la bonne gestion de l'eau sur les périmètres irrigués.

2.3.1.3.2 Cas des périmètres individuels ou privés

Dans les périmètres privés, la gestion de l'eau est essentiellement individuelle. L'application de l'eau à la parcelle est réalisée par l'exploitant, les ouvriers ou les membres de sa famille.

L'exhaure se fait par pompage manuel ou par moto-pompage et la durée du pompage et de l'arrosage dépendent du propriétaire de l'exploitation, qui décide de façon autonome, selon son expérience, des doses et fréquences d'irrigation.

Sur le périmètre irrigué de Korsimoro, où l'irrigation privée est très développée, il existe un nouveau modèle de gestion de l'eau, qui fait intervenir des prestataires de service pour la fourniture de l'eau. Ces prestataires qui disposent de motopompes et de tuyauteries, délivrent l'eau aux irrigants moyennant un cout. Cette approche, qui tend à professionnaliser la fourniture d'eau aux exploitants de périmètres irrigués, semble intéressante, car elle dispense l'exploitant de certaines charges (acquisitions des moyens de pompage et de transport de l'eau, charges d'entretien et de fonctionnement, etc.) et le responsabilise davantage sur sa consommation d'eau.

Sur le même périmètre, d'autres irrigants louent leurs équipements d'exhaure et de transport de l'eau aux exploitants qui n'en disposent pas.

Ces approches paysannes montrent qu'il est possible de réorganiser la gestion de l'eau aussi bien sur les grands et moyens périmètres que sur certains périmètres privés, à travers la privatisation de la fourniture de l'eau aux exploitants des périmètres irrigués.

2.4 Situation actuelle des aménagements et de l'irrigation au Burkina

Les superficies des aménagements hydro-agricoles (période avant 2004 et de 2004 à 2018) sont évaluées à 152 414 ha (DGESS, 2018) dont 77 446 ha de périmètres irrigués formels ou structurants³ et 74 967 ha de bas-fonds aménagés (tableau 3).

Tableau 3 : Situation actuelle des aménagements du Burkina

Type d'aménagement	Superficies aménagées en ha		
	Avant 2004	Entre 2004 et 2018	Total
Périmètre irrigués (ha)	25 058	52 388	77 446
bas-fonds (ha)	7 200	67 767	74 967
Total aménagement hydro-agricole			152 414

Source : DGESS, 2018

Par rapport au potentiel en terre aménageable du Burkina, estimé dans le document de politique de développement durable de l'agriculture irriguée au début des années 2000 à 233 500 ha de terres irrigables et 500 000 ha de bas-fonds facilement aménageables (MAHRH, 2004) et au regard de la situation des aménagements réalisés, seulement 33 % du potentiel en terres irrigables et 15 % des bas-fonds facilement aménageables sont effectivement aménagés.

Le taux d'exploitation des aménagements des périmètres irrigués structurants est en moyenne de 74 % (MAH, 2011a). En appliquant ce taux moyen d'exploitation des aménagements structurants aux aménagements existants au Burkina en 2018, il s'en suit qu'environ 57 300 ha d'aménagements structurant seraient exploités. Ainsi, les superficies aménagées et non exploitées représenteraient 26 %. Les causes de non exploitation des aménagements de périmètres irrigués sont souvent associées au manque d'eau et/ou à la défectuosité de l'aménagement (Jebbour, 2010 ; MAH, 2010).

³ Aménagement structurant : Aménagement réalisé à l'entreprise par l'Etat et/ou les partenaires techniques et financiers, généralement plus durable que les périmètres informels, qui sont eux, réalisés et financés par les irrigants eux-mêmes et qui servent généralement pour la campagne de production de l'année de réalisation.

3.

**Diagnostic des infrastructures d'irrigation,
de l'organisation et du fonctionnement des
perimetres irrigué**

3. Diagnostic des infrastructures d'irrigation, de l'organisation et du fonctionnement des périmètres irrigués

3.1 Objectif du diagnostic

L'objectif de ce chapitre est de caractériser 16 périmètres irrigués afin de mieux cerner l'organisation des producteurs, la gestion des intrants (engrais et pesticides) sur les sites irrigués et leurs impacts sur l'environnement, le fonctionnement des périmètres irrigués et de discuter de leurs performances techniques.

Ce chapitre aborde dans un premier temps le cadre de gestion des ressources en eau au Burkina Faso et dans un deuxième temps, les aspects liés à l'organisation sur les périmètres irrigués, la caractérisation des périmètres irrigués, les aspects liés à la gestion des engrais et des pesticides, la qualité de l'eau d'irrigation et la maîtrise du pilotage de l'irrigation.

3.2 Méthodologie du diagnostic

La méthodologie a consisté à faire une revue bibliographique, conduire une enquête, visiter et suivre les activités d'irrigation sur les sites d'étude et à réaliser des mesures sur la qualité des eaux d'irrigations.

La revue bibliographique a permis de comprendre le cadre de gestion des ressources en eau au Burkina Faso, d'examiner la dynamique organisationnelle des producteurs sur les périmètres irrigués et l'environnement de la production irriguée au Burkina Faso.

L'enquête a été réalisée à travers des entretiens semi-structurés. Elle a concerné 10 producteurs par site, soit 160 au total.

Les producteurs de chaque site ont été choisis de façon aléatoire. Les thématiques de l'enquête concernaient la gestion de l'eau à l'échelle du périmètre et de la parcelle, les calendriers d'irrigation et le mode de comptage de l'eau utilisée, le calendrier cultural, les spéculations exploitées, l'utilisation des engrais et des pesticides, le cycle des cultures ainsi que la taille des parcelles individuelles. Ces entretiens ont concerné également les responsables des coopératives et des comités d'irrigants. Des échanges ont aussi été organisés avec les aiguiers et les comités de gestion des stations de pompage.

Sur les périmètres échantillons, les stations de pompage, les canaux d'irrigation et les parcelles de production ont été visités. Les observations ont également porté sur l'approvisionnement en eau des parcelles et l'organisation de la production.

Les mesures de la salinité de l'eau d'irrigation ont été réalisées à l'aide d'un conductimètre de poche sur 10 périmètres irrigués dont 3 sont alimentés par des puits maraîchers (Boulbi, Bani et Zorgongo), 3 par des petits réservoirs (Savili,

Mogtédo et Rassomdé), 3 par des cours d'eau (Lemourdougou, Fara et Lanfiéra) et 1 par un lac (Zimtenga).

Ces périmètres irrigués ont été choisis pour constituer un échantillon qui prend en compte les sources d'eau habituellement utilisées pour l'irrigation (eau de barrage, rivière, puits maraîchers, lac).

Trois répétitions ont été réalisées par mesure pour chaque source d'eau utilisée pour l'irrigation.

3.3. Cadre de gestion des ressources en eau au Burkina Faso

Au plan sous-régional, le Burkina Faso adhère aux organisations ouest africaines, traitant des questions de gestion de l'eau, notamment l'Autorité du Bassin de la Volta (ABV). En effet, le Burkina Faso a signé en 2007 le traité de création de l'Autorité du Bassin de la Volta et l'a ratifié en 2009. L'ABV regroupe 6 pays de l'Afrique de l'ouest (Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Ghana, Mali et Togo) partageant le fleuve Volta qui coule sur 1 835 km et draine un bassin de 400.000 km².

La mission de l'ABV consiste fondamentalement à promouvoir une concertation permanente et un développement durable de l'eau et des ressources associées du bassin de la Volta pour un partage équitable des bénéfices en vue de la réduction de la pauvreté et d'une meilleure intégration socio-économique.

Au niveau national, le Burkina Faso s'est engagé depuis les années 1990 dans une réforme profonde de son cadre de gestion des ressources en eau. Cette réforme a abouti en 2001 à l'adoption de la loi N°002-2001/AN, du 08/02/2001, portant loi d'orientation relative à la gestion de l'eau et en 2003 à l'adoption du Plan d'Actions pour la Gestion Intégrée des ressources en eau (PAGIRE) à travers la prise du décret n° 2003-220/PRES/PM/MAHRH du 6 mai 2003.

Le PAGIRE a pour objectif de contribuer à la mise en œuvre d'une gestion intégrée des ressources en eau du pays, adaptée au contexte national, conforme aux orientations définies par le gouvernement burkinabè et respectant les principes reconnus au plan international en matière de gestion durable et écologiquement rationnelle des ressources en eau. Toujours dans le souci de mieux coordonner la gestion des ressources en eau au niveau des quatre (04) bassins hydrographiques du pays (Cascades, Mouhoun, Nakanbé et Gourma), le Burkina a entrepris en 2007 la mise en place des agences de l'eau.

L'agence de l'eau dans le contexte du Burkina est un groupement d'intérêt public (GIP), c'est-à-dire une personne morale de droit public constituée par accord entre les collectivités territoriales, l'Etat, des établissements publics ou toute personne physique ou morale de droit public ou privé en vue d'une œuvre ou d'un service d'une utilité pour chacune des parties selon l'article 1 du décret n° 2006-353/PRES/PM/MFB/MEDEV/MATD du 20 juillet 2006 portant Statut Général des Groupements d'Intérêt Public (GIP).

Dans le contexte de la gestion intégrée des ressources en eau, les agences de l'eau constituent les structures centrales de coordination des espaces de gestion instituées pour l'application du principe de gestion par bassin.

Dans cette dynamique, quatre (04) agences de l'eau dont l'agence de l'eau des Cascades, du Mouhoun, du Nakanbé et du Gourma ont été mises en place. Dans le cadre de la mise en œuvre de leurs missions, les agences de l'eau élaborent, chacune dans son espace de compétence, un schéma directeur d'aménagement et de gestion de l'eau (SDAGE) et un schéma d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE).

Le SDAGE est un document de planification et de gestion durable d'un bassin versant ou d'un espace de gestion des ressources en eau, qui fixe les orientations fondamentales d'une gestion optimale et concertée de la ressource en eau pour le moyen et le long terme.

Le SAGE est également un document de planification qui concilie à l'échelle des sous-bassins, le développement économique, social, environnemental et culturel. Il définit à l'échelle d'un regroupement de sous-bassins, d'un sous-bassin, d'une portion de cours d'eau ou d'un point d'eau les objectifs généraux d'utilisation, de mise en valeur et de protection quantitative et qualitative des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques, de préservation des zones humides en tenant compte des équilibres naturels.

A l'échelle de sous-bassins, il est mis en place par les Comités locaux de l'eau qui sont des instances de base des agences de l'eau devant contribuer à l'opérationnalisation des SAGE.

Les comités locaux de l'eau (CLE) sont les maillons de base de la gestion de l'eau au niveau local / échelle d'un sous-bassin, en application du principe de subsidiarité. Ils sont chargés :

- De rechercher l'adhésion permanente des acteurs de l'eau (administration, usagers, collectivités territoriales, autorités coutumières, organisations de la société civile) à la gestion concertée des ressources en eau par la sensibilisation, l'information et la formation ;
- d'initier et appuyer au niveau du sous-bassin des actions de développement, de promotion, de protection et de restauration des ressources en eau en rapport avec les structures locales compétentes, notamment par l'élaboration et la mise en œuvre des Schémas d'aménagement et de gestion des ressources en eau (SAGE) ;
- de développer une synergie de concertation et d'actions horizontales et verticales avec les autres organes de gestion de l'eau ;
- d'initier et mettre en œuvre, à travers des maîtrises d'ouvrages publics ou privés et conformément à la réglementation en vigueur, des solutions aux problématiques d'aménagement et de gestion de l'eau (concurrences et conflits d'utilisation des eaux, protection et conservation des eaux et des milieux qui en dépendent, développement et valorisation des ressources en eau, etc.) ;

- d'arbitrer les conflits locaux liés à l'usage de l'eau dans son champ de compétence.

Au niveau plus opérationnel, l'engagement de l'Etat et ses partenaires au développement pour une meilleure gestion de l'eau en général et des infrastructures d'irrigation en particulier s'est traduit par l'appui à l'organisation des producteurs sur les périmètres irrigués, notamment pour la mise en place des comités d'irrigants pour une meilleure gestion et exploitation des infrastructures hydro-agricoles.

Ces efforts se traduisent entre autres par :

- l'élaboration d'une note conceptuelle pour la mise en place des comités d'irrigants au Burkina Faso en août 2016 ;
- la prise du décret n° 2006-453 /PRES/PM/MAHRH/MATD portant création, attribution organisation et fonctionnement des comités d'irrigants sur les périmètres irrigués ;
- l'organisation d'ateliers de sensibilisation sur la mise en place des comités d'irrigants, l'organisation des assemblées de mise en place des comités d'irrigants ;
- la formation des membres des comités d'irrigants sur la gestion coopérative, etc.

3.4 Caractéristiques des périmètres irrigués

3.4.1 Dynamique organisationnelle sur les périmètres irrigués

L'enquête conduite sur les sites irrigués révèle la présence d'organisations paysannes, notamment des coopératives, des comités d'irrigants (CI) et des organisations d'usagers de l'eau agricole (OUEA). Le tableau 4 présente la situation des organisations de producteurs sur les sites de l'étude.

Tableau 4 : Situation des organisations des producteurs sur les sites

Région	Nom du site	Type de périmètre	Type d'organisation sur le périmètre
Boucle du Mouhoun	Fara/ SOCAF	Périmètre communautaire formel	- Coopérative/ Comité d'irrigant
	Débé/ AMVS	Périmètre communautaire formel	- Coopérative/comité d'irrigants - Organisation d'usager de l'eau Agricole
Cascades	Karfiguéla	Périmètre communautaire formel	- Coopérative
	Lémour-dougou	Périmètre informel	- Comité d'irrigant
Centre Est	Bagré	Périmètre communautaire formel	- Coopérative/comité d'irrigants
Centre	Boulbi	Périmètre informel	- Existence d'une coopérative pour la production du riz de saison humide mais pas pour le maraîchage de saison sèche
Centre Nord	Zimtanga	Périmètre informel entièrement privé*	-
Centre Ouest	Savili	Existence d'un périmètre communautaire formel et d'un périmètre informel	- Coopérative - Comité d'irrigants
Centre Sud	Manga aval	Périmètre informel exploité en maraichage	- Existence d'une coopérative pour la production du riz de saison humide mais pas pour le maraîchage de saison sèche
Est	Lantaogo	Périmètre communautaire formel	- Groupement/comité d'irrigants
Hauts Bassins	Vallée du Kou	Périmètre communautaire formel	- Coopérative/comité d'irrigants
Nord	Rassomdé	Périmètre communautaire formel	- Comité d'irrigants
Plateau Central	Mogtédo	Existence d'un périmètre communautaire formel et d'un périmètre informel	- Coopérative - Comité d'irrigantss
	Zorgongo	Périmètre informel	- Comité d'irrigants

Région	Nom du site	Type de périmètre	Type d'organisation sur le périmètre
Sahel	Ourou Noma	Périmètre informel	- Comité d'irrigants
Sud-Ouest	Dano-Moutouri	Périmètre communautaire formel	- Coopérative/comité d'irrigants

Source : Données d'enquêtes

Le périmètre de Zimtenga est la propriété privée du Chef de Zimtenga qui utilise la population locale pour organiser la production. Il n'y a ni coopératives ni comités d'irrigants.

D'après le tableau 4, il apparaît :

- une coexistence de Coopératives et de Comité d'irrigants (CI) sur les périmètres communautaires formels;
- l'existence de CI sur certains périmètres informels ;
- la présence d'un CI sur le périmètre formel de Rassomdé ;
- la présence d'une organisation d'usagers de l'eau agricole (OUEA) sur le périmètre de l'AMVS/Débé.

❖ Groupements et/ou coopératives

Les Groupements et/ou coopératives sont des organisations de producteurs qui ont été mises en place par l'administration publique au terme des travaux d'aménagement pour assurer surtout l'organisation de la production et de la commercialisation des produits. Ils sont systématiquement présents sur tous les périmètres communautaires.

Les groupements et/ou coopératives de producteurs ont pour mission de rendre des services économiques à leurs membres dans les domaines de la production, l'approvisionnement en intrants et équipements agricoles, l'appui et l'organisation de la commercialisation des productions et l'appui à l'accès au crédit.

Selon les informations collectées sur le terrain, les structures dirigeantes de ces organisations sont rarement renouvelées et il n'y a visiblement pas d'alternance en leur sein, ce qui est souvent source de leur dysfonctionnement. Comme indiqué dans le tableau 4, les coopératives n'existent pas sur les périmètres informels où chaque producteur est autonome sur toute la chaîne de son activité.

❖ Comités d'Irrigants (CI)

La mise en place des CI a commencé en 2006, avec pour ambition de dynamiser les anciens et les nouveaux périmètres irrigués. Les CI sont des organisations professionnelles agricoles, régies par la loi n°14/AN/99 et constituées par les professionnels agricoles spécialisés dans la production en irriguée de façon générale ou dans les filières de production irriguée. Le CI regroupe les représentants des différentes organisations qui exploitent en commun un site irrigué sans distinction de filière autour des préoccupations liées à l'irrigation.

Selon les textes régissant leur création, organisation et attributions, ils ont une mission de mise en valeur efficiente des aménagements (recouvrement des redevances, entretien des plans et points d'eau et des infrastructures hydrauliques et équipements agricoles) et devraient jouer également le rôle dévolu aux groupements et coopératives sur les périmètres irrigués nouvellement aménagés, notamment l'approvisionnement en intrants et l'appui à la commercialisation.

Les constats sur le terrain montrent que les comités d'irrigants ont du mal à cohabiter avec les coopératives sur les périmètres communautaires. Malgré la mise en place des comités d'irrigants, force est de constater que sur le terrain, la collecte des redevances et autres taxes ainsi que l'entretien et la maintenance des ouvrages hydrauliques sont toujours sous la gestion des Coopératives. Par ailleurs, on observe aussi que sur certains périmètres communautaires, le comité d'irrigants se confond avec la coopérative, la structure dirigeante étant parfois la même.

La présence d'un comité d'irrigants sur le site de Rassomdé, qui est un périmètre communautaire formel aménagé en 2007, s'explique par le souci d'application de la réglementation de 2006, portant sur la mise en place des comités d'irrigants.

Sur la plupart des sites où cohabitent périmètres formels et informels, les irrigants des périmètres formels ne se sentent pas concernés par le CI qui est beaucoup plus perçu par ces derniers comme une organisation des périmètres informels.

Si la volonté existe de mettre en place des comités d'irrigants sur les périmètres informels, les irrigants concernés voient dans cette organisation un cadre pouvant leur permettre de constituer une force pour défendre leur droit d'accès à l'eau et dans une moindre mesure pour organiser l'approvisionnement en intrants et la commercialisation des produits, les questions d'entretien des infrastructures et de gestion de l'eau étant individuellement traitées.

❖ Organisation d'usager de l'eau agricole (OUEA)

Dans le cadre de la gestion durable des infrastructures hydrauliques dans les périmètres aménagés de l'Autorité de Mise en Valeur de la Vallée du Sourou (AMVS), il a été créé à titre pilote une organisation d'usager de l'eau agricole (OUEA) en 2012 avec l'appui technique et financier du Millenium challenge corporation/millennium challenge account-Burkina Faso. L'organisation d'usagers de l'eau agricole (OUEA) est une personne morale établie en tant qu'organisation professionnelle à but non lucratif, afin d'exploiter, d'entretenir et de maintenir la totalité ou une partie d'un aménagement hydro-agricole et de fournir le service de l'eau à ses membres, pour un usage agricole. Ainsi, l'OUEA apparaît comme une mutation des groupements de producteurs présents sur les périmètres irrigués mais, qui à la différence des autres organisations bénéficient d'un appui financier appelé fonds d'opération et de maintenance.

Par ailleurs, l'OUEA pilote mis en place sur les périmètres de l'AMVS a l'obligation de rendre compte à l'AMVS de toutes ses activités techniques et financières.

Si dans le cas du Sourou, l'OUEA doit rendre compte de sa gestion à l'Autorité de Mise en Valeur de la Vallée du Sourou, dans le cas des périmètres de type formel ou informel où il n'y a pas une structure administrative spécifique de gestion, on pourrait se demander à qui l'OUEA devrait rendre compte. Autrement dit, les OUEA pourraient avoir des statuts différents en fonction des types de périmètres.

La remarque transversale au sujet de la gestion de l'eau au tour d'eau sur les périmètres communautaires formels est que le tour d'eau n'est respecté sur aucun des périmètres visités. Les coopératives présentes sur ces périmètres devraient veiller au respect des tours d'eau. De même tous les périmètres communautaires souffrent d'un manque d'entretien des canaux d'irrigation. Par ailleurs, il a été constaté qu'il n'y a aucune harmonisation des plans de production sur les périmètres. Toutes ces questions devraient être prises en charge par les organisations présentes sur les périmètres irrigués et témoignent de la faiblesse organisationnelle de ces organisations, ce qui va se répercuter sur la bonne gestion de l'eau.

De façon générale, dans les textes portant création de ces organisations, il apparaît clairement que les coopératives sont sur des filières de production et de ce point de vue ont compétence sur l'approvisionnement en intrants des membres, l'appui à la commercialisation et l'accès au crédit.

Avant la mise en œuvre du Programme d'ajustement structurel (PAS), le volet lié au service de l'eau, à l'entretien et la maintenance des infrastructures était géré par l'administration publique. Mais avec le désengagement de l'Etat sous l'effet du PAS, les coopératives ont visiblement intégré ce volet dans leur domaine de compétence.

L'idée de mettre en place les comités d'irrigants visait à les spécialiser dans l'entretien et la maintenance des infrastructures mais aussi la prise en charge du service de gestion de l'eau à l'échelle d'un site de production irriguée. De ce point de vue, il aurait été logique que les redevances eau, aménagement et autres taxes liées aux infrastructures hydro-agricoles soient gérées par les comités d'irrigants.

Vu que les Coopératives et les comités d'irrigants, qui sont censées être complémentaires, entretiennent parfois sur le terrain des rapports plutôt conflictuels, la nouvelle dynamique de mise en place des organisations d'usagers de l'eau viendra compliquer davantage le rôle des organisations sur les périmètres irrigués. Il convient de repenser le type d'organisation à mettre en place sur le terrain en tenant compte des problématiques spécifiques liées à la gestion efficiente de l'eau, l'entretien et la maintenance des ouvrages et les questions liées à la production et à la commercialisation.

Cette réflexion devrait être conduite par les irrigants eux-mêmes avec surtout l'appui des Chambres d'Agricultures, car le constat est que ces organisations ont toujours été pensées et mises en place par l'Etat, si bien qu'une véritable appropriation ne s'est pas opérée au sein des producteurs.

La question de la gestion de l'eau et des ouvrages hydrauliques méritent d'être traitée par une organisation relativement spécialisée et celle de la production et commercialisation par une autre organisation de type paysanne.

En définitive, il conviendrait de limiter à deux, les organisations sur les périmètres, une pour la gestion de l'eau et des infrastructures et l'autre pour la production et la commercialisation. Cette deuxième structure peut évoluer en structures par filière à la base pour former une union à l'échelle du périmètre.

3.4.2 Redevance eau et aménagement

Sur les périmètres irrigués, les constats indiquent une diversité de pratique liées à la redevance eau, la redevance aménagement et la taxe de prélèvement de l'eau. En effet, sur le périmètre formel communautaire de Savili par exemple, la redevance eau est fixée à 7,33€/ha/an et il n'y a pas de redevance aménagement.

Au niveau des périmètres informels de Savili, les irrigants ne sont soumis à aucune taxation ni redevance. A Mogtédou la redevance eau est fixée à 25,95€/ha/an et il n'y a pas de redevance aménagement. Pour les irrigants individuels des périmètres informels de Mogtédou, il est prévu une taxe de développement communal de 3,05€/ha/an/motopompe.

Au niveau des grands périmètres communautaires (Bagré et AMVS), selon les enquêtes qui y ont été conduites, l'eau livrée à l'exploitant est facturée à raison de 137,2€ /ha/an et 200€/ha/an respectivement à Bagré et à l'AMVS. Ces tarifications semblent être liées au fait qu'à Bagré, le système d'irrigation est de type gravitaire sans pompage alors qu'à l'AMVS l'approvisionnement en eau est assuré par pompage thermique à l'aide d'hydro vis. Le niveau de récupération de cette redevance serait de l'ordre de 50 % par an aussi bien à Bagré qu'à l'AMVS.

Par ailleurs, au niveau des périmètres de Bagré et de l'AMVS, la redevance aménagement qui serait d'environ 50€/ha/an selon les responsables des coopératives, serait annuellement recouvrée à hauteur de 70 %.

Ces taxes et redevances ainsi que les autres frais imputables aux membres des coopératives sont perçus et gérées par les instances dirigeantes des coopératives.

En dehors de Bagré et Sourou, les autres aménagements communautaires réalisés avec ou sans la participation des bénéficiaires ne font généralement pas l'objet de paiement de la redevance aménagement par les exploitants. Cet aspect peut expliquer la dégradation des aménagements du fait que les dispositions permettant de prendre en charge l'entretien et la maintenance du périmètre ne sont pas appliquées.

De façon générale, le Burkina Faso a adopté en 2009 la loi n° 058-2009/AN du 15 décembre 2009 portant institution d'une taxe parafiscale au profit des agences de l'eau dénommée « Contribution financière en matière d'eau » (CFE).

Cette taxe concerne les usages de l'eau suivants :

- la production d'eau potable ;
- les activités minières et industrielles ;
- les travaux de génie civil ;
- les activités agricoles, pastorales et piscicoles.

Toutefois, le décret N°2011-PRES/PM/MEF/MAH du 18/07/11, portant détermination des taux et des modalités de recouvrement de la taxe de prélèvement de l'eau brute précise en son article 5 que : « Les taux des prélèvements de l'eau brute à des fins de productions agricoles, pastorales et piscicoles seront fixés ultérieurement ». Ainsi, cette taxe parafiscale n'est pour l'instant pas applicable aux usages de l'eau pour des activités agricoles.

En définitive, les constats sur les périmètres irrigués indiquent l'existence d'organisations paysannes peu fonctionnelles du point de vue de leurs capacités à appliquer leur propre règlement intérieur (renouvellement des bureaux, recouvrement des redevances, respect des tours d'eau ; entretien des ouvrages d'irrigation, application des sanctions, etc.) et orientées sur la prise en charge des questions liées à l'approvisionnement en intrants et à la commercialisation des productions. Le volet gestion de l'eau, entretien et maintenance de l'eau ne semble pas être pris en charge.

En revanche, les organisations de producteurs sur les périmètres formels fondées sur les coopératives semblent plus fortes que celles sur les périmètres informels où il existe parfois des comités d'irrigants. Il apparaît aussi que le paiement des redevances eau est plus effectif sur les périmètres formels que sur les périmètres informels où l'accès à l'eau est gratuit.

Au niveau de la redevance eau et taxe de prélèvement, il apparaît que la taxation semble être liée au système d'approvisionnement en eau du périmètre (gravitaire sans pompage, ou moto pompage) et à la superficie à irriguer et non au volume effectivement prélevé.

La prise en compte du volume prélevé permettrait un meilleur suivi de la consommation de l'eau. De même, une taxation en relation avec les volumes effectivement prélevés permettrait une prise de conscience des usagers de l'eau agricole sur la rationalité de leur consommation en eau au regard des volumes prélevés et des besoins en eau des cultures.

Cette analyse révèle la faiblesse organisationnelle des producteurs sur les périmètres, toute chose qui peut impacter négativement sur la performance des périmètres irrigués en terme par exemple de manque d'entretien des infrastructures d'irrigation, de non-respect des tours d'eau et des plans de productions.

Il importerait de revoir l'organisation des producteurs sur les périmètres irrigués autour de deux missions spécifiques :

- l'organisation de la production et la gestion de l'eau et des infrastructures d'irrigation. La gestion de l'eau et des infrastructures pourrait même être déléguée à une structure spécialisée. Il pourrait s'agir d'un prestataire de service, une structure privée qui percevrait alors les redevances aménagements et les taxes liées à la fourniture d'eau. Le contrat d'un tel prestataire pourrait être négocié avec l'ensemble des acteurs du périmètre aménagé. Ainsi ses coûts de fonctionnement seraient assurés par les recettes liées à la fourniture de l'eau mais également aux redevances aménagements.

Cette démarche permettrait de prendre en charge plus efficacement la maintenance et l'entretien des infrastructures d'irrigation mais aussi l'approvisionnement de l'eau qui pourrait se faire à la demande et non au tour d'eau ou selon le bon vouloir de chaque producteur mais sur la base de calendriers d'irrigation appropriés.

Le volet organisation et commercialisation de la production (approvisionnement en engrais et semences, négociations de crédits, commercialisation de la production, etc..) pourrait être porté par les organisations de producteurs, notamment les coopératives.

Face à l'impact grandissant du changement climatique sur la production alimentaire pour les économies développées et émergentes, et tirant leçons des résultats peu reluisants du modèle d'aménagement hydro-agricole basé sur un financement public des investissements en capital associé à une gestion publique et à la fourniture de ressources en eau aux agriculteurs à des taux fortement subventionnés, Cledan et Bisbey (2016) examinent de nouvelles perspectives en vue d'optimiser les ressources en eau et l'irrigation pour répondre aux besoins des générations futures. Ces auteurs soutiennent l'idée de développer le partenariat public-privé (PPP) dans le secteur de l'irrigation.

Pour eux, « les PPP ont le potentiel de faciliter un rôle élargi pour le secteur privé dans l'irrigation, mobiliser les compétences du secteur et assurer la durabilité à moyen et long terme » et partant, améliorer significativement les performances du secteur de l'irrigation.

L'un des objectifs les plus importants des PPP serait d'améliorer l'efficacité des services et la responsabilisation directe en matière de fourniture de services. Ainsi, pour Cledan et Bisbey (2016) il est désormais impératif d'associer le secteur privé dans la conception, la construction, la gestion et l'exploitation des aménagements hydro-agricoles dans la perspective d'améliorer les performances et la rentabilité des infrastructures d'irrigation.

L'ouvrage de Cledan et Bisbey intitulé « How to develop Sustainable irrigation projects with private sector participation » est assorti d'études de cas, de types de modèles possibles de PPP, d'exemples de PPP mis en œuvre dans l'irrigation et met en exergue les avantages liés à ce partenariat. Il en ressort, que dans près de la moitié des études de cas évaluées, des agriculteurs organisés collectivement ont fortement défendu les systèmes d'irrigation en PPP, toute chose qui exprime déjà une adhésion des agriculteurs au PPP dans le secteur de l'irrigation.

Par ailleurs, sur 29 cas de PPP recensés en 2007, en cours d'exécution ou de planification à travers le monde, 6 se trouvaient en Afrique Subsaharienne (Madagascar: Alaotra ; Niger: Toula ; Ghana: Integrated Tamale Fruit Company (ITFC) ; Sénégal: Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS) ; Ethiopia: Megech). Ainsi, il apparaît que les PPP dans le secteur de l'irrigation restent encore limités à travers le monde et en Afrique.

Enfin, pour les systèmes nouveaux et modernisés, Cledan et Bisbey préconisent entre autres, les innovations ci-après : (i) « raccorder » le système d'irrigation pour améliorer la mesure et la comptabilisation des débits, (ii) acheminer l'irrigation aux particuliers et aux petits groupes d'agriculteurs par pipeline afin d'assurer un approvisionnement plus direct « de source à utilisateur », (iii) et adopter l'option de « systèmes et compteurs d'irrigation payants », etc.

Ces propositions de Cledan et Bisbey cadrent avec la proposition de confier le service de fourniture de l'eau à un prestataire de service. Cela constituera une forme de partenariat entre le Privé et l'Autorité de gestion du périmètre au profit des agriculteurs.

Au Burkina Faso, De Fraiture et al., (2014) rapportent que sur le site de Korsimoro où se développe l'irrigation informelle, les propriétaires de motopompes, qui sont généralement des propriétaires terriens louent leurs terres à d'autres agriculteurs durant la saison sèche pour le maraîchage.

Le coût de la location comprend le loyer de la terre et également tous les coûts liés à l'irrigation (motopompe, carburant, système de transport de l'eau, entretien de la motopompe, etc.). Parfois, le contrat se limite au service de fourniture d'eau par des propriétaires de motopompes à d'autres exploitants ne disposant pas de moyens de pompage et de transport de l'eau. Il s'agit là d'un cas primaire de partenariat où des exploitants optent de se faire livrer l'eau, moyennant un contrat de paiement du service fourni. Cette pratique laisse apparaître également une disponibilité des producteurs à contractualiser le service de fourniture et de transport de l'eau pour se consacrer aux autres aspects de la production.

Au Burkina Faso, seul le grand périmètre de Bagré est aujourd'hui reconnu comme un pôle de croissance offrant des possibilités pour les investisseurs privés dans le domaine de l'irrigation avec des facilitations de développement du PPP.

En effet, le « Cahier général des charges pour l'aménagement, l'occupation et l'exploitation des terres de type entrepreneuriat agricole, adopté par le décret N°2012/704/PRES/PM/MAH/MEF/MATDS/MEDD/MRA le 06 septembre 2012 définit les conditions et modalités d'aménagement, d'occupation et de gestion des terres et des eaux d'irrigation ainsi que l'entretien des réseaux hydrauliques dans les périmètres hydro-agricoles aux fins d'installation des entrepreneurs agricoles avec les possibilités de développement du PPP.

L'article 8 de ce décret stipule que : « L'aménagement des terres, la réalisation du réseau hydraulique, secondaire et tertiaire et toutes autres installations permettant l'exploitation du domaine seront exécutés aux frais exclusifs de l'investisseur privé entrepreneur agricole et sous la supervision de l'Autorité de mise en valeur..... ». Le décret indique également que les investisseurs privés /entrepreneur agricole ou leurs organisations sont responsables de l'entretien et de la gestion des réseaux secondaires, tertiaires et de leurs parcelles mais que la gestion du réseau hydraulique et la distribution de l'eau à la parcelle peuvent être confiés à un opérateur privé. L'entrepreneur agricole lui-même entre en PPP avec l'Autorité de mise en valeur et a également la possibilité de sous-traiter en PPP certains aspects liés à la mise en valeur de son exploitation.

Pour les aspects liés à la fourniture de l'eau à l'entrepreneur agricole, le décret stipule en son article 37 que : « L'exploitation des terres sur les périmètres hydro-agricoles est soumise au paiement d'une taxe d'aménagement et d'une redevance eau » .

La taxe aménagement représente la contribution des investisseurs privés au financement de l'amortissement des aménagements existants et la réalisation de nouveaux aménagements, tandis que la redevance eau est la contribution de l'exploitant aux charges liées aux services de distribution de l'eau d'irrigation.

La fourniture du service d'eau à l'investisseur privé ainsi que l'entretien et la gestion des réseaux primaires relèvent de la compétence de l'Autorité de la mise en valeur de la zone d'aménagement (les réseaux primaires comprennent : l'ouvrage hydraulique source d'alimentation en eau, le chenal d'amenée, le canal principal, les ouvrages associés, les pises primaires).

En retour, l'investisseur privé devra s'acquitter auprès de l'Autorité de mise en valeur de la zone d'aménagement, de la taxe d'aménagement et de la redevance eau.

Ainsi en dehors du pôle de croissance de Bagré, tous les autres aménagements communautaires, grands ou petits sont régis par le décret N°2012-705/PRE/PM/MAH/MEEF/MATDS/MEDD/MRA portant adoption du cahier général des charges pour l'occupation et l'exploitation de type familial des parcelles des aménagements hydro-agricoles.

Les aménagements hydro-agricoles concernés sont des terres irriguées à partir des ouvrages hydrauliques réalisés à cet effet et appartenant à l'Etat ou aux collectivités territoriales. C'est dans ce modèle d'aménagement que les organisations de producteurs, notamment les coopératives, les comités d'irrigants Organisations d'usagers de l'eau Agricole, interviennent pour assurer le service de fourniture de l'eau d'entretien et maintenance des infrastructures, d'appui à la production etc. Malheureusement tous les constats indiquent que ces organisations de producteurs n'ont pas encore réussi à jouer pleinement leur rôle particulièrement en ce qui concerne le service de fourniture de l'eau.

Même le modèle en expérimentation au Sourou (OUEA) rencontre des difficultés avec les coopératives qui ont toujours la charge de la collecte de la redevance eau et aménagement. L'OUEA du Sourou, en dépit de la subvention qui lui a été octroyée lors de sa création, n'a pas encore une autonomie financière lui permettant de prendre en charge les missions qui lui sont assignées et ne dispose pas non plus de résultats tangibles pour

Ce contexte soutient l'idée de promouvoir la privatisation de la fourniture de l'eau sur les aménagements hydro-agricoles.

Enfin pour mieux apprécier l'impact de l'organisation des producteurs sur la gestion des périmètres irrigués, il conviendrait de comparer les performances techniques des périmètres formels et informels. Cet aspect est approfondi dans le chapitre IV.

3.4.3 Caractérisation physiques des périmètres irrigués

Le tableau 5 donne les caractéristiques générales des périmètres concernés par l'étude en terme de superficie aménagées, de type de moyen d'exhaure de l'eau et de source d'eau utilisée pour l'irrigation.

Tableau 5 : Caractéristiques des périmètres irrigués

Région	Province	Commune	Nom du site	Sup (ha)	Système exhaure	Source d'eau
Boucle du Mouhoun	Balé	Fara	Fara/SOCA F	60*	Gravitaire par pompage	Fleuve Mouhoun
	Sourou	Lanfiéri	AMVS	3800	Gravitaire par Pompage	Fleuve Sourou
Cascades	Comoé	Banfora	Karfiguéla	350**	Gravitaire	Fleuve Comoé
	Comoé	Banfora	Lémourdougou	100	Gravitaire par pompage	Fleuve Comoé
Centre Est	Boulgou	Bagré	Bagré	1880	Gravitaire	Barrage
Région	Province	Commune	Nom du site	Sup (ha)	Système exhaure	Source d'eau
Centre	Kadiogo	Komsilga	Boulbi	75**	Gravitaire	Barrage /puits
Centre Nord	Bam	Zimtanga	Zimtanga	120	Gravitaire par pompage	Lac
Centre Ouest	Boulkiemdé	Sabou	Savili	42	Gravitaire par pompage	Barrage
Centre Sud	Zoundwégo	Manga	Manga aval	75 / 25* ***	Gravitaire/ Pompage	Barrage/ puits
Est	Gourma	Diabo	Lantaogo	12	Gravitaire	Barrage
Hauts Bassins	Houet	Bama	Vallée du Kou	1260	Gravitaire	Fleuve Kou
Nord	Zondoma	Tougou	Rassomdé	30	Gravitaire par pompage	Barrage
	Ganzourgou	Mogtédó	Mogtédó	110	Gravitaire	Barrage
Plateau Central					Gravitaire par pompage (pompes à pédales)	Puits maraîchers
	Ganzourgou	Mogtédó	Zorgongo	20		

Région	Province	Commune	Nom du site	Sup (ha)	Système exhaure	Source d'eau
Sahel	Séno	Bani	Ourou Noma	12	Arrosage manuel	Puits maraîchers
Sud-Ouest	Ioba	Dano	Dano-Moutouri	20	Gravitaire	Barrage

- *Sur les 60 ha aménagés, 45 ha sont exploités.
- **sur les 150 ha aménagés, 150 sont exploités chaque campagne sèche.
- ***Aménagement exploité en riziculture en saison humide. En saison, par manque d'eau des puits, sont creusés pour la pratique du maraîchage sur environs 25 ha
- **** par insuffisance d'eau dans le réservoir d'eau, environ 25 ha sont exploités en saison sèche à partir de puits maraîchers.

Les périmètres présentés dans le tableau 5, comprennent des périmètres informels et des périmètres communautaires formels, gravitaires avec ou sans pompage.

❖ Périmètres informels

Les périmètres informels se développent autour des puits maraîchers, de puisards mais également en amont des barrages et sur les rives des cours d'eau.

Les périmètres de Boulbi, de Ourou-Noma, de Lemourdougou, de Bani et Zorgongo se présentent comme des exploitations informelles utilisant des puits et ou des cours d'eau comme source d'eau pour l'irrigation. Ces puits et cours d'eau tarissent généralement vers mars-avril selon les exploitants de ces sites. Le puisage de l'eau et l'arrosage se font soit manuellement soit à l'aide de pompes à pédales ou de motopompes de petite capacité (60 à 80 m³/h). Les puits maraîchers et les puisards sont peu profonds (8 à 12 m) et sont alimentés par les nappes alluviales. Les puits maraîchers permettent l'exploitation de petites superficies de l'ordre d'un quart d'hectare par puits. Mais lorsque le débit du puits est important, le puits maraîcher peut irriguer des superficies pouvant atteindre un hectare.

❖ Périmètres formels gravitaires

Les périmètres formels gravitaires sans pompage sont construits en aval des petits réservoirs. Les périmètres gravitaires par pompage sont construits soit en amont soit aux abords des plans d'eau.

Les périmètres de Lantaogo, Dano Moutori, Mogtédou, vallée du Kou, Karfiguela et Manga -aval sont alimentés gravitairement sans pompage par l'eau de petits barrages qui tarissent également vers le mois de mars-avril ou de rivières (Karfiguella, Vallée du Kou). Ceux de Fara, Savili, Rassomdé et Zimtanga sont alimentés par motopompe également à partir de l'eau de petits réservoirs.

Au niveau des périmètres gravitaires, il convient de mentionner dans l'échantillon les grands périmètres de la Vallée du Sourou qui sont alimentés gravitairement par pompage à l'aide d'hydro vis à partir des eaux déviées du fleuve Sourou et les périmètres de Bagré (région du Centre-Est) qui sont alimentés gravitairement sans pompage à partir des eaux du barrage de Bagré

3.4.4 Ressources en eau pour l'irrigation : disponibilité, qualité et approvisionnement en eau des périmètres irrigués

3.4.4.1 Ressources en eau pour l'irrigation

Sur le champ de l'étude, les infrastructures de mobilisation de l'eau utilisée à des fins d'irrigation comprennent les retenues d'eau, les puits maraîchers et les puisards.

Les barrages du Burkina Faso sont pour l'essentiel de petites retenues d'eau à usage multiple (besoins domestiques, usages agricoles, abreuvement des animaux), estimés à 1 357 retenues d'eau, avec une capacité de stockage totale de cinq milliards de m³ (DGRE, 2010). Ils sont confrontés à des problèmes de gestion équitable en termes de répartition et d'accès à la ressource par les différents usages.

Le rapport de l'enquête sur le module maraîchage au Burkina Faso (DGPÉR, 2011) indique que 82 % des maraîchers estiment que la non permanence des sources d'eau est la difficulté majeure pour la pratique de l'irrigation. Sur les sites enquêtés, se pose le problème d'insuffisance de la ressource en eau pour satisfaire la demande en eau des irrigants.

La problématique se pose en termes de tarissement précoce des points et plans d'eau même pour une année pluviométrique normale. C'est le cas des réservoirs de Karfiguela, de Manga aval, de Boulbi, de Mogtédou, de Dano, Lantaogo, etc. qui ne permettent plus l'exploitation totale ou partielle des superficies aménagées en saison sèche.

Le périmètre de Karfiguela couvre 350 ha dont seulement la moitié est mise en valeur chaque année. Les producteurs ont mis en place un système d'exploitation alterné à travers deux groupes qui exploitent alternativement la moitié de l'aménagement par saison sèche. Même dans ces conditions la demande en eau des producteurs reste insatisfaite.

D'autres périmètres aménagés en aval de réservoir comme Manga aval et Boulbi, ne sont plus exploités en saison sèche par manque d'eau ; mais dans ce cas, les producteurs réalisent des puisards en aval des barrages pour produire en saison sèche.

3.4.4.2 Qualité de l'eau d'irrigation

L'analyse du pH et de la conductivité des eaux d'irrigation (tableau 6) sur 9 périmètres irrigués montrent qu'elles ne présentent aucun risque pour l'irrigation conformément à la classification de Ayers (1977), présentée dans le tableau 7.

En effet, tous les pH mesurés se situent dans la gamme normale (6,5-8,4) et la salinité des eaux est strictement inférieure à 0,7ds/m, limite pour laquelle l'eau ne présente aucune restriction d'usage.

Cependant, il convient de noter que lors des visites sur les sites, il a été constaté l'utilisation de fertilisants chimiques et organiques ainsi que de pesticides variés généralement non homologués par les producteurs. Ces produits pourraient polluer aussi bien les sols que les eaux. Il conviendrait d'effectuer un suivi spécifique de l'impact des intrants chimiques sur les sols et les eaux des périmètres irrigués.

Tableau 6 : Conductivité des eaux d'irrigation

Type de ressource en eau	Eau souterraine (puits)			Eau de surface (barrage, lac, fleuve)					
	Boulbi	Bani	Zorg.	Lem.	Fara	Sav.	Lanf.	Rass.	Zimt.
Périmètre									
pH	6,59	7	6,84	8,11	8,22	7,67	8,31	7,93	7,59
pH moyen	6,81			7,97					
Ecart moyen	0,147			0,24					
Conductivité (ds/m)	0,09	0,48	0,11	0,07	0,01	0,06	0,13	0,05	0,05
Cond. Moy.(ds/m)	0,22			0,06					
Ecart type	0,17			0,03					

Source : Mesures de l'auteur

Tableau 7 : Classification de Ayers

Problème d'irrigation	Unité	Degré de restriction d'usage		
Salinité : E _{cw}	ds/m	Aucun <0,7	Modéré 0,7-3,0	Sévère >3
autre effet : pH		gamme normale 6.5-8.4		

Source : Abers (1977)

3.4.4.3 Approvisionnement en eau des périmètres irrigués

❖ Périmètres informels

L'approvisionnement en eau des périmètres informels dont les superficies individuelles sont supérieures à 0,5 ha (Zimtenga, Lemourdougou) se fait à l'aide de motopompes de capacité variant entre 60 et 150 m³/h. Les périmètres informels de superficies individuelles inférieures à 0,5 ha (Zorgongo, Bani, Boulbi) sont approvisionnés par pompe à l'aide de pompe à pédale ou de puisettes.

Les motopompes qui servent de station de pompage sont simplement disposées près du plan d'eau. Elles sont raccordées à des tuyaux d'aspiration parfois assorties de crépines. Les tuyaux d'aspiration sont souvent très longs et lorsque le refoulement se fait à travers une canalisation déposée à la surface du sol qui subit les intempéries climatiques, notamment la chaleur du rayonnement solaire. La longueur et le diamètre du tuyau de refoulement sont variables d'un exploitant à l'autre mais est en moyenne de 50 à 200 m.

A ce niveau, les observations portent sur la disposition des motopompes sur des plans inclinés (berges des cours et plans d'eau parfois très escarpés avec une forte dénivelée) des tuyaux d'aspiration généralement trop longs, des tuyaux de refoulements exposés aux soleils).

La motopompe devrait être disposée et fixée sur une surface plane, de préférence une plate-forme en béton qui permettrait une bonne circulation des liquides hydrauliques dans le moteur avec moins de vibration. Elle devrait également être protégée du soleil pour limiter le réchauffement et freiner l'usure de certaines pièces. Le tuyau de refoulement devrait être enterré pour éviter l'action du soleil et des piétinements. Le raccordement de la tuyauterie devrait se faire avec du matériel de plomberie approprié (colle appropriée, collier d'étanchéité, etc.,) pour limiter les fuites d'eau. Le canal en terre est généralement restreint occasionnant plus de perte d'eau par débordement.

❖ Périmètres formels

Pour les périmètres formels, l'approvisionnement en eau se fait suivant les options ci-après :

❖ Prise en rivière

C'est le cas du périmètre de Karfiguela où la prise en rivière est réalisée à partir d'un seuil de dérivation. Le seuil de dérivation est un ouvrage qui barre la rivière en aval de la prise d'eau, de manière à rehausser le niveau de l'eau en amont de la barrière tout en gardant un débit sanitaire normal et en permettant l'alimentation gravitaire du canal aménagé qui conduit l'eau au périmètre. Au point de connexion entre le canal et le cours d'eau, un dispositif en plaque métallique permet de contrôler l'alimentation en eau du canal vers le périmètre. Le périmètre étant situé plus bas que le niveau de l'eau au niveau du seuil de dérivation permet l'écoulement gravitaire de l'eau vers le périmètre.

❖ **Prise sur réservoir**

Les dispositifs de prise d'eau sur les réservoirs sont constitués d'un moine installé dans le barrage en amont de la digue, d'un tuyau d'évacuation qui passe sous la digue et qui se jette dans le canal primaire du réseau d'irrigation du périmètre situé en aval du barrage. Ce dispositif existe sur les barrages de Mogtédou, de Lantaogo et Dano-Moutori.

❖ **Pompage thermique**

Ce dispositif est mis en place en amont des réservoirs (Rasomdé, Savili) ou sur les berges des cours d'eau (Fara). Il s'agit de motopompes disposées près du plan d'eau comme dans le cas des périmètres informels. Sur le périmètre de Sourou, il s'agit d'hydro vis qui assure le relevage de l'eau dans les canaux primaires.

Le pompage thermique à l'aide de motopompe est facile à réaliser et favorise le développement de l'irrigation informelle. Par ailleurs son utilisation nécessitant la consommation de carburant tend à freiner les pompes excessifs de l'eau.

3.4.5 Aménagement et fonctionnalité des ouvrages d'irrigation

3.4.5.1 Aménagement parcellaire

L'aménagement parcellaire consiste au labour de la parcelle, au casierage, au levé des diguettes et à la mise en place du réseau d'irrigation. Sur les périmètres individuels ou à réseaux collectifs, il est réalisé par le producteur sans planage ni nivellement, ce qui se traduit par de fréquentes inondations des basses zones de la parcelle. Par ailleurs, le dimensionnement des raies, planches ou bassins, qui doit tenir compte de la nature du sol et de la pente du terrain (Kay, 1986) est aussi réalisé sans considération de ces facteurs et est variable d'un producteur à l'autre.

La qualité de l'aménagement parcellaire étant une des conditions essentielles pour une bonne gestion de l'eau à la parcelle (IWMI, 1997 ; Barbier et al., 2006), il est opportun de renforcer les capacités techniques des producteurs en la matière pour les rendre autonomes et compétents, notamment pour les exploitants des périmètres informels.

Pour les périmètres formels, il conviendrait d'inclure dans le mandat du prestataire le labour, le nivellement des parcelles et l'appui des producteurs à la mise en place du réseau d'irrigation.

Les dimensions des raies, planches ou bassins sont généralement réduites, mais relativement plus grandes sur les périmètres à réseau d'irrigation communautaire que sur les périmètres à réseau d'irrigation individuelle (tableau 8). La réduction des dimensions des raies et planches faciliterait leur approvisionnement rapide en eau. En réalité, les débits à l'entrée des parcelles irriguées par pompage mécanique (pompe à pédales) ou thermique sont généralement faibles (supérieurs à 1l/s et inférieurs à 6l/s) et pourraient expliquer aussi la taille réduite des parcelles élémentaires. Mais, au-delà du débit, le dimensionnement correct des raies et planches d'irrigation devrait tenir compte du type de sol. Selon Kay (1986), les sillons et planches peuvent généralement être plus longs sur des sols argileux que sur des sols sableux. Les sillons et les planches peuvent être plus longs aussi quand le débit appliqué atteint 10 à 15l/s ou encore quand la profondeur des raies atteint 15 cm (Kay, 1986).

Tableau 8 : Dimensions des raies, planches et bassins.

Type de périmètre	Dimensions des raies, planches et bassins			
	Longueurs des sillons et des planches (L) en m	Largeurs des sillons et des planches (L) en m	Longueurs des bassins (L) en m	Largeurs des bassins (l) en m
Réseau collectif	$5 \leq L \leq 10$	$0,2 \leq L \leq 0,6$	$25 \geq L \leq 50$	$10 \geq l \leq 15$
Réseau individuel	$10 \leq L \leq 50$	$L = 0,2$	-	-

Source : Mesures de l'auteur

Par contre, sur les terrains à pente raide, il est préférable de réduire les longueurs des raies pour éviter l'érosion.

Par ailleurs, les raies d'irrigation sont multiples par parcelle élémentaire et varient de 2 à 10 selon les périmètres. Ces raies, alimentées par une seule prise dont la position est variable sur la largeur du lot de raies constituant la parcelle élémentaire, sont bouclées dans leur partie aval et ne sont pas toujours homogènes en terme de dimensions. En conséquence, l'eau y circule à front différé et en boucle, ce qui entraîne son accumulation en aval des raies et la non uniformité de distribution surtout que le réseau de drainage n'est pas prévu. Les figures 11 et 12 illustrent ce type de raies d'irrigation.



Figure 11 : Raies multiples



Figure 12 : Cultures de tomates sur raies multiples

3.4.5.2 Réseau d'irrigation et de drainage

Sur les périmètres formels, les réseaux d'irrigation comprennent généralement un canal primaire qui communique avec des canaux secondaires permettant l'approvisionnement en eau de blocs de parcelles ou quartiers hydrauliques. Les secondaires alimentent des canaux tertiaires et parfois des quaternaires qui assurent l'irrigation des parcelles.

Les canaux primaires et secondaires sont souvent revêtus tandis que les tertiaires sont en terre compactés.

Sur le terrain, les canaux présentent tous un état de dégradation qui affecte l'efficacité de transport de l'eau : cassures et fissuration des plaques de béton servant de vêtement, développement d'arbustes et d'herbes sur les surfaces revêtus, enherbement important des canaux tertiaires, etc.

Sur les périmètres informels alimentés en eau par motopompage, le réseau d'irrigation comporte une canalisation déposée à même le sol et communique avec un canal servant de canal primaire qui sillonne les parcelles à irriguer. Le contrôle de l'approvisionnement en eaux des parcelles à travers les raies d'irrigation se fait à l'aide de mottes de terre. Si sur les périmètres informels, les réseaux de drainage sont absents, sur les périmètres structurants, ils sont prévus, mais leur rôle semble être ignoré par les producteurs qui ne les utilisent pas et les détruisent dans l'esprit de gagner plus d'espaces aménagés. Cependant, l'irrigation dans les normes ne peut être réalisée sans un système de drainage (Kay, 1986 ; Walker et al., 1989), car celui-ci permet l'uniformité de l'infiltration de l'eau dans la zone racinaire sur la surface irriguée, en évacuant le surplus d'eau pour ne pas noyer l'extrémité de la parcelle en bas de pente.

L'autre risque qu'induirait l'absence du système de drainage est l'accumulation des sels, surtout si l'eau d'irrigation est salée.

Par ailleurs, les observations de terrain montrent que le volet entretien du réseau d'irrigation n'est pas toujours assuré, vu l'envasement et l'enherbement des canaux d'irrigation et de drainage, ce qui empêche la bonne circulation de l'eau. Chaque début de campagne devrait faire l'objet d'entretien du réseau d'irrigation, d'où la nécessité de disposer de plans de production et d'entretien des infrastructures d'irrigation.

Sur les grands et moyens périmètres (AMVS/Débé et Mogtédó), le piratage de l'eau (pompage illicite de l'eau sur le réseau d'irrigation) existe et est préjudiciable à la bonne application des programmes d'irrigation. Ce problème ne concerne pas les petits périmètres privés où le réseau d'irrigation est privé.

3.4.5.3 Fonctionnalité des infrastructures d'irrigation

Les visites de terrains ont permis de faire des observations sur l'état des infrastructures d'irrigation et notamment de relever des problèmes qui pourraient impacter négativement les performances techniques des périmètres. De façon générale sur l'ensemble des périmètres visités, il ressort que les réseaux d'irrigation sont mal entretenus aussi bien sur les périmètres formels que sur les périmètres informels. Sur les périmètres formels les canaux d'irrigations sont souvent dégradés et les ouvrages de régulations prévus lors de l'aménagement des périmètres absents.

Des pompes sont constatées sur les canaux d'irrigation, toute chose qui affecte le contrôle du débit dans le périmètre.

Sur les périmètres informels, l'absence de réseau de drainage a été constatée, toute chose qui favorise l'engorgement des parcelles. Sur les périmètres formels, le réseau de drainage, bien que prévu à l'aménagement du périmètre, est généralement délaissé voire détruit.

Que ce soit sur les périmètres formels ou informels, les producteurs n'exploitent pas toujours la même spéculation et même quand c'est le cas, ils n'ont pas toujours le même plan de production (divergence des dates de semis et/ou repiquage). Sur l'ensemble des 16 périmètres visités, le tour d'eau n'est respecté sur aucun des

périmètres. Les arrosages paraissent relativement trop abondants, la tendance étant l'inondation des parcelles.

Au-delà de ces constats généraux, une synthèse des caractéristiques relatives au système d'irrigation, à l'état du réseau d'irrigation et au porteur de l'aménagement parcellaire de 5 périmètres irrigués (Mogtédó, Savili, Zorgongo, Débé/AMVS et Karfiguela) est présentée dans le tableau 9.

Tableau 9 : Caractéristiques des sites visités

Site	Système d'irrigation	Etat du réseau d'irrigation et de drainage	Auteur de l'aménagement parcellaire
Mogtédó Périmètre formel partiellement exploité en saison sèche principalement en maraîchage.	Périmètre gravitaire approvisionné en eau à partir de deux vannes installées au niveau de la digue du réservoir. Irrigation à la raie et par bassins (casiers rizicoles).	Canaux primaires et secondaires revêtus. Existence d'un canal de drainage non revêtu, enherbé et érodé, détruits à certains endroits par les producteurs. Ouvrages de régulations (modules à masques, vannettes tout ou rien (TOR) prévues à la réalisation du périmètre mais actuellement absentes ou totalement dégradées. Canaux enherbés, particulièrement les tertiaires avec présence de brèches et fissures. Prélèvement par pompage sur le canal primaire.	Aménagement parcellaire réalisé à la construction du périmètre Réaménagement des bassins rizicoles en raies d'irrigation par les producteurs.

Site	Système d'irrigation	Etat du réseau d'irrigation et de drainage	Auteur de l'aménagement parcellaire
Savili 42 ha dont environ 21 ha sont mis en valeur par campagne sèche	Périmètre californien. Station de pompage composée de 7 motopompes dont deux en état de fonctionnement, installées sur la tête d'un chenal rapprochant l'eau du réservoir au périmètre. Irrigation à la raie et par bassin. Motopompes en très mauvais état.	Conduite principale en tube galva enterré reliant des bornes de distribution qui alimentent les parcelles. Chaque borne présente trois cannes de sorties (photo 10). Petites fuites remarquées sur les points de raccordement de la partie visible de la canalisation au sortir de la station de pompage (figure 29) Pas de système de drainage (figures 41 et 44) et de régulation	Aménagement parcellaire réalisé par les producteurs
Zorgongo Superficies exploitées environs 100 ha en maraîchage	Arrosage par aspersion traditionnelle à l'aide d'arrosoir ou de seau et gravitaire par pompage à l'aide de pompe à pédales. Irrigation à la raie. Source d'eau puits : maraîchers et puisards.	Canal de refoulement constitué d'un tube pvc de diamètre 80 mm et mesurant environ 10 m. Ce tube est relayé par un sillon en terre constituant le canal primaire qui approvisionne les parcelles. Pas de système de drainage. Pas d'ouvrages de régulation.	Aménagement et réseau d'irrigation réalisés par les producteurs. Absence de travaux de planage et de nivellement
Débé/AMVS Périmètre de Débé 540 ha (maïs et oignons sont les principales cultures en saison sèche)	Périmètre gravitaire approvisionné par pompage thermique couplé à un système d'hydro vis Irrigation à la raies [cultures maraichères et maïs (figure 26)] et par casiers rizicoles (riz). Source d'eau : Fleuve Sourou avec un chenal d'amenée creusé depuis le fleuve jusqu'au périmètre	Canaux primaires et secondaires revêtus (figure 25). Existence d'un canal de drainage en terre enherbé (figure 27). Ouvrages de régulations (modules à masques, vannettes tout ou rien (TOR) prévues à la réalisation du périmètre actuellement présents dans la plupart des cas mais dégradés. Enherbement important des tertiaires et quaternaires. Canaux relativement en bon état. Prélèvement par pompage sur le canal primaire.	Aménagement parcellaire réalisé par les producteurs

Site	Système d'irrigation	Etat du réseau d'irrigation et de drainage	Auteur de l'aménagement parcellaire
Karfiguela 350 ha aménagés dont 150 ha sont mis en valeur par campagne sèche	Périmètre gravitaire approvisionné à l'aide d'une prise en rivière sur le fleuve Comoé. Irrigation par casiers riziocoles (riz) et à la raie (cultures maraichères et maïs)	Canaux primaires, secondaires et tertiaires revêtus. Canaux quaternaires non revêtus. Existence d'un canal de drainage non revêtu, enherbé et dégradé. Ouvrages de régulations (modules à masques, vannettes tout ou rien (TOR) prévues à la réalisation du périmètre mais actuellement absents ou totalement dégradés. Canaux érodés, fissurés, décapés par endroit et généralement enherbés. Prélèvement par pompage sur le canal primaire.	Aménagement parcellaire réalisé à l'entreprise à la création du périmètre. Réaménagement des bassins en raies d'irrigation réalisé par les producteurs

Par rapport à la fonctionnalité des périmètres irrigués, les remarques ci-après peuvent être relevées :

❖ **Manque d'eau pour exploiter en partie ou la totalité de la superficie aménagée :**

La visite du périmètre irrigué de Karfiguela et des entretiens réalisés avec les exploitants, il ressort que sur une superficie totale aménagée de 350 ha, les producteurs ont mis en place un système d'exploitation alterné.

En effet, les producteurs se sont répartis en deux groupes pour exploiter alternativement la moitié de l'aménagement par saison sèche. Malgré la réduction de moitié de la superficie aménagée, les producteurs sont toujours confrontés à l'insuffisance d'eau pour l'approvisionnement en eau du périmètre.

Parallèlement, on observe sur ce périmètre une forte dégradation du réseau d'irrigation, ce qui réduit l'efficacité dans la distribution de l'eau. D'autres périmètres aménagés en aval de barrage comme Manga aval et Boulbi, ne sont plus exploités en saison sèche par manque d'eau. Dans ces deux derniers cas, les producteurs réalisent des puisards en aval des barrages pour produire en saison sèche.

Certains barrages comme Mogtédou, Dano, Lantaogo (Annexe 1, figures 34 et 35) et le Lac Bam connaissent également de plus en plus des tarissements précoces, entraînant parfois des pertes importantes de récoltes comme ce fut le cas en 2012 pour de nombreux producteurs à Mogtédou et autour du Lac Bam.

Enfin, sur de nombreux sites aménagés comme non aménagés, un seul cycle de production au lieu de deux s'impose à cause du manque d'eau.

En réalité la capacité de certains barrages semble avoir été réduite du fait de l'envasement des barrages qui ne stockent donc plus assez d'eau pour les besoins des populations.

❖ **Problèmes d'entretien des moyens d'exhaure de l'eau**

Pour ce cas, les sites comme Débé/AMVS et Savili où les moyens de pompage sont vétustes peuvent être cités. A l'AMVS, l'approvisionnement en eau du périmètre est assuré par un système de relevage hydraulique à l'aide d'hydro vis (Annexe 1, figures 23 et 24). Le dispositif d'ensemble (hydro vis et motopompes), qui permet l'approvisionnement en eau du périmètre notamment les motopompes, semble relativement usé et manqué d'entretien (Annexe 1, figures 24 et 28).

Au niveau du périmètre de Savili, aménagé depuis 1984 et équipé de quatre motopompes, seule une motopompe est encore fonctionnelle. Si les producteurs étaient suffisamment bien organisés, ils devraient être capables d'assurer l'entretien et le renouvellement des équipements amortis. Les efforts de sensibilisation des producteurs dans leur responsabilité dans la gestion durable des moyens de production mis à leur disposition devraient être poursuivis. Pour une meilleure valorisation des périmètres irrigués, l'appropriation de la gestion et du renouvellement des infrastructures d'irrigation par les irrigants semble être déterminante.

❖ **Problèmes liés à la faible qualité technique des aménagements :**

Entre 2005 et 2008 avec l'appui du Fond Koweïtien pour le Développement Economique Arable (FKDEA)⁴, 761 ha de périmètres irrigués ont été aménagés dont seulement 50 ha sont exploitables annuellement (Jebbour, 2010). Il s'agit de la première grande série d'aménagements semi-californiens réalisés au Burkina Faso. Le diagnostic sur le fonctionnement de ces aménagements réalisés par Jebbour (2010) fait ressortir entre autres des problèmes de dimensionnement des stations de pompes et des réseaux d'irrigations, des insuffisances dans les études topographiques et l'absence d'aménagement parcellaire (labour, planage, nivellement, réseaux tertiaires et quaternaires etc.). Sur ce dernier point, il convient de relever que dans le cadre des aménagements communautaires, l'aménagement parcellaire est confié aux producteurs et évalué comme leur contribution aux travaux d'aménagement. Mais malheureusement, ces travaux ne sont pas toujours bien exécutés par les producteurs, qui du reste n'en ont aucune maîtrise.

⁴ Périmètres réalisés grâce à l'appui du Fonds Koweïtien pour le Développement Economique Arabe au profit du Burkina.

Dans ces conditions, l'aménagement d'ensemble présente des variations de pente, créant un problème de domination/inondation du périmètre en eau, ce qui rend difficile et parfois impossible le bon approvisionnement en eau du périmètre. Il conviendrait de confier l'ensemble des travaux d'aménagement à l'entreprise ou à la limite de mettre à la disposition des producteurs, l'assistance technique nécessaire pour la finalisation de l'aménagement parcellaire. La contribution du bénéficiaire pourrait aussi être financière pour constituer un fond de roulement dans le cadre de la valorisation du périmètre.

L'autre constat majeur concerne les autres insuffisances techniques relevées, apparemment imputables au prestataire.

A ce niveau, on peut penser éventuellement à la nécessité de recruter des entreprises compétentes et de renforcer la supervision et le suivi-contrôle lors de la réalisation des travaux d'aménagement, toute chose qui permettrait de prendre en charge progressivement toutes les insuffisances qui surviendraient lors de la réalisation des travaux. Il ressort de ce diagnostic que les aménagements de périmètres irrigués structurants au Burkina Faso sont principalement des périmètres gravitaires.

En effet, en dehors de l'irrigation par aspersion développée sur 4 000 ha de cannes à sucre à Banfora et sur quelques 600 ha de blé en expérimentation dans la vallée du Sourou et la micro-irrigation qui couvre 523 ha⁵ de superficie aménagée, le reste des superficies irriguées est en gravitaire et représente 91 % contre 8 % pour l'irrigation par aspersion et un peu moins de 1 % pour la micro irrigation.

L'option pour l'irrigation gravitaire peut s'expliquer par la faiblesse relative des coûts d'aménagement des périmètres gravitaires par rapport à ceux des autres types d'aménagements, notamment l'aspersion et la micro-irrigation, mais aussi à la disponibilité et à l'accessibilité des équipements d'irrigation gravitaire.

D'après le document de la stratégie nationale de développement durable de l'agriculture irriguée au Burkina Faso (MAHRH, 2004 ; MAH, 2011b), les coûts à l'hectare des aménagements gravitaires au Burkina varient entre 150 000 et 300 000 francs CFA pour les petits périmètres, 3 et 6 millions de francs CFA pour les moyens périmètres et 10 à 12 millions de francs CFA pour les grands périmètres.

Les petits périmètres gravitaires sont généralement des petits périmètres privés parfois appelés périmètres villageois pour lesquels l'investissement se résume à l'acquisition de la motopompes, à la réalisation d'un réseau d'irrigation constitué de sillons et d'un aménagement sommaire de la parcelle. Chaque année le réseau d'irrigation doit être reconstruit ainsi que les opérations d'aménagement parcellaire.

⁵ Les 523 ha se répartissent entre 350 ha de banane irriguée en goutte à goutte par un particulier à Banfora et 173 ha de goutte à goutte enterré, développé par la SOSUCO

Les moyens périmètres sont généralement des périmètres gravitaires par pompage et disposent dans ce cas d'une station de pompage (Annexe 1, figure 32) ou de périmètres construits en aval de petits réservoirs et alimentés par une vanne hydraulique. Dans l'un ou l'autre cas, le réseau d'irrigation est constitué de canaux primaires et secondaires en béton à ciel ouvert ou en conduite enterrée (PVC, PHD, etc.) parfois assortis d'ouvrages de contrôle et de gestion de l'eau à l'échelle du périmètre (Annexe 1, figure 33).

Les grands périmètres suivent le même modèle que les périmètres moyens mais sont plus importants en terme de superficie mais aussi en terme d'ouvrages connexes et associent parfois la construction du petit réservoir, d'ouvrages hydrauliques complémentaires autre que ceux des périmètres moyens.

Du reste, les irrigants sont habitués à voir l'eau couler et sont un peu méfiants par rapport à la micro-irrigation, du fait justement qu'avec cette technologie il n'est plus possible de voir l'eau couler dans les conduites d'irrigation. Les tests et les démonstrations liés aux avantages du système d'irrigation goutte-à-goutte en milieu paysan pourront progressivement amener les producteurs à adopter ce système.

La disponibilité et l'accessibilité des moyens d'exhaure et de transport de l'eau (motopompes, pompes à pédales, tuyauterie) sur le marché et l'existence de projets et programmes qui soutiennent les producteurs pour l'acquisition des équipements d'irrigation de surface justifient aussi le plus grand engouement des producteurs pour l'irrigation de surface.

Parmi les projets et programmes qui ont soutenu la promotion de l'irrigation de surface, le plus illustratif est le Programme de Développement de la Petite Irrigation villageoise (PPIV) qui a été mis en œuvre avec les Fonds de l'Etat et de l'Initiative des Fonds des Pays Pauvres très Endettés (PPTE6).

Cet engouement s'explique aussi en partie par l'accentuation des aléas climatiques et l'augmentation croissante de la population face à des périmètres structurants insuffisants pour répondre à la demande. Il s'en est suivi un développement anarchique de l'irrigation aux abords des plans et points d'eau existants en saison sèche, ce qui bouleverse les prévisions de disponibilité en eau pour les aménagements structurants existant et remet en cause le plan préalable de gestion de l'eau à la construction de ces périmètres, d'autant plus que le pompage n'est soumis à aucun contrôle.

⁶ Fonds de remboursement de la dette concédé par les pays développés au pays pauvres pour soutenir leurs efforts de développement à travers la lutte contre la pauvreté.

De façon générale il ressort de la visite et de l'analyse des informations collectées sur les sites :

- l'existence de Coopératives et de comités d'irrigants peu opérationnels,
- l'inexistence de plan de production unique sur les périmètres irrigués ;
- l'inexistence de plan d'allocation de la ressource en eau ;
- la dégradation, l'insuffisance d'entretien et le manque de renouvellement des infrastructures d'irrigation ;
- la mauvaise qualité des aménagements parcellaires (problème de planage, de nivellement, etc.)
- l'abondance des arrosages ;
- l'absence de drain sur les périmètres informels ;
- le non-respect des tours d'eau préétablis.

Ces constats témoignent du faible niveau technique et organisationnel des irrigants et organisations paysannes présentes sur les périmètres irrigués. Ce diagnostic tend à vérifier les hypothèses 2 et 3 qui mettent en cause respectivement le mode d'organisation des producteurs pour la gestion des aménagements hydro-agricoles qui aurait des impacts sur l'économie de l'eau, la productivité de l'eau et la durabilité des infrastructures hydrauliques et le faible niveau technique des irrigants qui affecterait la bonne gestion de l'eau d'irrigation et partant, l'efficacité et la productivité de l'eau d'irrigation.

3.4.6 Gestions des engrais et des pesticides sur les périmètres irrigués

Les enquêtes conduites sur les sites de l'étude indiquent que 96 % des irrigants réalisent une fertilisation chimique des cultures irriguées.

Cependant, il n'y a pas une mise en œuvre effective des fiches de fertilisation des cultures. Par rapport à la méthode d'application des fertilisants, en ce qui concerne par exemple la culture de la tomate et de l'oignon (Tableau 10), il est recommandé d'utiliser le NPK en fumure de fond à raison de 250 kg/ha et d'observer l'apport de l'urée à raison de 100 kg/ha en deux fractions par épandage et enfouissement ; la 1^{ère} fraction de 50kg/ha doit être apportée 30 jours après le repiquage et la seconde fraction (50kg/ha), 45 jours après le repiquage.

Concernant le NPK, dans la pratique son apport se fait une semaine après le repiquage. Le NPK est soit déposé au pied des plantes ou dispersé à la volée sur les parcelles sans enfouissement.

Concernant l'urée, 70 % des producteurs enquêtés disent observer l'apport de l'urée en 2 fractions, la première entre la 3^{ème} et la 4^{ème} semaines après le repiquage et la deuxième fraction autour de la 6^{ème} semaine après le repiquage. L'apport de l'urée se fait également par épandage ou par dépôt au pied des plantes sans enfouissement (Annexe1, figure 49).

Par ailleurs, certains producteurs mélangent urée et NPK et appliquent le mélange en même temps alors que les périodes d'application de ces deux engrais minéraux doivent normalement être décalées.

Pour le NPK, il apparaît que la période d'apport et le mode d'application ne sont pas conformes aux recommandations en matière de fertilisation de la tomate et de l'oignon.

Pour l'urée, si les périodes d'application semblent se rapprocher de celles recommandées, la méthode d'application correcte ne semble pas être observée.

De façon plus générale, selon les enquêtes, parmi les producteurs qui observent la fertilisation chimique, 68 % appliquent des doses inférieures aux doses recommandées tandis que 25 % utilisent des doses plus élevées que les doses recommandées et 5 % estiment respecter les doses recommandées. Enfin, 2 % des enquêtés ne se sont pas prononcés, ne maîtrisant pas les quantités effectivement appliquées et les doses recommandées.

Les producteurs qui appliquent des doses plus élevées que celles recommandées, disent espérer des rendements également plus élevés. Pour ceux qui appliquent des doses moindres que celles recommandées, ils justifient cela par l'inaccessibilité et/ou l'indisponibilité des engrais. En ce qui concerne spécifiquement l'oignon, certains producteurs qui appliquent des doses inférieures aux doses recommandées disent aussi craindre des pourritures des bulbes d'oignon car selon leur expérience, la fertilisation de l'oignon augmenterait le risque de pourriture des bulbes d'oignon récoltés. Cette idée est très répandue en milieu paysan.

Ainsi, sur le même site et pour la même culture, les pratiques de fertilisation diffèrent d'un producteur à l'autre.

Par ailleurs, les engrais chimiques disponibles et utilisés au Burkina Faso sont des formulations adaptées à la production du coton. En effet, les importations d'engrais au Burkina Faso visent fondamentalement à soutenir la production cotonnière. Ainsi, les engrais utilisés en irrigation en cultures maraîchères et céréalières sont les engrais initialement destinés à la production du coton à savoir l'Urée (46 %) et le NPK (14-23-14+6S+1B). Les enquêtes sur les sites ont permis de recenser d'autres formulations de NPK comme le 23-10-5+2%MgO+3%S+0,3%Zn, le 15-15-15 et le 10-10-10.

Mais, il ressort que les formulations indiquées sur les emballages ne correspondent pas toujours au contenu de ceux-ci. Des cas d'engrais appliqués restés insolubles ont été signalés sur plusieurs sites dont Mogtédou, Savili et Rassomdè, ce qui semble confirmer la disponibilité sur le marché d'engrais de qualité douteuse.

Ainsi, l'application des fertilisants chimiques ne se réalise pas toujours conformément aux recommandations indiquées par les structures de recherche telles que l'Institut de l'Environnement et Recherches Agricoles du Burkina Faso (INERA).

A titre d'exemple, le tableau 10 donne les doses d'engrais à appliquer sur les cultures maraîchères comme la tomate et l'oignon.

Tableau 10 : Fiche technique de fertilisation de la tomate et de l'oignon en production de saison sèche au Burkina Faso

Type d'engrais	Quand appliquer	Dose recommandée	Comment appliquer	Observations
Fumure organique	Au moment du labour	20 à 30T/ha tous les 3 ans	Epandre et enfouir à la préparation du sol	Ajouter du Burkina Phosphate au moment de la production de la fumure organique
NPK	14-23-14	250kg/ha	Epandre et enfouir à la préparation du sol	
	14-23-14+6S+1B			
	15-15-15			Ajouter 50 kg/ha de TSP en fumure de couverture
	10-10-20			Ajouter 100 kg/ha de DAP
Urée	46%N			
		1 ^{ère} fraction : 30 jours après repiquage	Epandre et enfouir par sarclo-binage	
		2 ^{ème} fraction : 45 jours après repiquage	Epandre et enfouir par buttage	

Source : INERA, 2017

Dans tous les cas, que les doses appliquées soient insuffisantes ou excessives, une partie des engrais azotés est perdue par volatilisation sous forme d'ammoniac.

L'autre aspect est que les fertilisants peuvent être entraînés par l'effet de ruissellement lors des irrigations ou perdus par percolation profonde. On peut également observer des pertes de fertilisants avec les eaux qui débordent des raies ou des parcelles irriguées mais également une concentration de fertilisants dans les zones de stagnation de l'eau du fait du mauvais planage et nivellement des parcelles.

Les parcelles étant parfois soumises à une double exploitation, en saison sèche et en saison humide, la mauvaise application des engrais peut avoir une conséquence sur l'environnement, notamment sur les sols, les eaux d'irrigation et l'air. L'étude de El Oumlouki et al., (2014) sur la qualité physico-chimique des eaux et des sols de périmètres dans la sous-région de Souss Massa au Maroc a conclu que les eaux d'irrigation avaient un pouvoir de salinisation important et alarmant lié à l'utilisation inappropriée des engrais.

Les pratiques actuelles de fertilisation semblent indiquer une faible connaissance des irrigants de l'utilisation des engrais. Il importe de renforcer la sensibilisation et la formation des irrigants sur l'utilisation des engrais mais aussi le contrôle de la qualité des engrais disponibles sur le marché et d'assurer un suivi régulier de la qualité des eaux et des sols des sites de production sous irrigation.

Au niveau du contrôle des bioagresseurs des cultures, tous les maraîchers reconnaissent également utiliser des pesticides comme moyen de lutte. Dans cet ordre d'idée, Naré et al., (2015) et Son et al., (2017) soutiennent que l'utilisation des pesticides sur les périmètres maraîchers se fait de manière systématique bien que la majorité des irrigants ne soit pas formée à l'utilisation de ces pesticides.

Par ailleurs, il ressort des enquêtes que la plupart des pesticides utilisés sont conçus pour la culture du cotonnier. Les maraîchers estiment que les produits recommandés par la recherche (INERA) pour contrôler les ennemis des cultures ne sont pas suffisamment efficaces sur les cultures maraîchères et céréalières. Ils semblent trouver plus de satisfaction dans l'utilisation des pesticides destinés au traitement contre les maladies et ravageurs du cotonnier.

Sur le marché des pesticides, il existe de nombreux pesticides non homologués, utilisés par les maraîchers. Les enquêtes sur le terrain ont révélé l'utilisation d'une gamme variée de pesticides, dont certains sont effectivement non homologués. Le tableau 11 fait la synthèse des pesticides rencontrés sur les sites.

Tableau 11 : Situation des pesticides recensés sur les sites

N°	Nom Commercial	Molécule active (s) (M A)	(s) des produits	Catégorie	Aspect	Application	Classification OMS	Homologué (oui ou non)
	Almaneb WP	Maneb 80 %	Fongicide		Pâteux	Maraîchage	-	Non
	Attakan EC	344	Cyperméthrine (144 g/L) Imidaclopride (200 g/L)	Insecticide	Liquide	Coton	II	Non

N°	Nom Commercial	Molécule active (s) (M A)	Catégorie des produits	Aspect	Application	Classification OMS	Homologué (oui ou non)
	Atrazine 800		Herbicide	Poudre	Coton	-	Non
		Endosulfan (25%)	Insecticide		Traitement semences		
	Caïman rouge	Thirame (25%)	Fongicide				
		Endosulfan	Insecticide		Traitement semences		
	Calthio	Thirame	Fongicide				
		Cyperméthrin e (72 g/L)	Insecticide	Liquide	Coton	II	Oui
		Acétamipride (16 g/L)					
	Conquest EC	88 Cyperméthrin e (72 g/L)	Insecticide	Liquide	Coton	II	Oui
		Acétamipride (16 g/L)					
	Consder supra	Imidaclopride (200 g/L)	Insecticide		Maraichage	-	Non
		Mancozeb 80% (250 g/100L)	Fongicide	Pâteux	Maraichage	-	Non
	Curacron EC	500 Profénofos (500 g/L)	Insecticide	Liquide	Coton	III	Oui
		Cyperméthrin e (36 g/L)	Insecticide	Liquide	Coton	-	Non
	Cypalmt EC	186 Triazophos (150 g/L)					
	Cypercal EC	50 Cyperméthrin e (50 g/L)	Insecticide	Liquide	Maraichage	III	Oui
	Decis 25 EC	Deltaméthrin e	Insecticide	Liquide	Maraichage	II	Oui

N°	Nom Commercial	Molécule active (s) (M A)	Catégorie des produits	Aspect	Application	Classification OMS	Homologué (oui ou non)
	Deltacal EC	12,5 Deltaméthrine (12,5 g/L)	Insecticide	Liquide	Maraichage	II	Oui
	EMA EC	19,20 Demectine benzoate (19,2 g/L)	Insecticide	Liquide	Coton	II	Oui
	Fulan 3 %	Carbofuran (30 g/kg)	Nématocide	Poudre	Maraichage	-	Non
	Furadan	Carbofuran	Insecticide	Poudre	Maraichage	Ib	Non
	Lamda super	Iambda-cyhalothrine	Insecticide	Liquide	Maraichage	II	Non
	Limaneb	Maneb : (30 à 40 g/L)	Fongicide	Poudre	Maraichage	-	Non
	Pacha 25 EC	Acétamipride (10 g/L)	Insecticide	Liquide	Coton	II	Oui
	Polytrine	Cyperméthrine (36 g/L) Profénofos (150 g/L)	Insecticide	Liquide	Coton	II	Non
	Titan 25 EC	Acétamipride (25 g/L)	Insecticide	Liquide	Coton	II	Oui

Source : Données d'enquêtes

Concernant la préparation des bouillies de traitement, il ressort de façon générale que chaque producteur prépare sa bouillie suivant son niveau de formation ou selon les conseils du fournisseur.

Par rapport au respect des doses et intervalle entre les traitements, l'enquête révèle que les pratiques phytosanitaires des producteurs sont différentes de celles recommandées. En effet, de façon pratique, si on considère l'insecticide systémique « TITAN 25 EC » qui est très présent sur les sites visités et dont la matière active est l'Acétamipride (25 g/l), le fabricant recommande 25g /ha de matière active avec un intervalle de deux semaines entre le traitement et un nombre maximum de traitements limités à trois par année.

Pour la plupart des matières actives des insecticides homologués, le nombre de traitements autorisés est de 2 à 3.

Au niveau des fongicides le nombre de traitements permis est de 3 pour certains fongicides (Zambro- Améctotradine /Diméthomorphe), 5 pour d'autres (Acrobat 50 WP/Diméthomorphe, Torrent 400 SC / Cyazofamide) voire 10 dans d'autres cas (COOPER SPRAY/Oxychlorure de cuivre).

Selon les résultats des enquêtes sur les sites, lorsque la situation phytosanitaire est calme, 1,5 % des producteurs observent une fréquence d'application de plus d'une fois par semaine, 88 % une fréquence d'application d'une fois par semaine et 10,5 % une fréquence d'application d'une fois toutes les deux semaines.

En cas d'attaque constatée, 90 % des producteurs appliquent des traitements tous les 3 à 4 jours et 10 % des producteurs traitent tous les 5 jours.

Ainsi, il apparaît que sur le terrain, quel que soit le produit utilisé, le délai entre deux traitements était largement en-dessous de 14 jours et le nombre de traitements par année/campagne de production extrêmement élevé par rapport au nombre maximum de traitements préconisés.

Il est aussi observé sur le terrain que pour les besoins de traitement, le producteur achète un seul type de produit phytosanitaire pour assurer tous ses traitements alors qu'il est recommandé d'alterner les applications en utilisant des pesticides de familles chimiques différentes, afin de limiter les risques d'apparition de résistance. A titre d'exemple, il est recommandé d'alterner l'application du TITAN 25 EC avec d'autres familles chimiques comme les organophosphorés (pyrical) ou les pyréthrinoïdes (cypercal, deltalac, etc.).

Dans ce contexte, Tarnagda et al., (2017) déplorent une gestion et une utilisation très peu rigoureuses des pesticides sur les périmètres maraichers au Burkina Faso, ce qui pourrait constituer une menace pour le maintien de la biodiversité et de la productivité des écosystèmes naturels.

De nombreuses études mentionnent également des mauvaises pratiques phytosanitaires liées notamment au non-respect des doses prescrites, au non-respect des règles de protection phytosanitaires, mais aussi au non-respect des règles de gestion des emballages vides (Son et al., 2017 ; IFDC, 2007 ; Naré et al., 2015).

Dans le même sens, d'autres études (Assogba-Komlan et al., 2007; Dembélé et al., 2008 ; Tano et al., 2011) soutiennent que l'utilisation des pesticides se fait de manière abusive dans la perspective d'accroître les rendements de production des cultures maraîchères, sans tenir compte des conséquences sur l'environnement.

C'est pourquoi, il paraît essentiel et opportun de conduire un travail de formation, d'information et de sensibilisation au profit des maraîchers en vue de leur permettre de mieux maîtriser les enjeux liés à l'utilisation des pesticides. Un suivi approfondi de la qualité des eaux et des sols permettra également d'anticiper sur les dispositions à prendre pour éviter ou corriger la pollution des eaux et des sols et de l'air liée à l'utilisation des engrais et des pesticides. Ainsi, il apparaît que les irrigants ont une faible maîtrise des connaissances en matière de gestion des engrais et pesticides dans le cadre de la conduite de l'activité de production irriguée

Cette enquête soutient l'hypothèse 3 qui met en cause la faiblesse du niveau technique des irrigants pour une gestion efficiente de l'eau d'irrigation.

CONCLUSION

Ce diagnostic fait ressortir la faiblesse technique et organisationnelle des irrigants et organisations de producteurs des périmètres irrigués pour assurer la bonne gestion des infrastructures d'irrigation, de l'eau et de façon générale une bonne organisation de la production sur les sites. Il met en exergue la mauvaise qualité des aménagements parcellaires, la mauvaise installation des équipements de pompage de l'eau (Annexe 1, figure 37) pour l'irrigation et un mauvais entretien des équipements et ouvrages hydrauliques. Ces facteurs impactent négativement sur la bonne gestion de l'eau d'irrigation. L'eau utilisée pour l'irrigation ne présente aucun risque pour les cultures et le sol en termes de salinité et d'acidité. Toutefois, un suivi plus approfondi de la qualité des eaux s'avère nécessaire pour évaluer la pollution éventuelle des sols et des eaux d'irrigation par les intrants chimiques et organiques. Cette étude approfondie se justifie du fait de la mauvaise gestion des engrais et pesticides sur les sites d'irrigation.

De même, la mauvaise gestion des engrais et pesticides interpelle sur le faible niveau technique des irrigants et la nécessité de renforcer leur capacité à cet effet.

Concernant l'aménagement parcellaire, il conviendrait d'inclure les travaux de finition des aménagements de périmètres irrigués dans le contrat de l'entreprise et de former les producteurs, notamment ceux des périmètres informels, sur la réalisation appropriée de l'aménagement de la parcelle pour l'irrigation et l'installation des équipements de pompage. Ce chapitre montre aussi pour certains sites une insuffisance de l'eau pour couvrir les besoins en eau des cultures du fait d'un développement important de périmètres informels et de la diminution probable de la capacité de stockage de certains réservoirs. La concertation entre les acteurs devrait permettre d'évaluer les superficies à exploiter en tenant compte des ressources en eau disponibles. L'autre aspect, c'est une meilleure gestion de l'eau, qui passe d'une part par le respect des tours d'eau mais également l'utilisation raisonnée de l'eau en tenant compte des besoins en eau des cultures. Un travail d'accompagnement des irrigants sur le pilotage de l'irrigation à travers la mise à disposition de calendriers d'irrigation appropriés, voire l'adoption d'outils de pilotage de l'irrigation pourrait contribuer à une meilleure gestion de l'eau sur les périmètres irrigués.

Toutefois il convient de renforcer les capacités techniques des irrigants sur toute la chaîne de leurs activités et de repenser le rôle des organisations paysannes sur les périmètres irrigués en prenant en compte la question de la gestion de l'eau et des infrastructures d'irrigation. Les questions liées à la production (approvisionnement en intrants, accès aux crédits ; commercialisation) et à la gestion de l'eau et des infrastructures d'irrigation pourraient être gérées par des structures différentes pour plus d'efficacité.

4.

**Analyse de la pertinence des fréquences
d'irrigation à l'aide du suivi de la tension
du sol**

4. Analyse de la pertinence des fréquences d'irrigation à l'aide du suivi de la tension du sol

4.1 Objectif de l'essai

Les constats issus de la visite des 16 périmètres irrigués semblent indiquer des apports trop importants d'eau sur les parcelles sous irrigation. L'une des approches simples pour vérifier la rationalité des approvisionnements en eau des parcelles sous irrigation est le suivi de la tension du sol.

Pour apprécier la pertinence des fréquences d'irrigation des producteurs, la tension du sol de parcelles irriguées a été suivie sur trois sites à l'aide de tensiomètres à bougie poreuse (sonde Watermark).

Les résultats de l'essai permettront d'alimenter la discussion sur le pilotage de l'irrigation, et précisément l'efficacité des calendriers d'irrigation et la gestion efficiente de l'eau.

Le choix du tensiomètre à bougie poreuse se justifie par sa simplicité d'usage par les producteurs eux-mêmes.

4.2 Sites et approches méthodologiques

Les sites de Mogtêdo, de Savili et de Dêbé ont été choisis pour cet essai.

Les sites de Savili et de Mogtêdo sont de petits périmètres communautaires alimentés par de petits réservoirs et font l'objet d'investigations approfondies sur leur performance technique.

La prise en compte du périmètre de Dêbé, qui fait partie intégrante du grand périmètre de l'Autorité de Mise en Valeur de la Vallée du Sourou (AMVS) permet de faire une comparaison de la rationalité des irrigations entre les petits et les grands périmètres communautaires.

D'après la littérature, la profondeur racinaire pour laquelle la plante prélève la majeure partie de l'eau varient fortement et est assez controversée (Savva et Frenken, 2002).

Selon Allen et al., [1998], en général 40 % de l'eau extraite par la plante proviennent du premier quart supérieur de la profondeur d'enracinement total, 30 % du deuxième quart, 20 % du troisième quart et 10 % du quatrième quart.

La profondeur d'enracinement effective désigne la profondeur sur laquelle la plante est capable d'extraire l'eau du sol (USDA, 1997).

Par ailleurs, des auteurs analysent diversement l'effet de la fertilisation sur le développement racinaire. En effet, selon certaines études, l'apport d'éléments nutritifs tendrait à augmenter la longueur et la biomasse racinaire (Liljeroth et al., 1990). Cet avis est partagé par Drew et al., (1973) qui soutiennent que les racines se développent préférentiellement dans les zones où la nutrition minérale est optimale.

Cependant, d'autres travaux indiquent que l'absence d'éléments nutritifs conduit à un allongement racinaire (Clarkson et al., 1978).

Toutefois, la plupart des études s'accordent pour reconnaître que l'essentiel de la biomasse racinaire est localisé dans les vingt à quarante premiers centimètres du sol (Calvet R., 1999). Pour les cultures d'oignon et de maïs, leurs profondeurs d'enracinement effectives sont respectivement estimées entre 30 et 60 cm et entre 100 et 170 cm (Allen et al., 1998). Sur la base de ces enseignements et dans la vision d'apprécier l'état hydrique du sol dans la zone de concentration racinaire et l'horizon avoisinante, les mesures ont été réalisées à 30 cm de profondeur, zone de grande concentration racinaire de la plupart des cultures de céréales et de légumes et à 60 cm, horizon pouvant être exploré par le système racinaire du maïs et zone de percolation pour les cultures dont le système racinaire est peu profond comme l'oignon. Sur trois parcelles de 0,25 ha chacune, choisies sur chacun des trois sites (Mogtédou, Savili et Débé), Sept (07) tensiomètres y ont été placés sur chaque parcelle de 0,25 ha. Les mesures ont couvert principalement les stades initial et de croissance, et une partie du stade mi-cycle de l'oignon et du maïs. Les tensions du sol ont été relevées tous les soirs à partir de 16 heures.

4.3 Analyse des résultats des relevés de la tension du sol

4.3.1 Mesures in situ des profondeurs racinaires

Afin de vérifier les profondeurs racinaires du maïs et de l'oignon, des mesures in situ ont été réalisées par l'ouverture de fosses. Les résultats des mesures in situ des profondeurs racinaires du maïs et de l'oignon (tableau 12) montrent que le maïs Bondofa a la plus grande profondeur d'enracinement, de l'ordre de 90 cm. Cette profondeur d'enracinement est légèrement inférieure à l'intervalle moyen défini par la FAO (100 à 170 cm pour le maïs). Cette situation peut s'expliquer par les paramètres physico-chimiques du sol et/ou climatiques (Madsen, 1985, Tardieu et Pellerin, 1991).

Les profondeurs d'enracinement mesurées pour l'oignon de l'ordre de 31 cm sont dans les moyennes déterminées par Allen et al. [1998], à savoir entre 30 à 60 cm.

Ces profondeurs racinaires sont cohérentes avec celles de la littérature et l'option prise qui consiste à apprécier l'état hydrique du sol, en visant prioritairement la zone de grande concentration racinaire.

Tableau 12 : Profondeurs d'enracinement de l'oignon et du maïs

	Moyenne des profondeurs d'enracinement effectives mesurées [cm]	Coefficient de variation	Profondeurs d'enracinement effectives suggérées (Allen et al.,1998) [cm]
Oignon (violet de galmi)	31	0,11	30-60
Maïs (Bondofa)	90	0,16	100-170

Mesures de l'auteur comparées aux données de Allen et al., 1998.

4.3.2 Courbes de tension du sol

Les figures 13, 14 et 15 présentent les évolutions dans le temps des tensions du sol des parcelles irriguées sur les trois sites.

Pour les trois sites, les figures 13, 14 et 15 confirment un intervalle d'irrigation de 5 jours durant toute la période de l'essai. Les doses d'irrigation étant les mêmes à chaque arrosage, les tours d'eau devraient logiquement être à des intervalles plus grands au début du cycle de la culture et plus réduits au cours de la phase de croissance et mi- cycle. La modélisation des besoins en eau des cultures devrait permettre de disposer des doses et fréquences d'irrigation appropriées.

De façon générale, les figures 13, 14 et 15 montrent des tensions du sol tendanciuellement plus élevées en surface qu'en profondeur. La croûte superficielle du sol a tendance à se dessécher plus rapidement sous l'effet du vent et du soleil, mais aussi l'absorption racinaire qui y est plus intense par rapport aux horizons plus profonds. Il apparaît aussi clairement sur les figures que les irrigations interviennent alors que la tension du sol reste faible, en dessous des seuils critiques nécessitant le déclenchement de l'irrigation. En effet, l'irrigation pour les sols argileux par exemple est requise lorsque la tension se situe entre 50 et 100 kPa. Dans le cas présent, la tension est généralement en dessous de 40 kPa au moment de l'irrigation, ce qui montre que les doses appliquées gagneraient à être réduites ou que le nombre de jours entre évènement d'irrigation peut être augmenté. Dans tous les cas ces résultats montrent que les irrigations interviennent alors que le sol contient encore suffisamment d'eau pour satisfaire ses besoins momentanés.

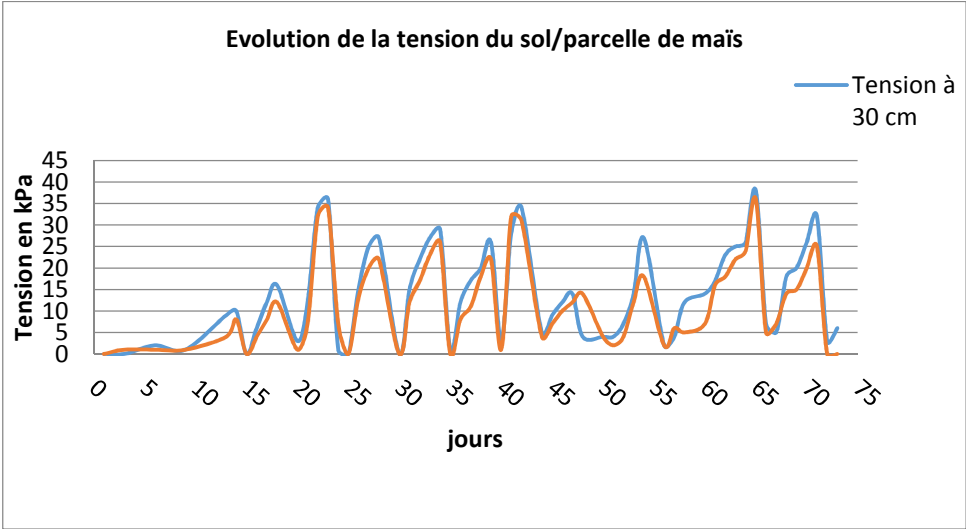


Figure 13 : Évolution de la tension du sol sur des parcelles de maïs à Mogtéo

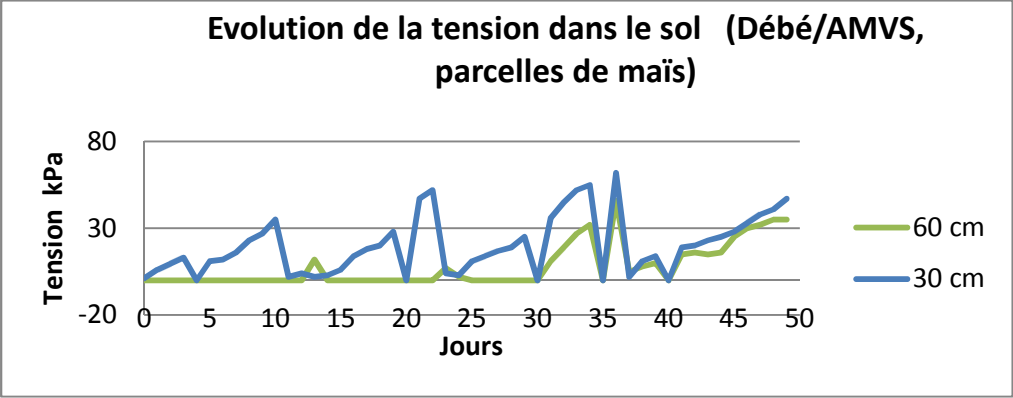


Figure 14 : Évolution de la tension du sol sur des parcelles de maïs à Débé/AMVS au Sourou

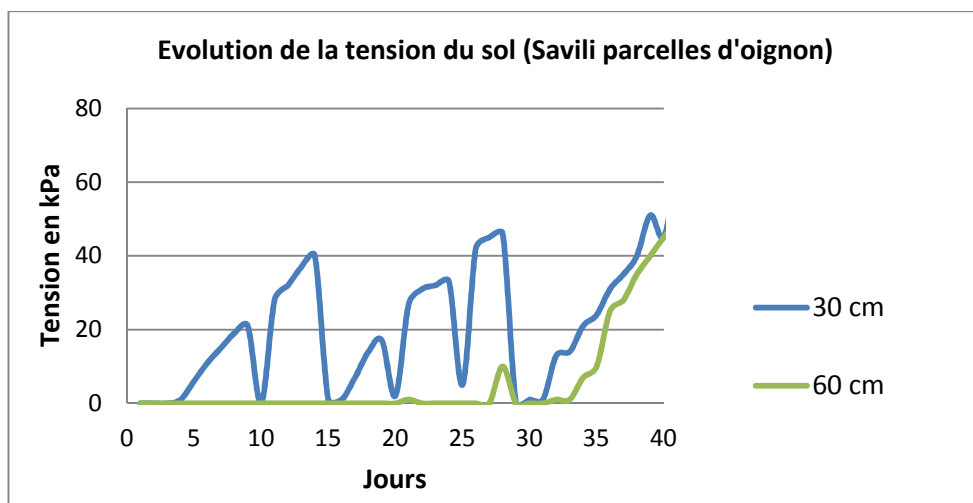


Figure 15 : Évolution de la tension du sol sur des parcelles d'oignon à Savili

Pour la culture du maïs sur le site de Débé/AMVS, à la profondeur 60 cm les tensions sont faibles à nulles. Par contre, au niveau de l'horizon de surface les tensions sont certes basses mais ne sont nulles qu'au moment des irrigations. Ainsi, sur l'horizon 30-60 cm, il apparaît un état de saturation du sol en eau. Etant donné que le système racinaire du maïs peut atteindre 90 cm, voire plus, cette situation peut impacter négativement sur la croissance et le développement de la culture (et du chevelu racinaire) du maïs du fait de l'excès d'eau en profondeur. Cet excès d'eau en profondeur pourrait s'expliquer par une remontée de la nappe phréatique et/ou une accumulation de l'eau d'irrigation dans l'horizon 30-60 cm, dû éventuellement à la présence d'une couche moins imperméable en profondeur. Pour la culture de l'oignon sur le site de Savili, les tensions restent également faibles au moment où intervient l'irrigation.

Au niveau de l'horizon de surface (0-30 cm) les tensions les plus fortes restent en dessous de 50 kPa. Pour l'horizon 60 cm, la tension est quasiment nulle sur une longue période. Au regard de la profondeur racinaire de l'oignon, l'horizon au-delà de 30 cm peut être considéré comme une zone de percolation. On peut ainsi penser à une accumulation de l'eau d'irrigation en profondeur ou à une remontée de la nappe phréatique sur une période, vu qu'au-delà du 30^{ème} jour il apparaît des variations de la tension en profondeur.

Au niveau du site de Mogtéo, les pics de tension aussi bien sur les 30 premiers centimètres que sur l'horizon 30-60 cm oscillent entre 10 et 60 kPa et les tensions nulles interviennent à l'arrosage. Par ailleurs, la tension du sol a tendance à remonter entre les événements d'irrigation sur les deux couches de sols considérées.

Dans ce dernier cas, compte tenu du fait que les tensions, bien que basses, évoluent en fonction des rapports en eau sans être nulles sur une période entre deux irrigations, on peut penser qu'il n'y a visiblement pas de remontée de la nappe

phréatique. Cet essai, qui avait pour seul but de vérifier la rationalité des apports en eau et des fréquences d'irrigation, montre effectivement une trop grande application de l'eau et à des intervalles généralement trop rapprochés. Les relevés tensiométriques indiquent que les irrigations interviennent alors que le sol contient encore assez d'eau pour répondre aux besoins en eau de la culture.

En effet, considérant les recommandations du Bureau National des Sols du Burkina Faso (BUNASOL) [1985] qui préconisent à la capacité au champ un potentiel matriciel de pF_{2,5} pour les sols à texture grossière (limono-sableuse ou sablo-limoneuse) et moyens (limoneuse, limono-sablo-argileuse), et un potentiel matriciel de pF_{3.0} pour les sols à texture fine (limono-argileuse, argilo-sableuse, argileuse), il apparaît que les irrigations surviennent en dessous de la capacité au champ.

Compte tenu de la tension quasiment nulle sur une longue période sur le site de Débé et de Mogtédou, il convient de faire un suivi de la remontée de la nappe phréatique mais aussi de l'état de perméabilité du sol pour en tenir compte dans l'approvisionnement en eau des cultures.

La mauvaise qualité de l'aménagement parcellaire peut également favoriser un effet de saturation du sol, vu l'absence de drains et la pratique de l'arrosage par inondation sur les cultures de maïs et d'oignon.

Sur la base de cet essai il convient de recommander sur ces sites une augmentation de l'intervalle d'irrigation et/ou une diminution de la dose d'irrigation. La détermination de la bonne fréquence et de la dose d'irrigation appropriée devrait faire l'objet d'une modélisation des calendriers d'irrigation.

Cet essai confirme une mauvaise maîtrise du pilotage de l'irrigation en terme de gestion des fréquences et des doses d'irrigation et tend à vérifier l'hypothèse 1, qui stipule que l'insuffisance de l'eau d'irrigation sur les périmètres aménagés s'explique par l'inexistence d'une bonne méthode de pilotage des irrigations pour assurer une économie d'eau à l'échelle parcellaire. De même cet essai soutient l'hypothèse 3 qui met en cause le faible niveau technique et organisationnel des irrigants ce qui justifierait les faibles niveaux d'efficience et de productivité de l'eau.

5.

Concepts d'efficience et de productivité de l'eau

(Article : Kambou D., Xanthoulis D., Ouattara K., Degré A., 2014. Concepts d'efficience et de productivité de l'eau (Synthèse Bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 18 (1), 108-120.)

5. Concepts d'efficience et de productivité de l'eau

Résumé

L'efficience et la productivité de l'eau sont des indicateurs utilisés dans de nombreuses disciplines scientifiques, généralement pour rendre compte des pertes en eau qui surviennent au cours de son usage ou des produits générés par unité d'eau consommée. Leur perception est très diversifiée dans la littérature. Mais les définitions les plus partagées présentent l'efficience de l'irrigation comme une mesure de l'efficacité de l'irrigation et l'efficience de la productivité de l'eau comme une mesure de l'efficacité du processus physiologique de production de biomasse et de formation de rendement des cultures, liée à leur consommation réelle en eau. Ainsi, un consensus semble se dégager en faveur de la considération de l'efficience d'application de l'eau (E_a) comme le rapport de l'évapotranspiration réelle à l'eau appliquée à la parcelle et de la productivité de l'eau comme le rapport du rendement à l'évapotranspiration réelle. Le point de divergence réside fondamentalement dans la compréhension des termes constitutifs des expressions de la productivité ($PE = \text{Produit} / \text{« eau consommée »}$) et de l'efficience d'application de l'eau ($E_a = \text{« eau consommée »} / \text{« eau appliquée »}$). En effet, le terme « eau consommée » est considéré selon les auteurs comme « l'évapotranspiration réelle », « l'irrigation brute plus l'eau de pluie », « l'évapotranspiration plus les eaux perdues à la parcelle mais profitables à d'autres usagers », etc. Par ailleurs, tout en apportant plus de précision sur les concepts d'efficience et de productivité de l'eau, cette revue montre que les facteurs qui affectent ces indicateurs sont peu élucidés. Ainsi, un des axes d'investigation pourrait être la modélisation de l'efficience d'application de l'eau en fonction des pratiques de gestion et de la productivité de l'eau en fonction de la période de mise en place de la culture.

Introduction

La raréfaction des ressources en eau et l'augmentation croissante de leur demande globale particulièrement dans le secteur agricole qui détient 70 % de la consommation en eau dans le monde (FAO, 2011), nourrit le débat sur la problématique de l'amélioration de l'efficience d'utilisation et de la productivité de l'eau (van Halsema et al, 2012). Les acteurs du secteur de l'irrigation, notamment les décideurs et les irrigants, ont besoin d'indicateurs sur l'efficience de l'irrigation et la productivité de l'eau, afin de mettre en place des stratégies appropriées de gestion durable des ressources en eau. Cependant, ces concepts sont de plus en plus différemment perçus, entraînant des confusions dans leur appréhension, ce qui complique leur application et exploitation objective et consensuelle (Bluemling et al., 2007 ; Lankford, 2012 ; van Halsema et al, 2012). Le présent article est une revue bibliographique critique sur les approches d'évaluation des indicateurs d'efficience et de la productivité de l'eau des systèmes irrigués ainsi que les facteurs qui les affectent.

L'objectif est de contribuer à apporter plus d'éclairage sur les différents concepts d'efficience et de productivité de l'eau. A cet effet, la méthodologie de recherche

documentaire de Pochet (2005) a été utilisée pour la recherche des références bibliographiques traitant de ces concepts.

La revue bibliographique est assortie de perspectives d'investigation sur les performances de l'irrigation à la parcelle.

5.1 Notion de systèmes d'irrigation

Les systèmes d'irrigation permettent l'arrosage de superficies aménagées de plus ou moins grandes tailles. Les superficies aménagées peuvent être en maîtrise totale⁷ ou partielle⁸ d'eau. Ainsi, selon les pays, des typologies des systèmes d'irrigation généralement basées sur la taille de l'aménagement sont proposées. Lorsque les superficies couvertes par le système d'irrigation permettent d'irriguer plusieurs centaines, voire des milliers d'hectares contigus, on parle de grands aménagements. Par contre, lorsque les superficies couvertes sont de l'ordre de quelques mètres carrés à des centaines d'hectares, on parle de petits et moyens aménagements. Les aménagements peuvent être communautaires ou individuels.

Sur les aménagements communautaires, le réseau d'irrigation est collectif et l'approvisionnement en eau des parcelles se fait suivant le principe du tour d'eau.

Les exploitants des aménagements communautaires sont souvent organisés en groupement coopératif. Dans la plupart des cas, les aménagements communautaires sont réalisés par l'état ou des organismes actifs dans le secteur du développement rural. Dans le cas de l'irrigation de surface, ils sont généralement assortis d'un plan de réseau d'irrigation définitif avec des canaux primaires en béton à ciel ouvert ou en tuyauterie enterrée (semi californien-Annexe 1, figures 32 et 38), des stations de pompes et de vannes de régulation. Quant aux aménagements de type individuel, ils sont réalisés par les producteurs eux-mêmes, généralement sans aucune étude préalable. Ces aménagements sont installés anarchiquement autour des points d'eau, de façon éparse et les irrigants y travaillent individuellement ou en petits groupements. Ils utilisent des motopompes, des pompes à pédales ou des puisettes qui sont des équipements permettant de pomper ou de puiser l'eau. Les raies, planches et réseaux d'irrigation sont conçus juste pour une campagne de production.

Les systèmes d'irrigation ont été décrits et classés en trois grandes catégories à savoir, l'irrigation de surface, l'irrigation sous pression (qui comprend l'irrigation goutte-à-goutte et l'irrigation par aspersion) et l'irrigation souterraine (Hlaveck, 1992; Rieul, 1997 ; Rieul et al, 2003; Compaoré, 2006, Tiercelin et al, 2006;).

⁷ L'approvisionnement en eau des cultures est assuré selon un programme défini par l'irrigant et/ou les gestionnaires de l'aménagement.

⁸ L'approvisionnement en eau des cultures est assuré par le ruissellement des eaux de pluies comme dans la riziculture pluviale.

En s'appuyant sur les descriptions de ces auteurs et bien d'autres, les systèmes d'irrigation et les techniques d'irrigation associées à chacune d'elles sont passés en revue dans le développement ci-dessous.

5.1.1 L'irrigation de surface

L'irrigation de surface ou irrigation gravitaire est le mode d'irrigation le plus ancien et le plus répandu dans le monde (Rieul, 1997). Elle concerne les techniques d'irrigation pour lesquelles la répartition de l'eau à la parcelle se fait à l'air libre et par simple écoulement à la surface du sol (Compaoré, 2006). Les techniques d'irrigation de surface comprennent l'irrigation par planche, l'irrigation par submersion, l'irrigation à la raie et l'irrigation de surface mixte. Elles se distinguent par la méthode d'application de l'eau, qui peut être par ruissellement ou par submersion.

Les techniques d'irrigation de surface entraîneraient un apport excessif d'eau. L'irrigation par submersion engendrerait par exemple l'utilisation de plus de 2 000 tonnes d'eau pour produire 1 tonne de riz, alors que le riz n'a besoin que de 800 tonnes d'eau pour ses propres besoins physiologiques (Lage et al., 2004).

Une grande partie de cette eau serait perdue par infiltration et percolation. Walker (1999) a montré que la culture du riz dans les rizières avec diguettes permanentes engendre des pertes importantes d'eau par infiltration latérale dans la digue et à partir de là, verticalement vers les eaux souterraines. Dans plusieurs pays rizicoles, l'efficience de l'irrigation est faible et varie entre 25 et 48 % (Walker, 1999; Lage et al., 2004). La cause majeure de cette faible efficience est due aux pertes élevées en infiltration latérale, qui s'accroissent avec l'augmentation de la hauteur de la lame d'eau dans la parcelle du riz. Ces pertes peuvent être minimisées par la réduction de la hauteur de la lame d'eau dans les diguettes, à un niveau inférieur à 5 cm (Walker et al, 1986 ; Lage et al., 2004).

Pour réduire les pertes dans l'irrigation de surface, des améliorations ont été introduites à l'aide de dispositifs mécaniques, qui permettent de mieux contrôler la répartition de l'eau en tête de parcelle et les débits délivrés dans les raies ou sur les planches et dans les bassins. C'est notamment les siphons, les gaines souples, les tubes à vannettes, les systèmes dits "californiens" et les dispositifs automatiques appelés "Trans irrigation" pour ce qui concerne l'irrigation à la raie. Au niveau des planches et bassins, les améliorations portent sur l'étanchéité du canal qui distribue l'eau en tête de parcelle et à son équipement en vannes de régulation qui permettent d'alimenter successivement les biefs de ce canal, et de vannes de prises latérales qui alimentent les planches ou bassins. Avec l'association de ces techniques, les rendements hydrauliques de l'irrigation de surface peuvent passer de moins de 50 % en irrigation traditionnelle à 70-80 % en irrigation modernisée (Rieul, 1997).

5.1.2 L'irrigation sous pression

L'irrigation sous pression nécessite la mise en pression préalable de l'eau. Les techniques d'irrigation sous pression comprennent l'aspersion qui est une imitation de la pluie et la micro-irrigation qui permet de livrer l'eau et les fertilisants directement au pied de la plante. Ces deux techniques permettent d'apporter aux cultures les quantités d'eau qui cadrent avec leur besoin sans engendrer des pertes importantes. Les efficacités hydrauliques en irrigation sous pression sont de l'ordre de 90 à 95 % (Rieul, 1997 ; Compaoré, 2006). Il convient de noter qu'il s'agit ici en réalité des rendements hydrauliques, qui mettent plus l'accent sur l'efficacité du système à convoyer l'eau depuis le dispositif de pompage jusqu'au champ. En effet, les rendements hydrauliques ne s'intéressent pas au devenir de l'eau livrée à la parcelle, notamment les pertes par dérive et par évaporation qui peuvent être importantes selon les conditions météorologiques, particulièrement en irrigation par aspersion et la consommation réelle de l'eau par les cultures par rapport au volume livrée à la parcelle.

Les nuances liées à la notion d'efficience sont discutées plus amplement au point « 5.2 Notion d'efficience et de productivité de l'eau agricole ». En plus des bons rendements hydrauliques, les techniques d'irrigation sous pression permettent un travail du sol sans nivellement. Cependant, elles sont relativement plus coûteuses par rapport à la technique d'irrigation de surface.

5.1.3 L'irrigation souterraine

L'irrigation souterraine serait un des ancêtres de la micro-irrigation (Hlaveck, 1992). Désignée sous le vocable de “subirrigation” dans les pays anglo-saxons, cette technique consiste à recharger une nappe par injection d'eau dans le sol en utilisant un réseau de drains enterrés, ou, plus rarement un réseau de fossé (Chossat et al, 2006). Une autre technique proche de l'irrigation souterraine est l'irrigation souterraine par tuyaux poreux, qui se caractérise par un apport d'eau à l'aide de conduites poreuses, disposées à faible profondeur. Cette technique utilise le processus de diffusion capillaire pour assurer les transferts hydriques depuis les tuyaux jusqu'au système racinaire.

L'application de cette technique exige l'abondance des ressources en eau et la présence soit d'une nappe souterraine permanente soit d'une nappe perchée temporaire. La technique requiert également des sols hydro morphes, perméables et à topographie plane. Sa mise en œuvre nécessite l'installation de dispositifs expérimentaux représentatifs, repartis sur les sites à exploiter.

D'après des mesures effectuées dans le Médoc par Chossat et al., (1987), les apports d'eau à l'aide de la technique d'irrigation souterraine correspondaient à 2,7 à 3 fois l'évapotranspiration potentielle (ETP), avec des pertes latérales importantes. Compaoré (2006) pense que cette modeste efficience de la technique d'irrigation souterraine, dans un contexte de ressources en eau de plus en plus sollicitées et donc de plus en plus limitées contribuera à réduire sa généralisation dans l'avenir.

En termes d'avantage, le niveau d'investissement pour la technique d'irrigation souterraine est plus modeste que celui des techniques d'irrigation par aspersion et goutte-à-goutte. Par ailleurs, il n'y a pratiquement pas de perte par ruissellement et évaporation. Enfin, dans le cas d'un réseau de drains enterrés, la technique ne gêne en rien la circulation des engins agricoles.

Les technologies d'irrigation telles que décrites précédemment, affectent les efficacités de l'irrigation. En outre, les performances techniques et productives de l'irrigation peuvent aussi être affectées par les capacités techniques et organisationnelles des irrigants et gestionnaires des périmètres irrigués (IWMI, 1997; Wellens et al., 2009).

Par ailleurs, le choix d'un système d'irrigation est délicat et doit tenir compte d'un certain nombre de paramètres dont la disponibilité et la qualité des ressources en terre et en eau, les exigences financières et techniques du système d'irrigation et son aptitude à assurer convenablement l'irrigation de la culture à exploiter (Hlavec, 1992).

5.2 Notion d'efficience et de productivité de l'eau agricole

La notion d'efficience de l'irrigation, qui se résumait encore au rapport de l'eau consommée dans la zone racinaire à celle appliquée (Israelsen et al., 1944 ; Israelsen, 1950) avant la deuxième guerre mondiale est devenue, dans les années 1950, un facteur utilisé dans l'ingénierie pour la conception et l'opérationnalisation des technologies d'irrigation (van Halsema et al., 2012). À partir des années 1990, le concept d'efficience s'est élargi aux études de performance technique et économique de l'irrigation et de comptabilité de l'eau à l'échelle de la ressource en eau, intégrant la notion de productivité (Lankford, 2012). De nos jours le concept d'efficience est diversement perçu et utilisé aussi bien dans le domaine de l'irrigation que dans d'autres disciplines scientifiques, entraînant parfois des confusions qui compliquent leur application (van Halsema et al., 2011). Nous passons ici en revue les principales acceptions de la notion d'efficience.

5.2.1 Conception traditionnelle de l'efficience de l'irrigation

La conception de l'efficience d'irrigation, définie comme le rapport:

$$EI = \frac{\text{Eau utilisée avantageusement}}{\text{Eau totale appliquée}} \quad (\text{Eq.12})$$

est le concept traditionnel de l'efficience d'irrigation du génie hydraulique (van Halsema et al., 2012).

Cette perception de l'efficience met l'accent sur la quantité d'eau libérée à partir d'une source et la consommation réelle d'eau par les cultures. Un intérêt spécifique a été porté sur les phénomènes de déperdition d'eau qui surviennent au cours du transport de l'eau, de sa source à la parcelle, afin de définir l'aptitude du système de transport à assurer le transport de l'eau sans perte, conduisant à la notion d'efficience de transport ou efficience du réseau (Bos et al., 1990; Perry, 2007). En considérant séparément les événements qui se passent à la parcelle ou au champ, et ceux qui se passent au cours du transport de l'eau, il apparaît dans le concept d'efficience de l'irrigation deux sous-concepts : (i) l'efficience de transport (E_t) qui traduit la performance de la technologie (Brouwer et al., 1989 ; van Halsema, 2002 ; van Halsema et al., 2012). Les fourchettes d'efficience généralement utilisées pour caler les débits à libérer à la source selon la technique d'irrigation sont de l'ordre de : 30 < E_t < 70, en irrigation de surface et : 70 < E_t < 90 en irrigation sous pression (van Halsema et al., 2012).

(ii) L'efficience d'application (E_a), qui s'intéresse aux phénomènes de flux d'eau à la parcelle est généralement définie comme le rapport entre l'eau consommée (E_c), « eau utilisée avantageusement par la plante » (Van Halsema et al., 2012) et l'eau effectivement appliquée à la parcelle (E_l) et s'exprime par :

$$Ea = \frac{Ec}{El} \quad (\text{Eq.13}).$$

Les efficacités qui découlent de cette expression dépendent de la compréhension qu'on donne à eau « utilisée avantageusement » (Burt et al., 1997 , Keller et al., 1995). En effet, certains auteurs proposent qu'il s'agit de l'évapotranspiration réelle de la plante (ETR) (Rao, 1993; van Halsema et al., 2011, van Halsema et al., 2012), et d'autres suggèrent la prise en compte des eaux supposées perdues à la parcelle, mais « profitables à d'autres utilisateurs » (Lankford, 2012). Pour Burt et al. (1997) le terme E_l du dénominateur doit correspondre à la différence entre le volume d'eau d'irrigation (VE_i) et le stock d'eau d'irrigation (ΔSi) soit $E_l = VE_i - \Delta Si$, ce qui revient à considérer au dénominateur toutes les « pertes » (évapotranspiration, percolation, ruissellement).

Dans le domaine de l'irrigation, cet indicateur (E_a) est défini pour fournir une idée sur l'adéquation des arrosages par rapport aux besoins effectifs en eau des cultures, mais ne considère pas les événements qui se passent de la source d'eau au champ ni des réutilisations possibles des eaux non valorisées à la parcelle par la plante. Il découle d'une logique d'optimisation des processus technologiques.

Ainsi, dans la conception de l'efficience classique, le terme du numérateur devrait correspondre à l'évapotranspiration réelle de la plante comme le soutiennent van Halsema et al., (2012). Par ailleurs, considérant que dans la pratique, les efficacités d'irrigation sont définies à l'échelle d'un système d'irrigation, pour mesurer son aptitude à convoier l'eau sans perte et à en faire un usage productif, van Halsema et al., (2012) suggèrent de limiter l'usage de ces indicateurs à leurs éléments constitutifs que sont l'efficacité de transport (primaire, secondaire, tertiaire) et l'efficacité d'application (parcelle, exploitation). Ainsi, la notion d'efficience avec ses deux termes (E_a et E_t) est présentée comme l'efficience globale de l'irrigation (E_G) et s'exprime par :

$$E_G = E_a \times E_t \text{ (Eq.14)}$$

5.2.2 Concepts de productivité (PE) et d'efficience d'utilisation de l'eau (EUE)

La productivité de l'eau (PE) a longtemps été définie comme le rendement des cultures par unité de transpiration (Viets, 1962).

Dans son acception actuelle, la notion de productivité de l'eau dans le secteur de l'irrigation se fonde sur l'idée de « Produire plus de grains par goutte d'eau » (FAO, 2002 ; Giordano et al., 2006). Il s'agit d'une mesure de l'accroissement des productions par unité d'eau consommée et s'exprime par :

$$PE = P/E_c \text{ (Eq.15)}$$

avec PE = Productivité en [kg.mm-1.ha-1]; P = Produit en [kg] ; E_c = Eau consommée, correspondant à l'évapotranspiration réelle par unité de surface en [mm ou m3].

Mais, des divergences et des nuances apparaissent dans la compréhension des termes « produit » du numérateur et « eau consommée » du dénominateur dans l'expression de la productivité. En effet, certains auteurs comprennent par « eau consommée », eau livrée, eau appliquée, eau disponible, etc. ce qui entraîne naturellement une confusion dans l'appréhension de la notion de productivité (van Halsema et al., 2012). D'autres auteurs (IWMI, 1997 ; Dembélé et al., 2002) présentent l'indicateur de la productivité de l'eau (PE) comme le rapport de la production (P) au volume d'eau reçu (V_e) pour l'irrigation de la parcelle :

$$PE = \frac{P}{V_e} \text{ (Eq.16).}$$

Des auteurs comme Playan et Mateos, (2006) pensent même que d'autres indicateurs de productivité peuvent être dérivés de l'équation (7), en faisant varier le « dénominateur » qui peut correspondre à : « Eau fournie » (irrigation + pluie); « Besoins bruts d'irrigation » (Evapotranspiration + besoins de lessivage), etc.

Dans ces conditions, il devient difficile de comparer des valeurs de productivité, les bases de calcul utilisant des variables fondamentalement différentes. Par ailleurs, au niveau du numérateur, les agroéconomistes qui perçoivent la productivité sous l'angle de la valorisation économique de l'eau, préfèrent remplacer le terme « produit » par sa valeur monétaire. Ils l'expriment comme le rapport de la valeur ajoutée du produit (VA), ou encore du revenu (R) au volume d'eau consommée pendant tout le cycle de production. Cette approche permet d'appréhender le produit financier généré par mètre cube d'eau (Bouaziz et al., 2002), mais occulte du même coup les aspects liés à la quantité de biomasse produite par unité d'eau consommée. Une autre confusion découle de la perception de la notion d'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE). L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE en kg m^{-3}) est généralement définie par :

$$\text{EUE} = [\text{production en (kg)}] / [\text{eau appliquée ou disponible (m}^3\text{)}] \text{ (van Halsema et al., 2012) (Eq.17).}$$

Dans cette expression, le dénominateur [eau appliquée ou eau disponible] est généralement considéré comme l'eau d'irrigation majorée des eaux de pluie. L'eau appliquée dans cette logique correspond à la quantité d'eau brute disponible à la parcelle ou au champ. De cette eau, une portion indéterminée, équivalant à l'évapotranspiration réelle de la culture (Etc.) est utilisée pour la production de biomasse par la plante. Cette notion prend en compte la nécessité de maximiser la production par unité d'eau disponible dans un contexte de demande alimentaire croissante et de ressources en eau limitées (Molden et al., 2010). Mais la confusion vient du fait que les phyto-physiologistes présentent l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) qui est un paramètre clé pour déterminer l'efficacité avec laquelle le secteur agricole utilise l'eau, comme le rapport du gain de carbone (GC en kg) par unité d'eau utilisée (EU en m^3) (Flexas et al., 2010) :

$\text{EUE (kg.m}^{-3}\text{)} = \text{GC/EU (Eq.17)}$. En fonction des variables associées aux termes « Gain de carbone » et « Eau utilisée », Flexas et al., (2010) distinguent plusieurs types d'efficacités d'utilisation de l'eau, ci-après définies, qui sont interdépendantes et se confondent parfois à la notion de productivité de l'eau.

❖ **Efficacité d'utilisation de l'eau par la culture (EUEc)**

Cette efficacité (EUEc) dépend de l'eau totale utilisée au cours du cycle de production de la culture, qui comprend l'eau perdue et non utilisée par la plante (évaporation, ruissellement, infiltration, etc.) et l'eau transpirée par la plante.

Elle est définie comme le rapport du gain total de carbone par la plante (GTC en kg) à l'eau totale utilisée (ETU en m^3) :

$EUEc \text{ (kg.m}^{-3}\text{)} = GTC/ETU \text{ (Eq.18)}$.

L'efficacité d'utilisation de l'eau par la plante entière ($EUEp$)

Elle prend seulement en compte l'eau utilisée par la plante (eau transpirée par la plante) et s'exprime par :

$EUEp \text{ (kg.m}^{-3}\text{)} = GTC/Tr \text{ (Eq.19)}$.

Cette efficacité apprécie le gain total de carbone (GTC) de la plante par rapport à sa consommation en eau, traduite par sa transpiration (Tr en m^3). La transpiration de la plante dépend de paramètres liés à sa croissance et à la structure de son couvert végétal, notamment l'indice de la surface foliaire et l'angle des feuilles qui déterminent le niveau d'interception de la lumière utilisée sous forme d'énergie pour la transpiration au niveau de la feuille.

La transpiration foliaire elle-même dépend de la demande évaporative de l'atmosphère, représentée par le déficit de pression de vapeur de la feuille à l'air (DPV), et de la conductance de la feuille, surtout de la conductance stomatique (Cs). Selon Barbour et al. (2010), la conductance du mésophylle, (Cm) est une limite importante et variable de la photosynthèse qui affecte également l'efficacité de la transpiration foliaire. Ces auteurs (Barbour et al., 2010) soutiennent qu'une variation significative de Cm a été trouvée entre des génotypes différents, et a été corrélée avec le taux de photosynthèse. Le génotype avec la Cm la plus élevée présenterait également la transpiration la plus élevée.

A partir de l'évaluation du gain net de carbone (GNC) [différence entre le gain de carbone par photosynthèse et les pertes de carbone par respiration], de la conductance stomatique (Cs) et du déficit de pression de vapeur de la feuille à l'air (DPV), Flexas et al. (2010) distinguent l'efficacité d'utilisation de l'eau à l'échelle de la feuille et l'efficacité intrinsèque d'utilisation de l'eau.

❖ L'efficacité d'utilisation de l'eau à l'échelle de la feuille.

Elle s'exprime par le rapport du gain net de carbone (GNC) à la transpiration foliaire (Tr) :

$EUEf \text{ (kg.m}^{-3}\text{)} = GNC/Tr \text{ (Eq.20)}$.

❖ L'efficacité intrinsèque d'utilisation de l'eau.

Elle est définie par le rapport du gain net de carbone (GNC) [différence entre le gain de carbone de la photosynthèse et les pertes de carbone par respiration] à la conductance stomatique (Cs) :

$EUEi \text{ (kg.m}^{-3}\text{)} = GNC/Cs \text{ (Eq.21)}$.

Enfin, considérant le rendement (en fruit de la culture de vigne), Flexas et al. (2010) définissent le rendement de l'efficacité d'utilisation de l'eau ($EUEr$). Ce rendement ne considère que le bilan de carbone des fruits de vigne et s'exprime par le rapport du rendement en fruit [Rdt (en $kg \cdot Ha^{-1}$)] à la transpiration (Tr en m^3) :

$EUEr \text{ (kg.ha}^{-1}.m^{-3}\text{)} = Rdt / Tr \text{ (Eq.22)}$.

Dans ce dernier cas, le rendement de l'efficacité d'utilisation de l'eau (Eq.22) semble s'assimiler à la notion de productivité de l'eau (Sadras et al., 2006 ; Bluemling et al., 2007).

Un autre indicateur d'efficience qui fait polémique dans la littérature est l'approvisionnement relatif en eau (ARE), qui s'exprime par :

$ARE = (\text{Volume d'eau disponible}) / (\text{Besoins réels en eau des cultures})$ (Eq. 23) (Rodriguez-Diaz et al., 2008 ; van Halsema et al., 2012).

Dans cette expression, les besoins réels en eau de la culture correspondent à l'évapotranspiration réelle de la culture. Si $ARE = 1$, cela signifie qu'il y a adéquation entre l'eau disponible et la consommation d'eau par la culture. Pour le calcul de ARE, l'IWMI (1997) introduit dans son expression au dénominateur l'évapotranspiration (ET) et les eaux perdues par percolation profonde (PP) et considère au numérateur les pluies efficaces (pef) et l'irrigation (Ir), ce qui donne :

$$ARE = \frac{Ir + pef}{ET + PP} \text{ (Eq. 24).}$$

Cette expression a été utilisée par Dembélé et al., (2002) dans l'évaluation des performances à la parcelle de périmètres irrigués au Burkina. En réalité, les eaux de percolation n'intervenant plus dans le processus de production de la plante ne devraient pas être prises en compte ; autrement dit, on aurait alors dû prendre en compte aussi bien les eaux perdues par ruissellement (colature), voire les eaux de lessivage.

Au regard de ces confusions, il est opportun de convenir des variables à utiliser pour ces concepts, afin de garantir leur compréhension et usage harmonisé et permettre à leurs utilisateurs de parler le même langage. Dans cet esprit, considérant que la notion de productivité, mesure l'efficacité du processus physiologique de production de biomasse et de formation de rendement des cultures, lié à leur consommation réelle en eau, de nombreux auteurs (Rao, 1993 ; Lage et al., 2004 ; van Halsema et al., 2012) suggèrent de s'en tenir à l'équation 4, comme expression de la productivité. Exprimée de la sorte, elle a aussi l'avantage de pouvoir être comparée dans l'espace et dans le temps pour le même type de culture (Sadras et al., 2006). En ce qui concerne l'efficience d'utilisation de l'eau, pour marquer la différence entre EUE et PE, van Halsema et al., (2012) pensent que EUE devrait être réservée pour les applications d'eau brute. Du reste, ils considèrent que EUE est plutôt une mesure de l'efficacité de l'irrigation et non un indicateur de productivité.

Au niveau de la perception économique, la valeur ajoutée par mètre cube d'eau consommé est un indicateur intéressant en ce sens qu'il peut permettre de cibler des cultures économiquement rentables, mais il reste un indicateur très sensible aux aléas du marché, avec des éventualités de variations importantes en fonction des espaces géographiques.

Le tableau 13 ci-dessous reprend les composantes des fractions des indicateurs de productivité et d'efficience de l'eau.

Tableau 13 : Résumé de quelques acceptions des notions d'efficience et de productivité de l'eau

N° des lignes et colonnes	1	2	3	4	5	6	7
1	Variable s	P Rdt ou	GTC	GNC	ETR ou ETR+PP	Ir+Pef	Auteurs
2	Tr	$EUE_c = P/Tr$	$EUE_p = GTC/Tr$	$EUE_r = GNC/Tr$			Flexas et al., 2010
3	ETU	$PE = P/ETU$	$EUE_c = GTC/ETU$				(3 ; 2) Playán et al., 2006 (3 ; 3) Flexas et al., 2010
4	ETR	$PE = P/ETR$					van Halsema et al., 2012
5	ETR+PP					$ARE = Ir+pef/ETR+PP$	Dembélé et al., 2002 ; IWMI, 1997
6	Cs		$EUE_i = GNC/Cs$				Flexas et al., 2010
7	EI	$PE = P/E_i$			$Ea_1 = ETR/E_i$ $Ea_2 = ETR+PP/E_i$		(7 ; 5) pour Ea_1 : van Halsema et al., 2012 ; Rao, 1993 (7 ; 5) pour Ea_2 : Lankford, 2012

Source : Synthèse de l'auteur à partir de la revue bibliographique (La colonne 7 donne quelques références d'articles traitant des concepts d'efficience et de productivité de l'eau)

NB : les deux chiffres entre parenthèses dans les lignes de la colonne 7 représentent respectivement les numéros de ligne et de colonne dont l'intersection correspond à la cellule contenant l'indicateur concerné. Là où il n'y a pas de parenthèses, tous les indicateurs de la ligne sont concernés.

5.3 Approches de calcul des principaux indicateurs de performance à la parcelle

Pour apprécier les performances de l'irrigation à la parcelle, deux indicateurs sont généralement utilisés : l'uniformité de distribution (UD) et l'efficacité d'application (Ea).

5.3.1 Cas de l'irrigation de surface

Dans cette sous-section, l'approche de calcul de *l'uniformité de distribution, le coefficient de stockage et l'efficacité d'application de l'eau* à la parcelle seront abordés.

5.3-1-1 Uniformité de distribution (UD)

L'une des qualités majeures de l'irrigation est d'obtenir la plus grande régularité de la dose d'arrosage sur toute la parcelle, ce qui se traduit par l'uniformité de distribution. Elle indique la qualité de la répartition de la hauteur d'eau infiltrée dans la parcelle et s'exprime par :

$$UD = 100 \times \frac{\text{HME infiltrée dans les 25\% de la surface la moins irriguée}}{\text{HME infiltrée dans la parcelle}} \quad (\text{Eq. 25})$$

où HME, hauteur moyenne d'eau d'irrigation.

La hauteur moyenne d'eau infiltrée dans les 25 % de la surface la moins irriguée est définie comme étant la moyenne des 25 % des valeurs les plus basses de la hauteur d'eau infiltrée. Ainsi, l'uniformité de distribution dépend des paramètres qui caractérisent le système d'irrigation et son mode de gestion, notamment l'approvisionnement en eau de la parcelle (réseau, débit, temps d'irrigation), la qualité de l'aménagement parcellaire (dimensionnement des planches, raies ou bassins et les pentes, etc.), et les caractéristiques hydrodynamiques du sol qui influencent sur les vitesses d'écoulement de l'eau (écoulements de surface et souterrain). Elle peut être exprimée en fonction des variables qui la caractérisent (Pereira et al., 2006) :

$$UD = f1(Q, L, n, So, Ic, Fa, Tco) \quad (\text{Eq.26}).$$

avec Q est débit d'alimentation ; L longueur de la raie, de la planche ou du bassin ; n coefficient de rugosité hydraulique ; So pente longitudinale de la parcelle ; Ic caractéristiques d'infiltration du sol ; Fa caractéristique de la section transversale de la raie, de la planche ou du bassin ; Tco temps écoulé jusqu'à l'interruption de l'irrigation.

L'uniformité de distribution est une condition nécessaire pour l'efficacité d'une irrigation. Toutefois, elle n'est pas suffisante pour apprécier la qualité de l'arrosage car on peut avoir une irrigation très uniforme mais avec une très faible efficacité d'application (Bouaziz et al., 2002).

5.3-1-2 Coefficient de stockage (CoS)

Le coefficient de stockage est également un paramètre d'appréciation de la qualité de l'irrigation de surface. Il représente le pourcentage du déficit hydrique du sol comblé par l'irrigation (Bouaziz et Belabbes, 2002) :

$$CoS = \frac{HME \text{ stockée dans la zone racinaire}}{\text{Déficit hydrique du sol comblé par l'irrigation}} \times 100 \quad (\text{Eq. 27})$$

5.3.1.3 Efficience d'application

En ce qui concerne la détermination de l'efficience d'application de l'eau à la parcelle qui s'exprime couramment comme le rapport entre la quantité d'eau réellement stockée dans la zone racinaire et la quantité apportée au niveau du champ (Pereira et al., 2006), différentes approches, inspirées de l'équation (6) ont été proposées.

5.3.1.3.1 Approche de Merriam et Keller

Dans leur approche, Merriam et Keller, (1978) estiment l'efficience d'application de l'eau à la parcelle à partir de la dose moyenne appliquée (\bar{D}_a), la dose minimale moyenne infiltrée ($\bar{D}_{inf,min}$) et le déficit hydrique du sol avant l'irrigation (DH), à partir de deux alternatives.

Dans la première alternative, le déficit en humidité du sol est comblé par l'irrigation, mais tout excès d'eau est perdu par percolation :

$$Si \bar{D}_{inf,min} < DH \text{ alors } EAmk = \frac{DH}{\bar{D}_a} \times 100 \quad (\text{Eq. 28}).$$

Pour l'autre alternative, l'eau appliquée est destinée à réalimenter la zone racinaire sans que le déficit hydrique du sol ne soit comblé par l'irrigation :

$$Si \bar{D}_{inf,min} > DH \text{ alors } EAmk = \frac{\bar{D}_{inf,min}}{\bar{D}_a} \times 100 \quad (\text{Eq. 29}).$$

La complexité de cette approche réside dans la détermination du déficit hydrique du sol et de la dose moyenne infiltrée et les précisions dans les applications d'eau.

5.3.1.3.2 Approche de Elliot et Walker

Le calcul de l'efficience d'application à la parcelle dans l'approche de Elliot et al., (1982) est bâtie sur le rapport entre la dose moyenne efficace infiltrée (\bar{D}_{eff}) et la dose moyenne appliquée (\bar{D}_a):

$$EAew = \frac{\bar{D}_{eff}}{\bar{D}_a} \times 100 \quad (\text{Eq.30}).$$

Cette expression tient compte de la dose effectivement stockée dans la zone racinaire utile pour la plante et sa complexité relative réside également dans la détermination de la dose moyenne infiltrée.

5.3.1.3.3 Approche de Walker

Walker (1989) suggère la prise en compte de la dose infiltrée requise par unité de longueur à travers la formule suivante :

$$EAW = \frac{Z_{req} * L}{Q_0 * 60 * t_{co}} \text{ (Eq.31)}$$

où L est la longueur des raies [m] ; t_{co} est le temps de coupure [min] ; Z_{req} est la dose d'eau infiltrée requise [m^3/m de raie] ; Q_0 est le débit entrant dans la raie [m^3/h].

Cette approche apporte, certes, plus de précision dans l'estimation de l'efficacité mais requiert beaucoup plus de variables à déterminer. Elle est indiquée pour l'irrigation de surface à la raie.

5.3.1.3.4 Approche de Molden

En 1990, Molden et Gates présentent l'efficacité d'application à la parcelle comme le désir de conserver l'eau en égalant l'eau livrée avec l'eau requise par la culture. L'efficacité est ainsi exprimée comme la moyenne, pour une certaine zone (z_r) et pour la durée d'une campagne de suivi (CaS), du rapport entre le volume requis (Q_R) et le volume livré (Q_D) :

$$\text{Pour } Q_D \geq Q_R \text{ alors } EAm = \frac{1}{CaS} \sum_T \left(\frac{1}{z_r} \sum_{z_r} \left(\frac{Q_R}{Q_D} \right) \right) ; \text{ sinon } EAm = 1 \text{ (Eq.32).}$$

Cette approche nécessite un suivi continu du profil d'humidité dans le sol tout au long du cycle de la culture ainsi que des applications d'eau.

Au regard de la diversité des approches d'appréhension de l'efficacité d'application et des difficultés à déterminer correctement certaines variables, Bos et Nugteren, (1990), se basant sur les concepts classiques de l'efficacité, ont soutenu la perception de l'efficacité d'application de la Commission Internationale de l'Irrigation et du Drainage pour qui l'efficacité d'application à la parcelle est la relation entre la quantité d'eau fournie au champ et la quantité d'eau nécessaire et mise à disposition pour l'évapotranspiration de la culture afin d'éviter un stress hydrique pendant le cycle de croissance, ce qui se résume à l'équation 6. La connaissance de l'efficacité d'application de l'eau à la parcelle permet de déduire le pourcentage des pertes d'eau (PPE) d'irrigation dans une planche, représenté par : $PPE = 100 - Ea$. (Eq.33).

Ce pourcentage représente la somme des pertes par percolation profonde (PP en %) et par ruissellement vers la colature (Rc en %). Le calcul de la valeur de PP requiert la détermination du volume d'eau infiltré à la fin de l'irrigation (V_i en m^3), le volume d'eau stocké dans la zone racinaire (V_s en m^3), le temps d'irrigation (T_i en minute) et le débit d'alimentation (Q en m^3/min). A partir de ces variables, PP peut être déterminé par l'équation:

$$PP = \frac{(Vi - Vs) \times 100}{Q \times Ti} \quad (\text{Eq.34}). \text{ Ainsi, en remplaçant dans l'équation 33, PPE par ses}$$

éléments constitutifs, on obtient :

$$PPE = 100 - Ea \Leftrightarrow PP + Rc = 100 - Ea \text{ d'où } Rc = 100 - Ea - PP \quad (\text{Eq.35})$$

5.3-2 Cas de l'irrigation par aspersion

Au niveau de l'aspersion, l'efficience du système est généralement déterminée à partir du coefficient d'uniformité de Christiansen CU (Tiercelin et Granier, 2006) :

$$CU = 100 \left[1 - \frac{\sum (HEi - HEM)}{n \cdot HEM} \right] \quad (\text{Eq.36}) \text{ avec } n \text{ nombre de pluviomètres disposés}$$

selon une maille carrée ; HEi lame d'eau recueillie au niveau du pluviomètre i ; HEM lame d'eau moyenne du réseau des n pluviomètres disposés selon une maille carrée.

Cette approche est relativement facile et permet d'apprécier l'uniformité de répartition de l'eau.

5.4 Besoins en eau des plantes, teneur en eau du sol et méthodes de détermination

La détermination des besoins en eau des cultures passe par la connaissance de la quantité d'eau perdue par la culture en condition réelle de production qu'on appelle l'évapotranspiration réelle (ETR) (Amigues et al., 2006). Elle varie selon les conditions physiologiques et d'approvisionnement en eau de la plante. Elle peut être inférieure ou égale à l'évapotranspiration maximum (ETM = Quantité d'eau perdue par une végétation jouissant d'une alimentation hydrique optimale) de la plante selon la disponibilité de l'eau dans le sol. La disponibilité de l'eau dans le sol s'exprime à travers la formule de l'équation 1 (Eq.1) [$WR = (\theta_{fc} - \theta_{pwp}) \cdot BD \cdot Z$ (Eq.1)]

avec WR = Réserve utile [mm] ; θ_{fc} = Humidité pondérale en % à la capacité au champ ; θ_{pwp} = Humidité pondérale en % au point de flétrissement permanent ; BD = Densité apparente du sol [en g.cm^{-3}] ; Z = Profondeur d'enracinement [dm]. La RU dépend des types de sols et seulement une fraction de cette réserve appelée réserve facilement utilisable (RFU) sera mobilisable sans effort par la plante. Elle est parfois estimée à la moitié de RU (Rieul et Ruelle, 2003). Lorsque l'offre en eau du sol correspond à la RFU, $ETR = ETM$; par contre lorsqu'elle est inférieure à RFU, la plante ferme ses stomates et $ETR < ETM$.

Pour déterminer ETR, la notion d'évapotranspiration de référence (ETRef ou ETo ou ETP) a été introduite et représente la quantité d'eau perdue par une végétation de référence en phase active de croissance recouvrant totalement un sol assurant une alimentation hydrique optimale (ray-grass) (Allen et al., 1998 ; Rieul et Ruelle, 2003 ; Amigues et al., 2006).

La détermination de l'ETo se fait à l'aide de formules prenant en compte les données climatiques (formule de TURC, formule de BLANEY-CRIDDLE et

l'équation FAO-Penman-Monteith), par des mesures sur bacs évaporométriques ou par des mesures lysimétriques de référence. La formule FAO-Penman Monteith est aujourd'hui la plus utilisée pour prévoir les besoins en eau des cultures et s'exprime par la formule de l'équation 2 (Eq.2).

L'évapotranspiration réelle est ensuite calculée en mettant à contribution les coefficients culturaux des cultures (K_c) (Doorenbos et Pruitt, 1977) à partir de l'expression de l'équation 4 (Eq.4).

5.5 Quelques approches d'estimation de l'évapotranspiration et de calculs de l'efficience et de la productivité de l'eau à l'aide de programmes informatiques

La FAO, soucieuse d'améliorer l'efficience et la productivité de l'eau, a développé à travers son « Département Eaux et Sols », des programmes informatiques permettant d'orienter la prise de décision dont Cropwat 8.0 et AquaCrop 4.0. CROPWAT 8.0 pour Windows permet l'évaluation des besoins en eau des cultures et des besoins d'irrigation. Le programme est basé sur l'utilisation de trois types de données : les données du sol, du climat et des cultures et permet l'élaboration de programmes d'irrigation sous différentes conditions de gestion ainsi que le calcul des calendriers d'irrigation avec la possibilité de faire varier les systèmes de culture. Le principe de fonctionnement et les procédures de calcul utilisées dans CROPWAT 8.0 sont fondamentalement basés sur deux publications de la FAO : FAO N° 56 (Allen et al., 1998) et FAO N°33 (Doorenbos et Kassam, 1979). Ce programme informatique offre la possibilité d'utiliser des données journalières, décennales ou mensuelles, contrairement à la plupart des logiciels d'approche similaire, qui eux demandent absolument des données journalières. Quant à AquaCrop 4.0, c'est surtout un modèle de la productivité de l'eau des cultures, qui simule spécifiquement la réponse du rendement à l'eau des cultures herbacées. AquaCrop 4.0 requiert pratiquement les mêmes données d'entrée que Cropwat8.0.

Ces dernières années, des techniques de bilan énergétique, utilisant des données satellitaires ont été développées pour l'évaluation de l'évapotranspiration (Bastiaanssen et al, 2000 ; Allen et al., 2007 ; Ahmad et al., 2009). C'est le cas des programmes tels que SEBAL (Ahmad et al, 2009), DSSAT4.5 (Salazar et al., 2012), SAMIR (Simonneaux et al., 2009), Ador Simulation (Lecina et Playán, 2006a ; Lecina et Playán, 2006b) etc., qui permettent de déterminer l'évapotranspiration à partir de données satellitaires.

La collecte des informations de terrain, notamment l'approvisionnement en eau des périmètres, permet ensuite de calculer les indicateurs de productivité et d'efficience de l'eau. Chaque modèle a ses niveaux de précision dans la détermination de l'évapotranspiration, mais le mode de calcul des indicateurs d'efficience et de productivité de l'eau dépend des variables à considérer et non du programme informatique. L'utilisation de ces modèles est relativement onéreuse compte tenu du coût d'acquisition élevé des images satellitaires et ne convient pas pour les études à l'échelle de la parcelle. Les modèles FAO paraissent plus séduisants pour travailler à l'échelle de la parcelle et sont appropriés aussi bien pour les vulgarisateurs, les chercheurs que pour les besoins de formation.

Conclusion

Les notions d'efficience et de productivité de l'eau sont diversement appréhendées dans la littérature, selon les sensibilités scientifiques. Cela témoigne d'une prise de conscience généralisée de la raréfaction des ressources en eau et la nécessité de disposer d'indicateurs pour estimer à la fois les pertes engendrées au cours de son usage, mais aussi les gains de production engrangés par unité d'eau consommée, afin de prendre des mesures correctives appropriées pour plus d'économie d'eau.

Cependant, la diversité de perception de ces concepts entraîne naturellement des confusions, mais aussi des divergences de fond, liées à l'utilisation de variables différents dans le calcul d'un même indicateur.

Cette synthèse bibliographique a permis de passer en revue et d'éclaircir d'avantage les concepts d'efficience et de productivité de l'eau selon les domaines d'application. Il apparaît aussi que les travaux sur l'évaluation de l'efficience et de la productivité se sont beaucoup intéressés à l'appréciation de la situation existante, et aux prédictions globales de la demande en eau. Un accent devra être mis spécifiquement sur les facteurs techniques et organisationnels de gestion de l'irrigation, qui impactent sur l'efficience et la productivité de l'eau à l'échelle de la parcelle. Dans ce sens, il serait par exemple intéressant de modéliser l'efficience d'application de l'eau en fonction des doses et fréquences d'irrigation, et la productivité en fonction de la période de mise en place de la culture, afin de proposer des approches physiques de conduite de l'irrigation à la parcelle, qui offrent les meilleures efficacités d'application et de productivité. Les outils d'aide à la décision de la FAO, notamment Cropwat et AquaCrop, pourraient être utilisés à cet effet. Un tel travail pourrait être d'un intérêt pour les pays sahéliens qui fondent un espoir certain sur le développement de leur agriculture grâce à l'irrigation mais qui restent confrontés à la raréfaction de la ressource en eau.

6.

Évaluation et propositions d'amélioration des performances techniques de perimètres irrigués autour de petits réservoirs au Burkina Faso : une étude de cas

(Article : Kambou D., Degré A., Xanthoulis D., Ouattara K., Destain J-P., Defoy S., De L'Escaille D., 2019. Evaluation and proposals for improving irrigation performance around small reservoirs in Burkina Faso. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 145 (6)).

6. Évaluation et propositions d'amélioration des performances techniques de périmètres irrigués autour de petits réservoirs au Burkina Faso : une étude de cas

Résumé

Les petits réservoirs de Savili et de Mogtédó constituent une opportunité pour l'amélioration des revenus des populations rurales à travers le développement de l'irrigation. Une des responsabilités essentielles pour assurer la durabilité et la valorisation satisfaisante des infrastructures d'irrigation est le suivi et l'évaluation de leurs indicateurs de performance technique. A cet effet, la productivité de l'eau, les efficacités de distribution et d'application de l'eau ont été calculées. De même, les calendriers d'irrigation théoriques et réels ont été modélisés et comparés. La gestion de l'eau à l'échelle de la parcelle est également discutée.

Les résultats montrent que l'efficacité d'application de l'eau était inférieure à 20 % à Savili et comprise entre 41 et 55 % à Mogtédó. La productivité de l'eau variait de 1,12 à 3,4 kg m⁻³ pour *Allium Cepa* (oignon) à Mogtédó et à Savili, 0,31 kg m⁻³ pour *Zea mays* (maïs) à Mogtédó et 0,34 kg m⁻³ pour *Phaseolus vulgaris* (haricots verts) à Savili. Une mauvaise gestion de l'irrigation a entraîné des pertes d'eau importantes, estimées à 2 999 923 m³/an pour les sites de Mogtédó et de Savili. La raison principale de cette contre-performance semble être liée aux insuffisances techniques et organisationnelles des producteurs. Le renforcement des capacités techniques et organisationnelles des agriculteurs locaux pourrait contribuer à améliorer les performances du réseau et à réaliser des économies d'eau substantielles.

6.1. Introduction

Les superficies irriguées dans le monde représentent 20 % des terres cultivées, mais fournissent 40 % des disponibilités alimentaires mondiales à cause de leurs rendements plus élevés (FAO, 2011). Ces superficies sont passées de 139 millions d'hectares en 1960 à 301 millions d'hectares en 2009 et devraient atteindre 341 millions d'hectares en 2030.

Cette augmentation des superficies sera soutenue par une augmentation de la demande en eau agricole, qui passera de 2 672 km³/an à 2 900 km³/an en 2030 (FAO, 2011).

La principale contrainte au développement de l'irrigation est la disponibilité de l'eau. Dans de nombreux pays d'Afrique subsaharienne, les ressources en eau constituent un facteur limitant pour la croissance économique et le développement, vu l'importance de l'agriculture dans l'économie de ces pays (Barbier et al., 2006 ; de Fraiture et al., 2014). Cependant, considérant le faible niveau de valorisation de certains réservoirs dans cette partie de l'Afrique (Fowe et al., 2015), cette vision est

à relativiser. En effet, l'étude de Fowe et al. (2015) a conclu à une sous-utilisation et à de faibles performances des petits réservoirs dont celui de Bourra au Burkina Faso.

Toutefois, de Fraiture et al., (2014) et Fowe et al., (2015) s'accordent pour reconnaître que dans les zones arides, les petits réservoirs constituent une alternative pour renforcer la résilience des populations. En Afrique, suite aux graves sécheresses des années 1970 et 1980, qui ont engendré une crise alimentaire aigue (Cecchi et al., 2009; Druyan, 2011; Venot and Krishnan, 2011), de nombreux petits réservoirs ont été construits pour surmonter les problèmes de pénurie d'eau et permettre le développement de l'irrigation.

Ces petits réservoirs sont répandus en Afrique australe, notamment au Zimbabwe, en Zambie et au Mozambique avec respectivement plus de 9000, 2000 et 600 petits réservoirs (Solutions AgWater, 2011). En Afrique de l'Ouest, le Burkina Faso est cité comme le pays ayant construit le plus grand nombre de petits réservoirs ces dernières décennies, estimés entre 1300 et 2000 (Cecchi et al., 2009; Leemhuis et al., 2009). Le Ghana vient en deuxième position avec au moins 900 petits réservoirs (Annor et al., 2009; Venot et Cecchi, 2011).

Au Burkina Faso, les aléas climatiques deviennent de plus en plus sévères ces dernières années, avec une plus grande occurrence des inondations, et des poches de sécheresses (Sally et al., 2011), ce qui justifie l'accélération de la création de petits réservoirs pour le développement de l'irrigation.

Les petits réservoirs comportent souvent un système d'irrigation à petite échelle associé. En 2004, le Burkina Faso comptait 32 258 ha de périmètres aménagés formels autour des réservoirs dont 24 300 ha étaient mis en valeur (MAHRH, 2004). En plus des aménagements formels, les petits réservoirs font aussi l'objet de développement de périmètres irrigués par les irrigants eux-mêmes. Ces aménagements sont dits informels et sont installés illégalement et anarchiquement autour des points d'eau. Sur ces périmètres, chaque irrigant dispose de son moyen de pompage de l'eau et de son réseau d'irrigation.

Ces périmètres informels entrent en compétition avec les périmètres formels pour l'eau. Ils sont très répandus au Burkina Faso, où de Fraiture et al. (2014) estimaient les superficies informelles autour du réservoir de Korsimoro à 230 ha contre 32 ha d'aménagements formels. Padouou et Sarr (2009) font le même constat sur le développement de l'irrigation informelle autour du barrage de Mogtédou où les superficies informelles sont estimées à 477 ha contre 93 ha de superficies formelles.

En 2013, les superficies des cultures irriguées, effectivement exploitées en saison sèche au Burkina Faso étaient évaluées à environ 62 000 ha dont plus de 52 % de périmètre irrigué informel (MASA, 2013). Les superficies des périmètres formels étaient de l'ordre de 40 300 ha dont 29 800 ha étaient mis en valeur.

Malgré les avantages associés à ces réservoirs, ils sont présentés comme sous valorisés et peu performants (Mdemu et al., 2009 ; Dembélé et al., 2012 ; de Fraiture et al., 2014 ; Fowe et al., 2015)

Cependant, il convient de relever que la plupart des investigations menées sur les performances des périmètres irrigués ont porté sur les aspects agronomiques (rendement, production, intensité culturale) et économiques (création de revenu, rentabilité économique, productivité du travail, productivité économique) (Dembélé et al., 2012, de Fraiture et al., 2014, Poussin et al., 2015). Les indicateurs liés aux performances techniques de l'irrigation (efficacité d'application de l'eau, productivité de l'eau, efficacité du réseau d'irrigation) ont été rarement étudiés. Il en est de même pour la gestion de l'eau à l'échelle du périmètre et de la parcelle qui est souvent occultée. Du reste, lorsque cette question est abordée, c'est à l'échelle du réservoir (Sally et al., 2011, de Fraiture et al., 2014 ; Poussin et al., 2015).

L'objectif de cette étude est d'évaluer les performances techniques de l'irrigation sur deux petits réservoirs du Burkina Faso, relativement contrastés, Savili et Mogtédó qui disposent de périmètres formels et informels. L'étude fournit des indicateurs permettant d'évaluer la performance technique des réseaux d'irrigation et l'allocation de l'eau pour l'agriculture, et examine les options pour améliorer la gestion de l'eau.

6.2 - Matériels et méthodes

6.2.1 Description des sites d'études

La Figure n°16 présente la localisation des deux sites.

6.2.1.1 Site de Mogtédó

Le site de Mogtédó est situé à environ 90 km sur la sortie Est de Ouagadougou dans la région du Plateau Central, dans la ceinture soudano-sahélienne. La pluviométrie moyenne annuelle y est d'environ 800 mm et connaît de fortes variations interannuelles.

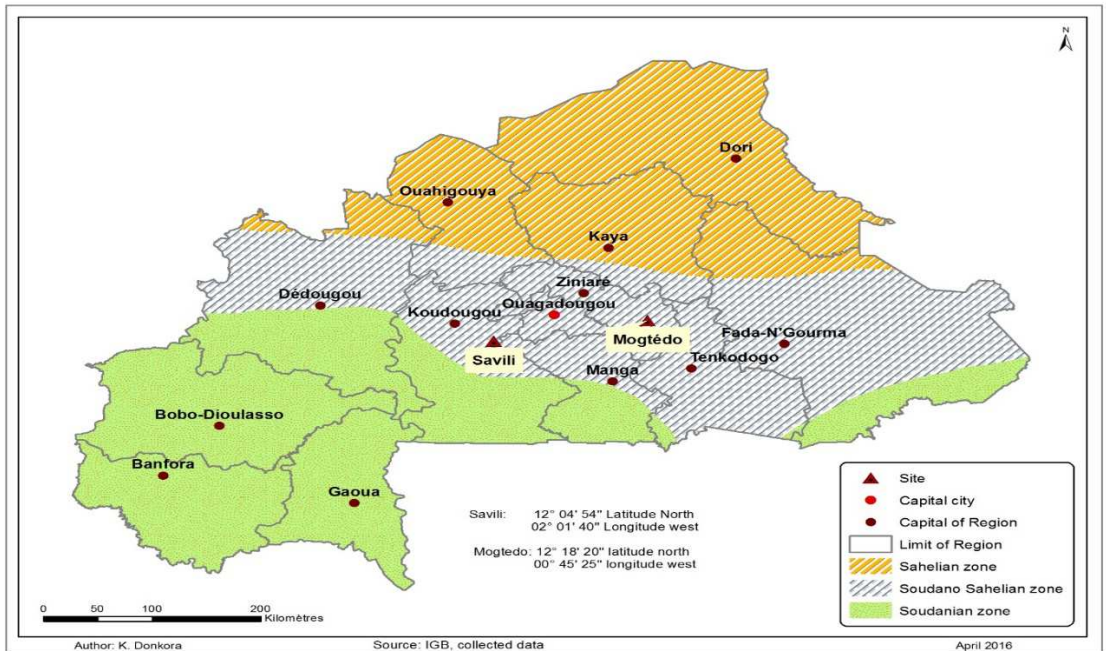


Figure 16 : Localisation des sites d'étude

Dans cette zone, les températures moyennes journalières varient entre 21,5°C et 34,3°C, avec une évapotranspiration potentielle annuelle d'environ 1900 mm.

Le barrage de Mogtêdo a été construit en 1963 sur un affluent du Nakambé (Bomboré) et se situe à 00°45'25'' Longitude Ouest et à 12°18'20" Latitude Nord. A sa construction, la capacité du réservoir était estimée à 6 560 000 m³ (IWMI, 1997).

Ce réservoir est la principale source d'eau pour les activités socio-économiques des populations riveraines. Après sa construction, un aménagement rizicole de 93 ha a été créé en aval en 1967 avec 74 ha sur la rive gauche et 19 ha sur la rive droite. Ces dernières années, la plupart des producteurs s'adonnent à la production maraîchère en saison sèche et à la riziculture en saison humide pour des raisons liées à l'insuffisance de l'eau dans le barrage qui tari certaines années (cas de 2008 et 2012) vers le mois de mars.

Le système d'irrigation de cet aménagement aval est gravitaire. Il comprend deux vannes, permettant l'approvisionnement en eau du périmètre. Le réseau d'irrigation comprend des canaux primaires et secondaires à ciel ouvert revêtus et des tertiaires en terre. À la construction, il existait des ouvrages de régulation de l'eau sur les secondaires qui ont aujourd'hui disparu. Les parcelles individuelles ont des superficies variables de l'ordre de 0,20 ha à 0,50 ha. L'attribution des parcelles a été faite aux chefs de ménage et la superficie accordée est fonction de la taille du ménage. La gestion de l'eau dans ce périmètre se fait théoriquement selon un tour d'eau de 5 jours.

Le mode actuel de gestion du périmètre est l'auto gestion paysanne.

Parallèlement à l'exploitation de ce périmètre formel, des aménagements de périmètres informels se sont développés progressivement et anarchiquement en amont et autour du réservoir. Sur la période de 1979 à 1992, les superficies informelles sont passées de 100,8 ha à 477 ha soit une augmentation de 473 % (Padounou et al., 2009). L'activité d'irrigation concerne le maraîchage. Ces périmètres informels sont alimentés en eau par des motopompes individuelles dont la marque et la capacité varient d'un irrigant à l'autre.

6.2.1.2 Site de Savili

Le site de Savili relève de la région du Centre Ouest et se trouve comme Mogtêdo dans la ceinture Soudano-sahélienne. Il est situé à environ 80 de km de Ouagadougou sur sa sortie Ouest.

Le Barrage de Savili a été construit en 1979 et se situe à 02°01'40" Longitude Ouest et à 12°04'54" Latitude Nord.

Avec une capacité estimée à 2 280 000 m³, le barrage de Savili comprend un périmètre aménagé en amont de 42 ha, alimenté par pompage. Le système d'irrigation est de type semi californien. Une station de pompage constituée de 7 motopompes permet d'alimenter le périmètre en eau. Il s'agit de turbopompes de type centrifuge de marque « Rhino » dont 3 avec un débit théorique de 80 m³/h et 4 avec un débit théorique de 100 m³/h. Le système d'irrigation comprend un tuyau principal (300 mm de diamètre) relié au système de pompage. De ce tuyau principal partent 7 tuyaux enterrés (160 mm de diamètre) qui relient 7 bornes d'approvisionnement correspondant aux 7 blocs du périmètre. Des vannes de contrôle sont installées au départ de chaque tuyau du canal principal et permettent de cibler le ou les blocs à irriguer.

Le périmètre de Savili est exploité en saison sèche principalement en cultures maraîchères.

Sur le site de Savili, les superficies des périmètres informels sont estimées à 40 ha exploités en maraîchage. Elles sont dispersées en amont du barrage et irriguées par moto pompage.

La distribution de l'eau sur le périmètre formel se fait théoriquement suivant un principe du tour d'eau comme sur le périmètre formel de Mogtédó. De même, le mode de mise en valeur du périmètre formel de Savili est l'autogestion paysanne.

6.2.2 Méthode de collecte des données

La démarche de collecte des données s'est inspirée de celle utilisée par des auteurs (Dembélé et al., 2012; Fowe et al., 2015 ; de Fraiture et al., 2014) ayant déjà travaillé sur l'évaluation des performances des périmètres irrigués autour des petits réservoirs. Les données ont été obtenues par la conduite d'une enquête, la visite et le suivi des activités sur les sites d'étude, la réalisation de mesures sur les sites et l'utilisation de données auxiliaires.

La phase de collecte des données a couvert les campagnes de production de saison sèche 2011-2012 et 2012-2013.

6.2.2.1 Enquête

Une enquête a été réalisée sur les deux sites, à travers des entretiens semi-structurés. Elle a concerné 225 producteurs dont 25 sur le périmètre aménagé de Savili et de Mogtédó, 50 sur le périmètre informel de Savili, et 150 sur le périmètre informel de Mogtédó. Ces échantillons représentent respectivement 30 % des producteurs sur le périmètre formel de Savili, 31 % pour le périmètre informel de Savili, 38 % pour le périmètre formel de Mogtédó et 32 % pour le périmètre informel de Mogtédó. Ces producteurs ont été choisis de façon aléatoire. Les thématiques de l'enquête concernaient la gestion de l'eau à l'échelle du périmètre et de la parcelle, les calendriers d'irrigation et le mode de comptage de l'eau utilisée, le calendrier cultural, les spéculations exploitées, le cycle des cultures ainsi que la taille des parcelles individuelles. Ces entretiens ont concerné également les comités d'irrigants des deux sites, la coopérative rizicole de Mogtédó et l'union des producteurs de haricot vert de Savili. Des échanges ont aussi été organisés avec les aiguadiers de Mogtédó et le comité de gestion de la station de pompage de Savili.

6.2.2.2 Mesures

Les mesures ont concerné les quantités d'eau appliquées à la parcelle, les productions obtenues, les temps d'irrigation et les caractéristiques hydrodynamiques des sols (vitesse d'infiltration et courbe de rétention en eau) et l'estimation de l'efficience de distribution du réseau de distribution du périmètre formel de Savili.

Les mesures des débits à l'entrée de 10 parcelles de 0,25 ha chacune par site ont été réalisées à l'aide de la méthode volumétrique par emportement. La connaissance des temps d'irrigation permet de déterminer la quantité d'eau appliquée par évènement d'irrigation.

Cette méthode a été préférée à cause de sa simplicité et de son accessibilité aux producteurs. La réalisation des mesures constituait en même temps un moment de formation et d'apprentissage pour l'estimation des volumes d'eau appliqués à la parcelle.

Les superficies des exploitations suivies ont été mesurées et les rendements estimés à l'aide des carrés de rendement par pesée.

Les taux d'infiltration constants journaliers ont été déterminés à partir de mesures de conductivité hydraulique à saturation par la méthode du double anneau.

Les teneurs en eau du sol ont été évaluées à l'aide de l'appareil de Richards à partir d'échantillons de sols récoltés en structure conservée sur chacune des 10 parcelles des deux sites aux profondeurs 10, 20 et 40 cm.

Les échantillons ont été prélevés à l'aide d'anneaux de 100 cm³.

Après saturation, et une fois à l'équilibre, les poids des échantillons ont été mesurés. Cette opération a été répétée point par point pour des pressions croissantes. Les échantillons ont été soumis successivement à des pressions de 0,98, 3,92, 6,98, 9,81, 29,42, 68,64, 98,06, 490,32 et 1470,96 kPa, correspondant aux valeurs de pF1,00, pF1,65, pF1,85, pF2,00, pF2,48, pF2,85, pF3,00, pF3,70 et pF4,18 respectivement, où les valeurs de pF sont le log de la valeur absolue du potentiel matriciel (cm) ou, dans ce cas, de la pression appliquée (cm).

Après le dernier point de mesure, le poids sec de l'échantillon a été déterminé après séchage dans un four à 105 °C.

Au Burkina Faso, le Bureau National des Sols (BUNASOL) [1985] recommande à la capacité au champ un potentiel matriciel de pF2,5 pour les sols à texture grossière (loam sableux ou loameux-sableux) et moyens (loam, loameux-sableux-argileux), et un potentiel matriciel de pF3,0 pour les sols à texture fine (limono-argileux, argilo-sableux, limon argileux, argile). Suite à ces indications, le potentiel matriciel à la capacité au champ a été attribué en fonction des résultats de l'analyse de la texture du sol. La valeur du potentiel matriciel au point de flétrissement permanent (pwp) a été fixée à pF4,2.

Ainsi, les réserves en eau du sol ont été déterminées entre la capacité au champ (θ_{fc}) et le point de flétrissement permanent (θ_{pwp}) à l'aide des courbes de teneur en eau du sol. Les échantillons de sol prélevés à une profondeur de 10 cm ont été utilisés pour calculer la réserve en eau utile du sol entre 0 et 20 cm, ceux prélevés à une profondeur de 20 cm ont été utilisés pour calculer la réserve en eau utile du sol entre 20 et 40 cm, tandis que les échantillons prélevés à une profondeur de 40 cm ont été utilisés pour calculer la réserve en eau utile du sol entre 40 et 100 cm. Les résultats de cette analyse ont été utilisés pour produire des courbes de teneur en eau du sol.

La réserve en eau du sol a été calculée l'aide de l'équation 1 (Eq.1)

Pour l'efficacité du réseau de distribution au niveau de Savili, les mesures ont été réalisées au niveau du canal primaire à l'aide d'un débitmètre à ultrason et au niveau de chaque canne de sortie par emportement. Trois répétitions ont été observées pour chacune des mesures.

6.2.2.3 Données météorologiques

Les données climatiques moyennes décennales (précipitations, températures minimales et maximales, humidités relatives, vitesses du vent et durées d'insolation) d'une série de 30 ans (1980-2010), obtenues auprès de la Direction générale de la météorologie du Burkina ont été utilisées pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle sur base de l'équation « FAO-Penman-Monteith » (Eq.2).

Les données relatives à la vitesse du vent utilisées ont été mesurées à une hauteur de 10 m et ont été converties à une hauteur de 2 m, en utilisant la formule de conversion de Allen et al. (1988) (Eq.3).

Cropwat 8.0 utilise Eq. (2) pour calculer ETo. Ensuite, à partir des données de culture l'évapotranspiration des cultures (ETc) a été calculée à l'aide de la formule de l'équation 4 (Eq.4).

6.2.2.4 Indicateurs de performances

De nombreux indicateurs sont proposés dans la littérature pour l'évaluation des performances des périmètres irrigués (Meriam et Keller, 1978 ; Walker, 1999 ; IWMI, 1997; van Halsema et Vincent, 2012 ; Lankford, 2012). Cependant, les indicateurs de performance sont perçus et définis différemment (Kambou et al., 2014). A l'échelle de la parcelle, les indicateurs utilisés pour mesurer la performance d'un système d'irrigation sont l'efficacité d'application, la productivité de l'eau et l'uniformité.

L'uniformité concerne la distribution de l'eau (dans les raies, les planches ou bassins). Pour cet indicateur, Meriam et Keller (1978) proposent que cette distribution soit définie comme le rapport entre la dose minimale moyenne infiltrée et la dose moyenne infiltrée (Eq.5).

L'efficacité d'application (Ea) est définie selon les auteurs d'une part comme le rapport de l'évapotranspiration de la culture (ETc) à l'eau appliquée (ea) (Bos et Nugteren 1990 ; van Halsema et Vincent, 2012) et d'autre part comme le rapport des besoins bruts d'irrigation (GIR) à la parcelle sur l'eau appliquée (ea) (Lankford, 2012):

$$Ea = \frac{ETc}{ea} 100 (Eq. 37)$$

Ea = efficacité d'application ; Etc. = évapotranspiration réelle ; ea = eau appliquée ;

La productivité de l'eau (Pc) a été définie comme le rapport entre le rendement de production (P) et la quantité d'eau appliquée (Playan et Mateos 2006; Flexas et al. 2010):

$$Pc = \frac{P}{ea} \text{ (Eq. 38)}$$

Pc = productivité de l'eau ; P = production ; ea = eau appliquée

Pour cette étude, Ea a été estimé en utilisant Eq. (37) et la productivité de l'eau en utilisant Eq.(38). La quantité d'eau appliquée a été mesurée en utilisant la profondeur d'eau moyenne appliquée par irrigation, fréquence d'irrigation et cycle de culture. ETc a été calculé dans Cropwat en utilisant ETo et les coefficients de culture.

6.2.2.5 Approche de modélisation des besoins en eau des cultures et des calendriers d'irrigation optimum

Cropwat 8.0 (FAO 1992) qui permet l'évaluation des besoins en eau des cultures et l'élaboration des calendriers culturaux et qui a connu de nombreuses applications à l'échelle de la parcelle (Nazeer, 2009 ; Bana et al., 2013 ; Ayu et al., 2013) a été utilisé.

La stratégie de gestion de l'irrigation utilisée dans Cropwat était basée sur le calendrier d'irrigation et l'application de l'irrigation. Pour le moment de l'irrigation, l'option utilisée dans Cropwat était «irriguer à l'épuisement critique». Pour l'irrigation, l'option utilisée dans Cropwat était la suivante : « irriguer à la capacité du champ ».

Les dates de plantation et le cycle des cultures ont été obtenus par l'enquête et le suivi. Les coefficients culturaux ont été ajustés à l'aide de la formule de Allen et al., (1998). Les taux d'infiltration constants journaliers et les capacités de rétention en eau du sol mesurés ont été utilisés.

Pour l'évaluation de l'ETc, étant donné que le site de l'étude est situé dans une zone aride, afin de prendre en compte l'impact relatif du climat et de la hauteur de la culture sur kc, les coefficients de culture (kc) pour les conditions climatiques standard ont été utilisés et ajustés avec la méthode présentée par Allen et al. (1988). Des corrections ont été apportées à Kc au stade de mi-saison (Kc mid) et à kc au stade de fin de saison (Kc end) en utilisant les (Eq. 8) et (Eq.9).

Les taux d'infiltration de base mesurés et la capacité de rétention en eau du sol ont été utilisés pour élaborer des calendriers d'irrigation.

Pour chaque site, la somme de la capacité de rétention en eau des trois couches de sol a été considérée, afin de prendre en compte la profondeur moyenne d'enracinement des cultures concernées par l'étude. Allen et al., (1998) ont estimé la profondeur d'enracinement du maïs entre 100 et 170 cm, l'oignon entre 30 et 60 cm et les haricots verts entre 50 et 70 cm.

6.3 Résultats et discussions

6.3.1 Cultures et période de mise en place des cultures

Le tableau 14 présente les spéculations exploitées par sites. Ce sont essentiellement des cultures maraichères, dominées par la culture de l'oignon sur le périmètre formel (PF) et le périmètre informel (PI) de Mogtédó (Mo) avec respectivement 32 % et 44 % des superficies cultivées. Sur les périmètres formels et informels de Savili (Sa) le haricot vert et l'oignon sont les cultures dominantes.

Tableau 14 : Cultures et superficies irriguées (données d'enquête)

Spéculation et superficies exploitées/aménagées : moyenne des campagnes de production de saison sèche 2010-2011 et 2011-2012 (ha)														
Sites	Haricot vert	Oignon	Concombre	Piment	Courgette	Aubergine	Carotte	Poivron	Choux	Maïs	Tomate	Autres	Total	Sup F (ha)
PF-Mo		24,15					7,85			4,25	3,87	14,55	54,67	93
PI-Mo		156	49,5	64	15,5	32,5	13,5	41,5	24,5	17,5	38	32	484,5	
PF-Sa	14,5	6										0,5	21	42
PI-Sa	2,5	10,75				2			2,75	5,3	10,5	6,75	40,55	

PF-Mo : Périmètre formel de Mogtédó

PI-Mo : Périmètre informel de Mogtédó

PF-Sa : Périmètre formel de Savili

PI-Sa : Périmètre Informel de Savili

Sup F : Superficie formelle aménagée

Le périmètre formel de Savili est essentiellement consacré à la production du haricot vert (Hv) et de l'oignon avec respectivement 69 % et 28,6 % des superficies cultivées. Sur le périmètre informel, les cultures maraichères sont plus variées avec l'oignon et *Solanum lycopersicum* (tomate) comme cultures dominantes.

Selon les producteurs du site formel de Mogtédó, cette option se justifie par l'impossibilité à conduire la production rizicole de saison sèche par manque d'eau. Par ailleurs, ce choix se justifie par la plus grande rentabilité économique des cultures maraichères par rapport aux céréales (Barbier et al, 2006).

Au niveau national, les superficies irriguées (cultures de saison sèche uniquement) en 2013 étaient estimées à environ 60 000 ha dont 66 % pour les cultures maraîchères, 14 % pour les céréales et 20 % pour les autres cultures (MASA, 2013). Nos résultats confirment la prédisposition des producteurs pour le maraîchage. La figure 17 montre que la période de mise en place des cultures de saison sèche sur les deux sites intervient entre la première quinzaine du mois de novembre et la deuxième quinzaine de février au plus tard pour ce qui est des cultures maraîchères. La culture du maïs intervient généralement après la récolte des cultures maraîchères à partir de la deuxième quinzaine de janvier jusqu'en fin février.

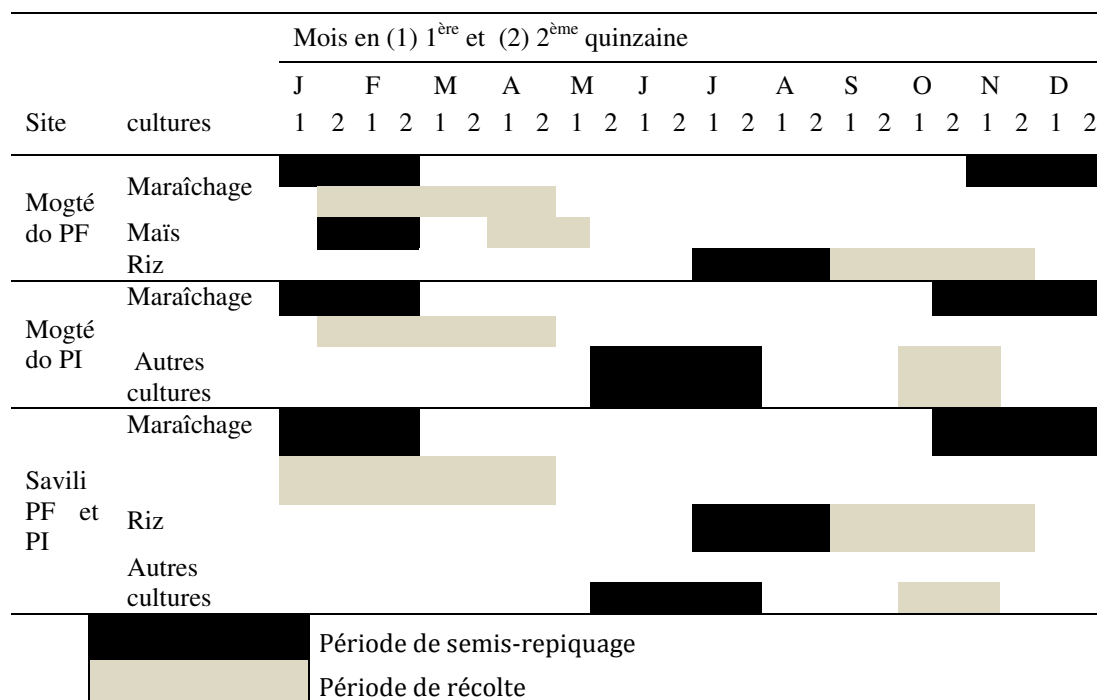


Figure 17 : Période de mise en place des cultures (données d'enquête)

La figure 17 indique également la période de mise en place et de récolte des cultures de saison humide. La production de saison humide se fait sans irrigation d'appoint.

A Savili comme à Mogtédo, un seul cycle de production est réalisé en saison sèche avec un étalement des périodes de semis/repiquage sur quatre mois à partir de novembre.

Le retardement de la date semis/repiquage amène les cultures à poursuivre leur cycle dans une période de plus en plus chaude et sèche.

La figure 18 montre que plus la date de semis/repiquage est retardée, plus les besoins en eau des cultures augmentent. Ce phénomène d'étalement des périodes de semis/repiquage relevé par Sally (1997) traduit un manque d'application de plans de production aussi bien sur les périmètres formels qu'informels.

L'idéal serait de concentrer la mise en place des cultures dans le mois de novembre pour profiter de l'humidité résiduelle et réduire l'évapotranspiration des cultures.

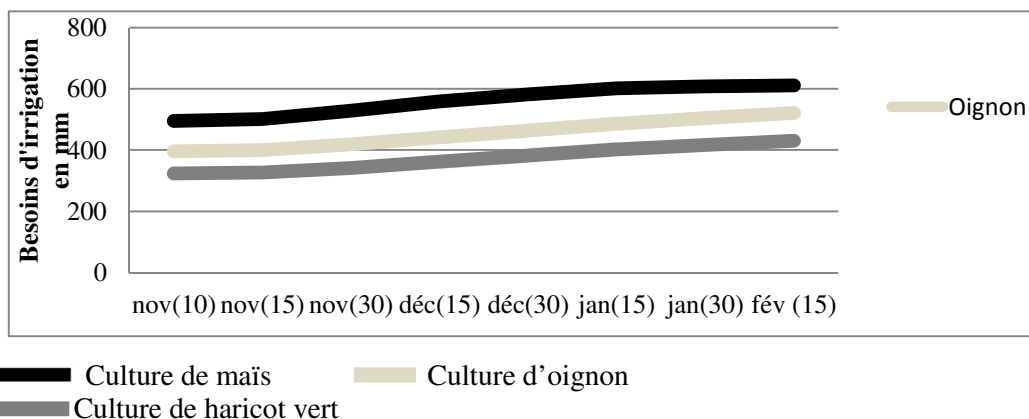


Figure 18 : Effet du retardement de la date de semis-repiquage

6.3.2 Performances agronomiques et techniques de l'irrigation

6.3.2.1 Performances agronomiques

Le tableau 15 présente quelques éléments de performance agronomique des deux périmètres formels en saison sèche qui apparaissent sous-exploités (50 % de taux de mise en valeur pour Savili et 71 % pour Mogtédó). Le taux de mise en valeur correspond au rapport de la superficie aménagée à la superficie exploitée (ici uniquement en irrigation). Les rendements les plus élevés de l'oignon sont obtenus sur le périmètre informel de Mogtédó avec 25t/ha contre 17t/ha pour le périmètre formel de Mogtédó et 23t/ha pour le périmètre formel de Savili. Le rendement du haricot vert est de 7t/ha à Savili et celui du maïs est d'environ 4t/ha pour Mogtédó. Le périmètre informel de Mogtédó présente le plus haut rendement pour l'oignon alors que le périmètre formel de Mogtédó donne le plus faible rendement.

Ces rendements sont faibles au regard du potentiel génétique de ces cultures. Les rendements potentiels du haricot vert sont de l'ordre de 10 à 12 t/ha, celui du maïs (bondofa) de 7 à 9 t/ha et de l'oignon (violet de galmi) de 40 à 50t/ha (Barbier et al., 2006).

Ces faibles rendements pourraient être liés à un apport inapproprié de l'eau aux cultures si les autres aspects des itinéraires techniques des cultures sont respectés.

Tableau 15 : Eléments de performance agronomiques

Sites	Taux de mise en valeur(%)	Rendement des principales spéculations (t/ha)						
		Spéculations	Bloc 1 (2,5 ha)	Bloc 2 (2,5 ha)	Bloc 3 (2,5 ha)	Rdt moyen	Coefficient variation	Rdt potentiel
Savili PF	50	Haricot vert	6,8	6,95	7,7	7,15	0,003	10-12
		Oignon	23,95	21,95	23,55	23,15	0,003	40-50
Mogtédo PF	71,47	Oignon	17,1	18,6	16,05	17,25	0,08	40-50
		Maïs	4	3,6	3,25	3,61	0,07	7-9
Mogtédo* PI	-	Oignon	24,75	25,25	24,65	24,88	0,006	40-50
Savili *PI								

PF : Périmètre formel ; **PI** : périmètre informel

NB : Les périmètres informels n'étant pas organisés en bloc, une superficie de 2.5 ha a été considérée pour l'estimation des rendements

6.3.2.2 Performances techniques de l'irrigation à la parcelle

Le tableau 16 donne des éléments de performance technique à la parcelle.

Tableau 16 : Performances techniques de l'irrigation à la parcelle

Paramètres	Savili		Mogtédo formel		Mogtédo informel
Type irrigation	Planche	Raie	Raie		Raie
Culture/cycle (jour) :	Oignon (90*)	Haricot.v (80)	Oignon (90*)	Maïs 97)	Oignon (90*)
Dose (mm)	48	55	58	68	43
Irrigation nette (mm)	2 064	2 090	986	1 156	731
Besoin d'irrigation (mm)	396	324	396	495	396
Eau perdue (mm)	1 661	1 755	583	663	328
EA (%)	19,5	16	41	31	55
Rdt (kg/ha)	23 150	7 150	17 250	3 610	24 880
Pc (kgm ³⁻¹)	1,12	0,34	1,74	0,31	3,4

*Dans le cas de l'oignon les 90 jours correspondent au reste du cycle à partir du repiquage. La période pépinière qui dure environ 1 mois n'est pas prise en compte.

EA : Efficience d'application ; Rdt : Rendement ; Pc : Productivité de l'eau

Pour tous les périmètres, les efficacités d'irrigation restent faibles ($16\% \geq Ea \leq 55\%$). Pour le cas de l'oignon, le périmètre informel de Mogtédo présente les meilleures performances techniques avec une efficacité de 55 % et une productivité de 3,4kg.m⁻³ suivi du PF-Mo où $Ea = 41\%$ et $Pc = 1,74\text{kg.m}^{-3}$. A Savili (PF) l'efficacité d'application est de 21 % pour l'oignon avec une productivité de 1,15kg.m⁻³

Les efficacités pour le haricot restent les plus faibles ($E_a = 16 \%$ et $P_c = 0,34 \text{ kg.m}^{-3}$). Pour le maïs, l'efficacité d'application est de 31% et la productivité est de $0,31 \text{ kg.m}^{-3}$.

Ces faibles efficacités d'applications à la parcelle indiquent une trop grande application de l'eau à la parcelle par rapport aux besoins en eau des cultures. Par rapport aux besoins en eau nets théoriques des cultures, les surplus d'eau appliqués sont en moyenne de 1700 mm sur le périmètre formel de Savili, 620 mm à Mogtédó formel et environ 330 mm à Mogtédó informel.

Rapportées aux superficies actuellement exploitées, les pertes en eau sont de l'ordre de $350\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ pour le périmètre formel de Savili, $341\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ pour le périmètre formel de Mogtédó et $2\,917\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ pour le périmètre informel de Mogtédó. Cette eau n'est en réalité pas définitivement perdue, car elle participe à la recharge de la nappe et peut être profitable à d'autres irrigants. Par ailleurs, il convient de relativiser ces pertes aux superficies mises en valeur pour chaque type de site. En ce qui concerne les productivités, les cultures de céréales bien conduites peuvent atteindre une productivité de 2 kg.m^{-3} (Passioura, 2006; Molden et al., 2010). Quant à la productivité des cultures maraîchères, elle varierait de 5 à 20 kg.m^{-3} pour la tomate et de 3 à 10 kg.m^{-3} pour l'oignon (Molden et al., 2010). Ces variabilités peuvent être liées à la trop grande application de l'eau et à la divergence des pratiques culturales. Tout comme le rendement et l'efficacité, le périmètre informel de Mogtédó présente la meilleure productivité pour l'oignon. Cela montre qu'une trop grande application de l'eau affecte négativement le rendement. Le faible taux de mise en valeur des aménagements (50% à Savili et 71%) est lié à l'insuffisance supposée de l'eau (Mogtédó) et à l'impossibilité d'approvisionner le périmètre (Savili) en eau à cause de la vétusté des équipements de pompage et de l'incapacité des coopératives à assurer leur entretien et renouvellement.

Sur la base des superficies exploitées et des volumes appliqués par ha et par an et en considérant les spéculations dominantes, la demande globale en eau pour les cultures pratiquées sur les sites de Savili et de Mogtédó (périmètres formel et informel) est respectivement de l'ordre de $1\,270\,000 \text{ m}^3$ et $3\,860\,000 \text{ m}^3$. Ainsi, au regard des capacités théoriques des barrages ($6560\,000 \text{ m}^3$ pour Mogtédó et $2\,280\,000 \text{ m}^3$ pour Savili), si le niveau de remplissage est suffisant, l'eau devrait suffire à couvrir la demande agricole réputée être de loin la plus importante.

6.3.3 Réseau de distribution de l'eau

Les observations sur le périmètre ont révélé l'ouverture de brèche sur des secondaires permettant d'alimenter des parcelles qui devraient être desservies par d'autres secondaires ainsi que l'extension des parcelles par l'exploitation des pistes et des zones de drainages.

On note également l'absence des ouvrages de régulation et de contrôle des flux d'eau dans le réseau pourtant prévu à la conception et à la réalisation du périmètre, l'enherbement des canaux, notamment tertiaires et secondaires et le développement d'arbustes sur le canal primaire à l'origine de fissuration des dalles de revêtements. Ce contexte rend difficile le transit de l'eau et peut accroître les déperditions d'eau dans le réseau de distribution par infiltration, déviation et débordement.

Par ailleurs, des prélèvements domestiques et par pompages à des fins d'irrigations ont été observés à divers endroits sur le réseau de distribution de l'eau, au quotidien et à longueur de journée. Sur le canal primaire nous avons recensé 25 motopompes en 2012. Ces prélèvements anarchiques, autorisés et facturés, entraînent constamment des variations du débit dans le réseau de distribution.

Dans ces conditions, un calcul de l'efficacité du réseau ne traduirait pas des pertes d'eau liées à la qualité et au type de réseau de distribution. De ce fait, l'efficacité du réseau de distribution n'a pas été estimée.

A Savili, l'efficacité du réseau de distribution (tableau 17) a été estimée à 97,6 %, exprimant des pertes d'eau relativement peu importantes dans le réseau de distribution.

Tableau 17 : Efficacité du réseau de distribution de Savili

	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Moyenne	Ecart type
Débit canal principal (l/s)	9,98	9,96	9,98	9,97	0,011
Débit sortie canne (moyenne des 7 cannes) (l/s)	9,74	9,70	9,76	9,73	0,015
Efficacité %				97,6	

Sur les périmètres informels, les moyens de pompages sont individuels, de capacité variable et le réseau d'irrigation comprend généralement une partie constituée de tuyauteries raccordées aux motopompes qui reçoivent l'eau de refoulement et la déverse directement dans la parcelle ou dans une raie qui permet d'alimenter les sous parcelles des champs. La longueur de la tuyauterie est variable d'un irrigant informel à l'autre et surtout selon la position de la parcelle par rapport à la source d'eau. A ce niveau, compte tenu de la diversité des cas, des estimations d'efficacités du réseau de distribution n'ont pas été évaluées.

6.3.4 Modélisation de calendriers d'irrigation théorique et réelle, opportunités d'amélioration de la gestion de l'eau

6.3.4.1 Conception de la parcelle et mise en place du système d'irrigation

Des informations ont été recueillies sur le développement des parcelles en termes de labour, de planage, de nivellement et de confection des raies d'irrigation.

Tant dans les PF que dans les PI, les aménagements parcellaires ont été réalisés sans planage ni nivellement, ce qui provoque de fréquentes inondations des zones basses des parcelles. La conception des sillons, des diguettes et des bassins ne

semblait pas tenir compte de la nature du sol et de la pente et variait d'un agriculteur à l'autre. Les sillons d'irrigation étaient simples ou multiples (figures 11 et 12), selon les agriculteurs. Pour les sillons multiples, l'eau circulait à front différé et en boucle, ce qui augmentait l'infiltration d'eau et la perte d'eau par percolation profonde. Les sillons et les diguettes étaient relativement courts (tableau 18).

Tableau 18 : Dimensions des raies, planches et bassins

Type de réseau d'irrigation	Longueur (L) des raies et planches (L en mètre)	Largeur (l) des raies et planches (l en mètre)	Bassins rizicoles (côté en m)
Réseau collectif	$10 \leq L \leq 15$	$0.2 \leq W \leq 0.6$ (Raies) $0.5 \leq W \leq 1$ (Planches)	± 50
Réseau individuel	$5 \leq L \leq 10$	$W \pm 0.2$ (Raies) $W \pm 0.5$ (Bassins)	-

6.3.4.2 Fréquences d'irrigation

La figure 19 présente la situation des fréquences d'irrigation.



Figure 19 : Fréquence d'irrigation sur les périmètres formels (données d'enquête)

A Savili, plus de 85 % des producteurs irriguent 1 fois tous les deux jours, tandis qu'à Mogtédou les fréquences d'irrigations sont plus variées, de 1 fois tous les 5 jours pour 65 % des irrigants pratiquant la culture du maïs et 49 % des irrigants pratiquant la culture de l'oignon. La fréquence d'irrigation de 1 fois tous les 2 jours est appliquée par 20 % des irrigants sur la culture de l'oignon

Les autres irrigants appliquent d'autres fréquences d'irrigation. Bello et al., (2005) soutiennent la variabilité des fréquences d'irrigation au sein d'un même périmètre. Les programmes d'irrigation des producteurs, en particulier pour l'oignon, sont donc plus variés que l'estiment Mermoud et al., (2005) à seulement 2 fois par semaine.

Sur les périmètres formels, le non-respect des tours d'eau peut être lié à l'indisponibilité du producteur son jour d'irrigation. A cela s'ajoutent les variations fréquentes et la baisse des débits délivrés à la parcelle qui contribuent à rallonger les temps d'irrigation. La baisse du débit peut s'expliquer par la distribution de l'eau partout sur le périmètre dès l'ouverture des vannes mais aussi aux prélèvements divers sur le réseau d'irrigation, autorisés et facturés. Selon nos résultats, les quantités d'eau appliquées étant plus importantes que de besoin, on peut admettre que les irrigants mettent trop de temps pour arroser leur parcelle.

L'impossibilité d'achever l'irrigation pour un producteur entraîne un décalage formel du calendrier d'irrigation de ce dernier. Il continue son irrigation le jour suivant son tour, alors qu'il n'est plus prévu. Comme ils sont plusieurs à se retrouver dans cette situation à des périodes différentes, on aboutit à un non-respect du tour d'eau normal. Chaque producteur a un tour d'eau propre à lui, avec néanmoins une probabilité d'avoir la même fréquence d'irrigation que d'autres producteurs.

Concernant la gestion de l'eau à la parcelle sur les deux sites, l'enquête révèle que l'irrigant est maître de son calendrier d'irrigation et 100 % des applications d'eau à la parcelle se font sans aucune estimation. Sur les périmètres informels, chaque irrigant dispose de son moyen de pompage et tient compte du coût de pompage dans sa consommation d'eau. Dans le pompage individuel, les charges sont supportées par l'irrigant qui essaie de les réduire en limitant le pompage aux besoins en eau des cultures selon ses propres estimations. Sur les périmètres formels, on est dans une logique de paiement d'un montant forfaitaire quelle que soit la quantité d'eau utilisée. Le modèle du paiement forfaitaire conduit à plus de gaspillage d'eau. C'est ce qui explique la plus faible consommation d'eau sur les périmètres informels par rapport aux périmètres formels où le réseau d'irrigation est communautaire.

6.3.4.3 Modélisation de calendriers d'irrigation théorique et réelle

Pour cette modélisation, les coefficients de conductivité hydraulique ont été évalués et sont présentés dans le tableau 19.

Tableau 19 : Coefficients de conductivité hydraulique

Coefficients de conductivité hydraulique		
	Ks (mm/s)	Cv_{ks}
Savili	0,002	0,14
Mogtédó	0,027	0,063

Ils montrent que les sols de Savili sont plus filtrants que ceux de Mogtédó. Les coefficients de variation indiquent une faible hétérogénéité des sols au sein des périmètres.

Les figures 20, 21 et 22 présentent respectivement les calendriers d'irrigation théorique et réel de l'oignon sur les périmètres formels de Savili, de Mogtédó et sur le périmètre informel de Mogtédó.

Le calendrier d'irrigation réel indique que l'irrigation intervient lorsque la réserve facilement utilisable est épuisée. Les fréquences d'irrigations théoriques obtenues à l'aide du modèle Cropwat 8.0 sont espacées de l'ordre de 9 à 10 jours en début de cycle et réduites à 7 et 8 jours en fin de cycle. Les doses d'irrigations sont relativement faibles au début du cycle puis augmentent au fil du temps, pour atteindre un palier à partir du 40ème jour après semis.

Les calendriers d'irrigation paysans pour les trois sites, montrent des irrigations trop rapprochées et abondantes, intervenant bien avant que la plante ait épuisée la réserve facilement disponible comparativement au calendrier théorique. Dans le cas des calendriers d'irrigation paysans, la dose appliquée (48 mm à Savili, 58 mm à Mogtédó formel et 43 mm à Mogtédó informel) est relativement constante, l'irrigation se passant toujours de la même manière (remplissage des raies ou de la planche).

Au regard du calendrier d'irrigation théorique de l'oignon, la conclusion de Mermoud et al., (2015) selon laquelle une fréquence d'irrigation de 2 fois par semaine est suffisante pour l'oignon est à nuancer. Bien que la fréquence d'irrigation de 2 fois par semaine entraîne une consommation en eau moindre que le calendrier réel appliqué à Savili et Mogtédó, son application entrainerait toujours une trop grande consommation d'eau que nécessaire par rapport à l'application du calendrier théorique.

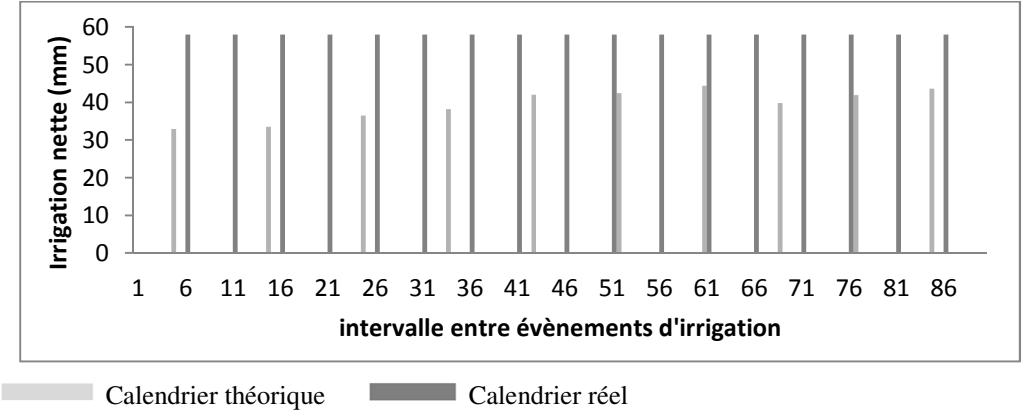


Figure 20 : Calendrier théorique et réel d’irrigation de l’oignon (Savili périmètre formel)

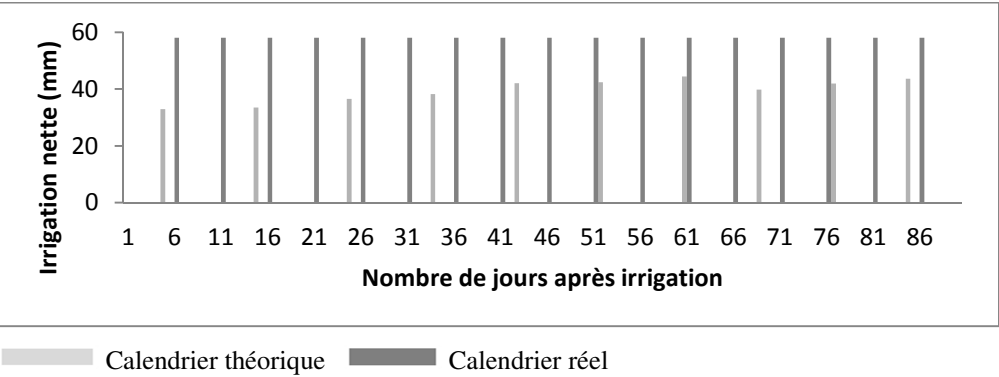


Figure 21 : Calendrier théorique et réel d’irrigation de l’oignon (Mogtéo, périmètre formel)

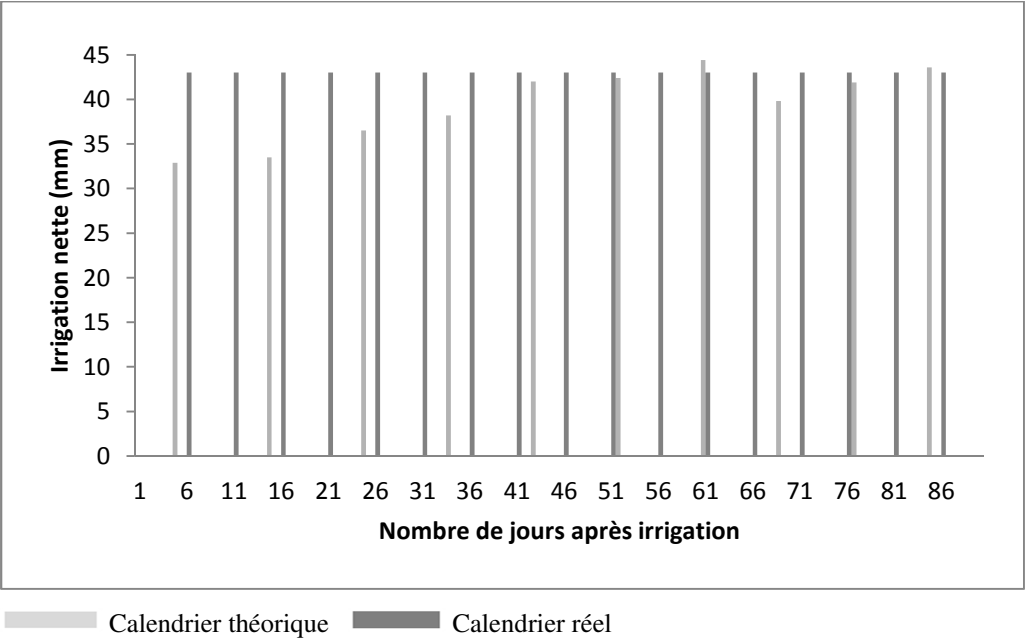


Figure 22 : Calendrier théorique et réel d'irrigation de l'oignon (Mogtédou, périmètre informel)

6.3.5 Organisation des producteurs, gestion des infrastructures hydrauliques et perspectives

L'enquête révèle à Savili et à Mogtédou l'existence d'une coopérative et d'un comité d'irrigants au niveau des périmètres formels et d'un comité local de l'eau au niveau des réservoirs. Les comités d'irrigants ont été créés en 2006 et devraient s'occuper de la gestion des infrastructures d'irrigation et de la gestion de l'eau. Les coopératives devraient se spécialiser dans l'approvisionnement en intrants et l'appui à la commercialisation des productions. Le tableau 20, qui présente les modalités de distribution de l'eau, montre que dans les faits, les comités d'irrigants sont peu actifs et les questions liées aux périmètres formels sont gérées par les coopératives.

Tableau 20 : Modalités de distribution et d'application de l'eau à Savili et Mogtédó (données d'enquête)

	Détermination des volumes d'eau à appliquer	Dose appliquée	Mode de distribution de l'eau	Période d'accès à l'eau
Périmètre formel	A l'appréciation du producteur	Inconnue	Tour d'eau flexible pas rigoureusement respecté	Ouverture des vannes (entre 6h et 18h)
Périmètre informel	A l'appréciation du producteur	Inconnue	Pompage selon le calendrier propre de chaque irrigant	A tout moment

Le tableau 21 présente les conditions d'accès à la ressource en eau.

Tableau 21 : Accès à la ressource en eau pour les irrigants (données d'enquête)

Sites	Usagers	Droits d'accès	Perception des droits d'accès à l'eau
Mogtédó	PF	Redevance eau : 25,95€/ha/an	CMR
	PI	Taxe de développement communal (3,05€/ha/an/motopompe)	50 % pour la commune et 50 % pour le CMR*
	Autres usagers	Prélèvement non agricole (1,90€/m ³ /an)	CMR
Savili	PF	Redevance eau : 7,33€/ha/an	CHVS*
	PI	-	-

*CMR= coopérative maraîchère et rizicole ; CHVS = coopérative de production de haricot vert de Savili.

NB : Les producteurs de Savili PI ne paient aucun droit d'accès à l'eau

Sur les périmètres formels, les taux de recouvrement des droits d'accès à l'eau, selon les responsables de groupement pour les années 2011 et 2012, étaient de 90 % à Savili et 65 % à Mogtédó. Ces taux de recouvrement sont à la baisse par rapport à ceux des années 1990 estimés respectivement à 96 % pour Savili et 75 % pour Mogtédó (IWMI, 1997). Néanmoins on note que les producteurs dans leur majorité paient les droits d'accès à l'eau pour continuer à bénéficier des services du groupement pour l'accès aux intrants mais aussi pour conserver leur parcelle sur le périmètre qu'ils peuvent exploiter en saison humide. Selon les responsables des coopératives des sites, la sanction relative au retrait de la parcelle n'a jamais été appliquée.

Notre étude confirme l'existence de plusieurs organisations de producteurs autour des petits réservoirs avec un chevauchement des rôles, relevé par Sally et al., (2011). Ceci tend à rendre les rapports entre ces organisations conflictuels. Parmi les principaux freins à la bonne gestion des infrastructures hydrauliques et les causes de leur faible productivité, sont cités entre autres le non-respect des tours d'eau et des calendriers culturels, le manque d'entretien des infrastructures, l'insuffisance organisationnelle des producteurs, le manque d'expérience des irrigants en matière de distribution de l'eau (IWMI, 1997, Barbier et al., 2006, Barbier et al., 2011).

A Mogtédó 96 % des enquêtés disent ne pas pouvoir respecter le tour d'eau formel contre 94 % à Savili. A Savili, la station de pompage installée en 1984 comprenait 7 motopompes. En 2012, seulement 2 étaient encore fonctionnelles. D'après les fiches techniques de ces équipements, ils devraient être renouvelés après 10 000 heures de fonctionnement. En considérant 8 heures de travail par jour, les 10 000 heures de fonctionnement sont atteintes au bout de 9 ans soit en 1994. Cette hypothèse ne prend pas en compte les utilisations en saison humide pour l'irrigation d'appoint.

Ainsi, il apparaît que la faible capacité technique et organisationnelle des producteurs est l'élément déterminant de la faible performance technique des périmètres de Savili et de Mogtédó. Les fréquences d'irrigation sont très variables sur le même périmètre et les mêmes cultures. Les doses appliquées sont inconnues des producteurs. Cette gestion de l'irrigation se traduit par des pertes importantes d'eau (350 000 m³/an pour le périmètre formel de Savili, 341 000 m³/an pour le périmètre formel de Mogtédó et 2 917 000 m³/an pour le périmètre informel de Savili). Cela se traduit aussi par la faible productivité de l'eau sur ces sites. Face aux difficultés liées à la gestion de l'eau, 65 % des producteurs de Savili et 85 % de ceux de Mogtédó estiment que l'état qui s'est désengagé de ce rôle depuis les années 1990 avec la mise en œuvre du Programme d'Ajustement Structurel (PAS) de la Banque mondiale, devrait revenir sur cette décision ou trouver un autre mécanisme qui permet aux irrigants d'être bénéficiaires du service de l'eau. Avant l'application du PAS, l'Etat assurait la distribution de l'eau, veillait au respect des tours d'eau et des plans de production et assurait un encadrement rapproché des sites de production.

Mais avec la mise en œuvre du PAS, les périmètres irrigués sont passés à l'autogestion paysanne et l'Etat n'assure plus que le rôle d'appui conseil et de facilitation de l'accès aux facteurs de production. Toutefois, on peut penser que ces eaux perdues sur ces sites irrigués participent à la recharge de la nappe phréatique et peuvent être bénéfiques à d'autres usages agricoles. Il apparaît nécessaire de former les producteurs sur la détermination des doses d'irrigation mais aussi de mettre à leur disposition des calendriers d'irrigations des cultures, adaptés à leur site. Le respect et l'adaptation du tour aux réalités d'exploitation des sites apparaissent comme des éléments essentiels pour l'amélioration de la gestion de l'eau sur ces deux sites. Tirant leçons des expériences réussies dans la fourniture de l'eau aux producteurs par des particuliers qui disposent de motopompes, la réflexion mérite d'être approfondie sur la faisabilité de dissocier les rôles sur le périmètre, de sorte que le producteur soit un bénéficiaire du service de l'eau et des infrastructures qui, elles seraient gérées par un prestataire de service qualifié qui proposerait les plans de mise en place des cultures et les calendriers d'irrigations aux producteurs sur les périmètres formels et informels. Les redevances collectées pourraient être mises à contributions pour rémunérer ces prestations.

Conclusion

Les périmètres irrigués de Savili et de Mogtédô sont peu performants au regard des efficacités d'application et de productivité de l'eau. Les efficacités d'application sont inférieures à 20 % à Savili et comprises entre 31 et 55 % à Mogtédô. Les productivités sont de 1,12 à 3,4 kg.m⁻³ pour l'oignon, 0,31 kg.m⁻³ pour le maïs et 0,34 kg.m⁻³ pour le haricot vert. Sur les parcelles d'oignon, les fréquences d'irrigation sont de 1 fois tous les deux jours pour 85 % des producteurs à Savili, 1 fois tous les 5 jours pour 20 % des producteurs de Mogtédô. Le périmètre informel de Mogtédô présente de meilleures performances que les deux périmètres formels. Les insuffisances organisationnelles et techniques des producteurs constituent des causes majeures de la faible performance des périmètres irrigués. Une méconnaissance et la non application des doses et calendriers d'irrigation appropriées marquées par des irrigations trop fréquentes et les doses d'irrigation élevées et constantes dans le temps expliquent les importantes pertes en eau révélées. Le renforcement des capacités des producteurs et la mise à leur disposition des calendriers d'irrigation appropriés permettraient d'améliorer la performance et la gestion de l'eau à l'échelle de la parcelle. Le suivi et le respect des calendriers d'irrigation est essentiel pour améliorer la gestion de l'eau. Une autre piste soutenue par les producteurs pour améliorer la performance technique serait d'approfondir la réflexion sur la faisabilité de dissocier les rôles sur le périmètre, de sorte que le producteur soit un bénéficiaire du service de l'eau et des infrastructures qui, elles, seraient gérées par un prestataire de service qualifié.

- L'amélioration des performances des périmètres irrigués autour des petits réservoirs nécessite également:
- l'élaboration et la mise en œuvre, au début de chaque campagne de production de saison sèche, un plan de production basé sur les ressources en eau disponibles;
- le respect des itinéraires techniques de production des cultures irriguées;
- la prise en compte du drainage, élément essentiel de la pratique de l'irrigation pour lutter contre l'engorgement;
- la mise en œuvre des plans de production des cultures irriguées plus tôt, dès le début de la saison sèche (octobre-novembre).

Cette étude met à jour certains indicateurs de performance en irrigation et la situation actuelle de l'irrigation au Burkina Faso. Elle met en évidence le gaspillage de l'eau d'irrigation et la forte concurrence entre les périmètres formels et informels. L'étude propose également une réflexion pour une meilleure gestion de l'eau en irrigation.

7.

Conclusion générale

7. Conclusion générale

Suite aux grandes sécheresses des années 1970, qui ont sérieusement affecté les productions agricoles au Burkina Faso et induit des crises alimentaires aiguës dans les pays sahéliens, le développement de l'irrigation par la mobilisation de l'eau, l'aménagement et la valorisation de périmètres irrigués et de bas-fonds est apparu comme une alternative porteuse pour sécuriser et accroître la production agricole.

Cependant, la pratique de l'irrigation serait confrontée, entre autres, au manque d'eau d'irrigation, à une gestion déficiente des périmètres irrigués et aux faibles performances agronomique, économique et technique de ceux-ci.

Dans ce contexte, l'objectif de notre recherche était de contribuer à la réflexion sur la problématique de la gestion de l'eau au niveau des périmètres irrigués au Burkina Faso à travers l'analyse de la situation de l'irrigation, l'évaluation des indicateurs de performances techniques, l'analyse de la gestion de l'irrigation et l'efficacité organisationnelle des irrigants et de faire des propositions d'amélioration des performances techniques de l'irrigation et de la gestion de l'eau d'irrigation.

Cette étude montre que l'irrigation est gravitaire au Burkina Faso et est faiblement développée avec 33 % de superficies aménagées sur un potentiel irrigable de 233 500 ha. Le pilotage de l'irrigation est faiblement maîtrisé et les producteurs sont peu organisés sur les périmètres irrigués où les périmètres informels semblent plus performants que les périmètres formels.

L'étude montre qu'il tombe globalement des quantités d'eau relativement importantes au Burkina Faso. Cependant, la répartition de cette eau dans le temps et dans l'espace qui est très aléatoire, ne permet pas de garantir une bonne campagne agricole de saison humide. La mise en œuvre de techniques de collecte des eaux de ruissellement et la pratique de l'irrigation d'appoint permettraient de sécuriser la production agricole de saison humide. Ce contexte pluviométrique aléatoire justifie le choix des producteurs et des politiques de développer l'agriculture irriguée.

Le chapitre sur le diagnostic des infrastructures d'irrigation montre que des efforts sont consentis dans la réalisation des ouvrages pour l'irrigation et dans leur gestion. Cependant, le pilotage de l'irrigation est peu maîtrisé et les producteurs peu organisés pour assurer une bonne gestion de l'eau sur les périmètres irrigués en général et les périmètres communautaires en particulier.

Les périmètres irrigués souffrent d'une mauvaise qualité des aménagements parcellaires et d'un mauvais entretien des ouvrages hydrauliques. Il ressort également de ce chapitre que l'eau utilisée pour l'irrigation ne présente aucun risque pour les cultures et le sol. Par contre, une mauvaise gestion des engrais et des pesticides a été mise en exergue ; ce qui peut avoir des conséquences négatives sur l'environnement.

L'étude révèle la nécessité d'un suivi approfondi de la qualité des eaux et des sols, toute chose qui permettrait d'anticiper sur les dispositions à prendre pour éviter ou corriger la pollution des eaux, des sols et de l'air liée à l'utilisation des engrais chimiques et des pesticides.

Sur base du suivi de la tensiométrie, l'étude confirme une mauvaise maîtrise du pilotage de l'irrigation en terme de gestion des fréquences et des doses d'irrigation, ce qui tend à vérifier l'hypothèse 1 qui stipule que l'insuffisance de l'eau d'irrigation sur les périmètres aménagés s'explique par l'inexistence d'une bonne méthode de pilotage des irrigations pour assurer une économie d'eau à l'échelle parcellaire. De même, cet essai soutient l'hypothèse 3 qui met en cause le faible niveau technique et organisationnel des irrigants ; ce qui expliquerait les faibles niveaux d'efficience et de productivité de l'eau.

L'article de synthèse bibliographique a permis de passer en revue et d'éclaircir davantage les concepts d'efficience et de productivité de l'eau selon les domaines d'application ainsi que les systèmes d'irrigation et les outils à mettre à contribution dans le pilotage efficient de l'irrigation.

Enfin, l'étude sur l'évaluation des performances techniques des petits réservoirs de Savili et de Mogtédou a montré que les périmètres irrigués associés à ceux-ci sont peu performants du fait fondamentalement des insuffisances organisationnelles et techniques des producteurs ce qui tend à vérifier les hypothèses 2 et 3 de l'étude.

Ainsi, la problématique de l'eau sur les périmètres irrigués au Burkina Faso n'est pas directement liée à l'insuffisance de l'eau mais aussi et surtout à la mauvaise gestion de l'eau du fait de la faible maîtrise du pilotage de l'irrigation et du faible niveau technique et organisationnel des irrigants et organisations de producteurs.

Les pistes d'amélioration des performances des périmètres irrigués pourraient porter entre autres sur :

- une meilleure organisation et responsabilisation des organisations de producteurs et des producteurs sur les sites irrigués ;
- le renforcement des capacités des producteurs sur les différents maillons de la chaîne de production sur les sites irrigués et la mise à leur disposition des calendriers d'irrigation appropriés et éventuellement des outils de pilotage de l'irrigation comme les tensiomètres permettraient d'améliorer la performance et la gestion de l'eau à l'échelle de la parcelle.
- la dissociation des rôles sur le périmètre, de sorte que le producteur soit un bénéficiaire du service de l'eau et des infrastructures qui, elles, seraient gérées par un prestataire de service qualifié ce qui permettrait une meilleure gestion des infrastructures d'irrigation et plus de rationalité dans l'utilisation de l'eau pour l'irrigation ;
- la promotion de l'irrigation goutte-à-goutte, connue pour sa grande efficience mais aussi pour ses avantages en terme d'économie de main-d'œuvre, de gain de temps, de lutte contre les mauvaises herbes et de lutte contre certaines maladies des cultures.

8.

Recommandations et perspectives

8. Recommandations et perspectives

8.1 Recommandations

L'étude montre que les périmètres irrigués au Burkina Faso sont peu performants au regard de la faiblesse des efficacités d'application et de productivité de l'eau et des pertes importantes d'eau à l'échelle des parcelles. Elle montre également une faible maîtrise du pilotage de l'irrigation et une insuffisance organisationnelle et technique des producteurs pour assurer la bonne gestion de l'eau d'irrigation et des infrastructures hydrauliques. Elle relève par ailleurs la mauvaise qualité des aménagements, notamment à l'échelle de la parcelle, ainsi que des mauvaises pratiques phytosanitaires et de fertilisation des cultures irriguées. Entre autres, il en ressort aussi que certaines missions portées par les irrigants, notamment celles liées à la gestion de l'eau et des infrastructures, ne donnent pas les résultats escomptés et gagneraient à être confiées à d'autres acteurs.

Dans ces conditions et pour améliorer la performance des périmètres irrigués au Burkina Faso, les recommandations ci-après sont formulées :

A l'endroit de l'Etat, ses partenaires et l'encadrement technique

- ❖ **sensibiliser et former les irrigants et leurs organisations sur :**
 - l'intérêt de la bonne gestion de l'eau et des infrastructures d'irrigation ;
 - les différents maillons de la chaîne de production, notamment sur les aspects liés à la gestion des engrais et des pesticides, au respect des itinéraires techniques de production et à la connaissance des besoins en eau des cultures sur les périmètres irrigués ;
 - l'entretien du réseau d'irrigation et des drains par les producteurs ;
 - la gestion de l'eau d'irrigation, l'aménagement parcellaire, l'installation des équipements de pompage et d'irrigation sur les périmètres informels.
- ❖ inscrire dans le mandat des entreprises en charge des travaux d'aménagement, une clause qui garantisse la réalisation de travaux d'aménagements parcellaires de qualité (labour, planage et nivellement des parcelles, mise en place des raies d'irrigation, bassins ou planches ainsi que le réseau de drainage, etc.).
- ❖ **expérimenter la privatisation de la fourniture d'eau sur les périmètres irrigués formels;**

A l'endroit du comité local de l'eau

- ❖ élaborer et mettre en œuvre au début de chaque campagne de production de saison sèche, un plan d'allocation de la ressource en eau au niveau des différents plans d'eau utilisés entre autres pour l'irrigation.

A l'endroit de l'Etat

- ❖ appliquer la réglementation existante en matière de taxation de l'eau agricole ;
- ❖ promouvoir l'utilisation d'outils de pilotage de l'irrigation comme la tensiométrie ;

- ❖ responsabiliser davantage les producteurs sur les aspects liés à la production (approvisionnement en intrants, recherche du marché et commercialisation des productions, entretiens courants des réseaux d'irrigation) ;
- ❖ contractualiser la gestion de l'eau et les grands travaux d'entretien des infrastructures hydrauliques sur les périmètres communautaires;
- ❖ promouvoir l'irrigation localisée par l'exploitation des eaux souterraines et l'énergie solaire ;
- ❖ promouvoir l'utilisation d'outils de comptage de l'eau d'irrigation.

A l'endroit de l'encadrement technique

- ❖ élaborer et mettre à la disposition des irrigants et des gestionnaires de chaque périmètre des calendriers d'irrigation adaptés ;
- ❖ veillez à la mise en place et au respect des plans de production.

A l'endroit des irrigants et organisation de producteurs

- ❖ veillez au respect des tours d'eau ;
- ❖ assurer l'entretien courant du réseau d'irrigation et des équipements de pompage ;
- ❖ veillez à la bonne installation des motopompes ;
- ❖ focaliser le rôle de l'irrigant et des organisations de producteurs sur l'organisation et la commercialisation des productions ;
- ❖ instaurer l'autodiscipline et veillez aux respects des statuts et règlements intérieurs des organisations de producteurs ainsi que toutes les autres règles régissant l'exploitation ou le développement de périmètres irrigués ;
- ❖ mettre en application les plans de production, les calendriers d'irrigation, les conseils sur les bonnes pratiques de fertilisation et de traitements phytosanitaires des cultures.

8.2 Perspectives

Au sortir de cette étude, il apparaît important que les investigations soient poussées sur certains aspects ; il s'agira entre autres de :

- approfondir la réflexion sur l'évaluation des indicateurs de performance au Burkina Faso par zone agro-écologique ;
- prendre en compte l'indicateur sur l'uniformité de distribution qui n'a pas fait l'objet d'évaluation dans notre étude ;
- approfondir la question sur le développement de l'irrigation d'appoint comme une des alternatives au caractère aléatoire de la pluviométrie au Burkina Faso ;
- pousser la réflexion vers le développement d'un référentiel technico-économique en irrigation pour faciliter la prise de décisions aux acteurs de l'irrigation ;
- approfondir la réflexion sur l'impact des pratiques de fertilisation et de gestion des pesticides sur la pollution des eaux des sols et des cultures.

9.

Références bibliographiques

9. Références bibliographiques

Albergel J., Carbonnel J.P., et Grouzis M., 1985. Péjoration climatique au Burkina Faso : incidences sur les ressources en eau et les produits végétales. Cah. ORSTOM, Sér. hydrol., vol. 11, N° 1, 3-19.

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D, Smith M, 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper N°56. Roma, FAO.

Allen, R.G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R., Wright, J.L., Bastiaanssen, W., Kramber, W., Lorite, I., Robison, C.W., 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)- applications. J. Irrig. Drain. Eng., 133 (4), 395–406.

AgWater solutions, 2012. Investir dans la gestion de l'eau en agriculture au profit des petits exploitants agricoles du Burkina Faso. Rapport national de synthèse du projet AgWater solutions. Document de travail. IWMI-149.

Ahmad, M.D., Turrall, H., Nazeer, A., 2009. Diagnosing irrigation performance and water productivity through satellite remote sensing and secondary data in a large irrigation system of Pakistan. Agric. Water Manage., 96, 551-564.

Amigues, J.-P., Debaeke, P., Itlier, B., Lemaire, G., Seguin, B., Tardieu, F., Thomas, A., 2006. (Éditeurs), 2006. Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France), 72 p. Disponible en ligne:

http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/secheresse_agriculture_synthese.pdf. Consulté le 05/10/2012.

Annor F., van de Giesen N., Liebe J., van der Zaag P., Timant, N. & Odai, S.N., 2009. Delineation of small reservoirs using radar imagery in a semi-arid: a case study in the upper east region of Ghana. Physics and Chemistry of the Earth, 34, 309-315.

Aouba H., 1993. L'irrigation au Burkina Faso : Historique, situation, perspectives - In Zegoupil, J.-C., Sally, H., Pouya, A.M., (Eds.). Actes du séminaire- atelier "Quel environnement pour le développement de l'irrigation au Burkina Faso ? ", 01-03 Février 1993, IIMI, Ouagadougou, Burkina Faso, pp. 29-48.

Assogba-Komlan F., Anihouvi P., Achigan E., Sikirou R., Boko A., Adje C., Vodouhè R., et Assa A., 2007. Pratiques culturelles et teneur en éléments anti nutritionnels (nitrates et pesticides) du *Solanum macrocarpum* au sud du Bénin. African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development, 7(4), 1-21.

Ayer R.S., 1977. Quality of water for irrigation. Journal of the Irrigation and drainage Division. Vol. 103, Issue 2, 135-154.

Ayu I.W., Prijono S., Soe marno, 2013. Evaluation of soil Moisture Availability in Root Zone : Case study in Unter-Iwes drylands, Sumbawa, Indonesia. International Journal of Ecosystem, 3 (5) : 115-123.

Banque mondiale, 2017. Amélioration de la connaissance et de la gestion des eaux au Burkina Faso. Rapport de synthèse - version provisoire. Banque mondiale. Burkina Faso, Ouagadougou.

Barbier B., Ouedraogo H., Dembele Y., Yacouba H., Barry B. & Jamin J.Y., 2011. L'agriculture irriguée dans le Sahel ouest-Africain. *Cah. Agric.*, 20, 24–33.

Barbier B., Dembélé Y., Compaoré L., 2006. L'eau au Burkina Faso : usages actuels et perspectives. *Sud Sciences et Technologies*. N°14.

Bana S., Pijono S., Ariffin, Soe marno, 2013. Evaluation crop water requirement on the dryland at the west Bangkala sub district of Jenepono Regency. *International Journal of Ecosystem*, 3 (3) 30-36.

Barbour M. M., Warren R. C., Farquhar D. G., Forestier G., Brown H., 2010. Variability in mesophyll conductance between barley genotypes, and effects on transpiration efficiency and carbon isotope discrimination. *Plant, Cell and Environment*, 33, 1176–1185.

Bastiaanssen, W.G.M., Molden, J.D., Makin, I.W., 2000. Remote sensing for irrigated agriculture : examples from research and possible application. *Agric. Water Manage.*, 46, 137-155.

Bello S., Assogba-Komlan F. & Baco N., 2005. Effet des plans d'irrigation paysanne et améliorée sur la production d'oignon (*Allium cepa* L.) *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, Numéro 48.

Bluemling, B., Yang, H., Pahl-Wostl, C., 2007. Making water productivity operational - A concept of agricultural water productivity exemplified at a wheat-maize cropping pattern in the North China plain. *Agric. Water Manage.*, 91, 11-23.

Bos M. G., Nugteren J., 1990. On irrigation efficiency, fourth edition. International Institute for Land Reclamation and Improvement/LRI, Wageningen.

Bouaziz A., Belabbes K., 2002. Efficience productive de l'eau en irriguée au Maroc. *H.T.E.*, 24, 57-72.

Brouwer C., Prins K., Heibloem M., 1989. Irrigation Water Management : Irrigation scheduling. Training manual N°4. FAO, Rome.

BUNASOL. 1985. "Etat de connaissance de la fertilité des sols du Burkina Faso". Documentation Technique no. 1, Ministère Agriculture et Elevage. Burkina Faso, Ouagadougou.

Burt C.M., Clemmens A.J., Strelkoff T.S., Solomon K.H., Bliesner R.D., Hardy L.A., Howell T.A., Eisenhauer D.E., 1997. Irrigation performance measures : efficiency and uniformity. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 123, 423-442.

CAPES, 2007. Contribution des cultures de saison sèche à la réduction de la pauvreté et à l'amélioration de la sécurité alimentaire. Rapport Provisoire, Burkina Faso, Ouagadougou.

Calvet R. (1999). Transferts dans la zone racinaire. Disponible en ligne. <http://dx.doi.org/10.1051/lhb/1999071>. 10.1051/lhb/1999071. Consulté le 05/10/2012.

Cecchi P., Nikiema A., Nicolas M., & Sanou B., 2009. Towards an atlas of lakes and reservoirs in Burkina Faso. In *Small reservoirs toolkit*. In : Sally H., Lévite H. & Cour

J., 2011. Local water management of small reservoirs: Lessons from two case studies in Burkina Faso. *Water Alternatives*, 4(3), 365-382.

Chossat J.- C., Favrot J.- C., 2006. L'irrigation souterraine par réseau de drainage ou subirrigation. In : Tiercelin, J.-R. et Vidal A., (eds). *Traité d'irrigation*. 2^{ème} édition, Lavoisier, Paris. 618-633.

Chossat J.- C. et al., 1987. L'irrigation par drains enterrés : résultats d'expérimentation et perspectives. *Drainage : revue du Syndicat National des Entreprises de Drainage*. Deuxième semestre. 22, 9-11.

Clarkson D.T., Sanderson J. and Scattergood C.B., 1978. Influence of phosphate-stress on phosphate absorption and translocation by various parts of the root system of *Hordeum vulgare* L.(barley). *Planta*, 139 : 47-53.

Cledan X., M-P & Bisbey, J., 2016. How to develop sustainable irrigation projects with private sector participation. Rapport N° 103346, Volume 1. The World Bank 1818 H Street NW, Washington DC 20433.

Compaoré M.L., 2006. Panorama des techniques d'irrigation et éléments de choix. In : Tiercelin J.-R. et Vidal A., (eds). *Traité d'irrigation*. 2^{ème} édition, Lavoisier, Paris. 489-512.

CTA,1999. Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale. Gestion équitable, efficiente et durable de l'eau pour le développement agricole et rural en Afrique sub saharienne et dans les Caraïbes. Rapport de synthèse du Séminaire, 20-25 Septembre 1999. CTA, Espagne, Cordoba.

de Fraiture C., Ndanga K. G., Sally H. & Kabre P., 2014. Pirates or pioneers? Unplanned irrigation around small reservoirs in Burkina Faso. *Agric. Water Manage.*, 131, 212-220.

Dembélé Y., Yacouba H., Kéita A. & Sally, H., 2012. Assessment of irrigation system performance in south-western Burkina Faso. *Irrig. and Drain.*, 61, 306-315

Dembélé A., Oumarou B., Traore S.K., Mamadou K., Coulibaly D.T., Amadou T., 2008. The chemical control of the pests in the truck farming and the quality of vegetables in african urban cities: the health hazards and security of consumers. *European Journal of Scientific Research*, 20, 836-843.

Dembélé Y., Ouattara, S., Kéita A., 2002. Application des indicateurs «Approvisionnement relatif en eau» et «Productivité de l'eau» à l'analyse des performances des petits périmètres irrigués au Burkina Faso. *Irrig. and Drain.* 50, 309-321.

DGESS, 2018. Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles. Rapport d'activités 2017. Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques. Burkina Faso, Ouagadougou.

DGESS, 2017. Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles. Bilan céréalier 2017-2018. Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques. Burkina Faso, Ouagadougou.

DGM, 2010. Rapport sur la migration des isohyètes. Direction Générale de la Météorologie. Ouagadougou. Burkina Faso.

DGPER, 2011. Recensement général de la population et de l'habitat. Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale. Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques. Burkina Faso, Ouagadougou.

DGPER, 2010. Bilan céréalier 2009. Direction Générale de la Promotion de l'Economie Rurale. Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques. Ouagadougou. Burkina Faso.

DGRE, 2011. Base de données sur le Système d'Informations sur l'Eau. Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique. Burkina Faso, Ouagadougou.

Doorenbos J., Kassam A.H., 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

Doorenbos J. & Pruitt W., 1977. Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper N°24. Rome

Drew M.C., Saker L.R., Ashley T.W., 1973. Nutrient supply and the growth of the seminal root system in barley. I. The effect of nitrate concentration on the growth of axes and laterals. *Journal of Experimental Botany*, 24, 1189-1202.

Druyan L.M., 2011. Studies of the 21st century precipitation trends over West Africa. *Int. J. Climatol.*, 31 (10), 1415-1424. doi.org/10.1002/joc.2180.

DSA, 2008. Direction des Statistiques Agricoles. Bilan céréalier 2008. Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques. Ouagadougou. Burkina Faso.

El Oumlouki K., Moussadek R., Zouahri A., Dakak H., Chati M., 2014. Étude de la qualité physico-chimique des eaux et des sols de la région Souss Massa, (Cas du périmètre de Issen), Maroc. *J. Mater. Environ. Sci.*, 5 (S2) (2014) 2365-2374.

Elliot R. & Walker W. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. ASAE.

FAO., 2011. L'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde - Gérer les systèmes en danger. Rapport de synthèse. Rome : FAO.

FAO, 2002. Crops and Drops: Making the Best Use of Water for Agriculture. FAO, Rome.

FAO. 1992. "CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management". Irrigation and drainage Paper n°46, FAO, Rome.

Flexas J., Galmés, J., Gallé, A., Gulias, J., Pou, A., Ribas-Carbo, M., Tomas, M., and Medrano, H. (2010). "Improving water use efficiency in grapevines: potential physiological targets for biotechnological improvement". *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16,106–121.

Fowe T., Karambiri H., Paturel J.-E., Poussin J.-C. & Cecchi, P., 2015 Water balance of small reservoirs in the Volta basin: A case study of Boura reservoir in Burkina Faso. *Agric. Water Manage.*, 152, 99-109.

Giordano, M., Rijsberman, F., Maria Saleth, R. (Eds.), 2006. More Crop per Drop: Revisiting a Research Paradigm. IWA Publishing House, UK.

- Hlavec R., 1992. Critères de choix d'un système d'irrigation – CUD.
- IFDC, 2007. Problématique de l'utilisation des produits phytosanitaires en conservation des denrées alimentaires et en maraîchage urbain et périurbain au Burkina Faso : cas de Bobo Dioulasso, Ouahigouya et Ouagadougou. Rapport d'étude. IFDC., 51. Ouagadougou, Burkina Faso.
- Israelsen O.W., 1950. Irrigation Principles and Practices. Wiley, New York. In « van Halsema G.E., Vincent L., 2012. Efficiency and productivity terms for water management : A matter of contextual relativism versus general absolutism. Agric. Water Manage.108, 9-15.
- Israelsen O.W., Criddle, W.D., Fuhrman, D.K., Hansen, V.E., 1944. Water-Application Efficiencies in Irrigation. Bull. N°311.Utah State University. In : van Halsema G.E., Vincent L., 2012. Efficiency and productivity terms for water management : A matter of contextual relativism versus general absolutism. Agric. Water Manage.108, 9-15.
- IWMI., 1997. Améliorer les performances des périmètres irrigués : les actes du séminaire régional du Projet Management de l'Irrigation au Burkina Faso, 24-26 juillet 1996, IWMI. Ouagadougou.
- Jebbour S., 2010. Diagnostic des périmètres irrigués dans le cadre de la phase I du programme de développement durable de la petite irrigation. Partie I. Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique. Burkina Faso, Ouagadougou.
- Kambou D., Xanthoulis D., Ouattara K., Degré A., 2014. Concepts d'efficience et de productivité de l'eau (Synthèse Bibliographique). Biotechnol. Agron. Soc. Environ.,18 (1), 108-120.
- Kassin K.E., Doffangui K., Kouamé, B.,Yoro R.G., Assa A., 2008. Variabilité pluviométrique et perspectives pour la replantation cacaoyère dans le Centre Ouest de la Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences.,12 : 633-641.
- Kay M., 1986. Surface irrigation, Systems and practice. Cranfield Press. Great Britain.
- Keller, A.A., Keller, J., 1995. Effective efficiency : a water use efficiency concept for allocating fresh water resources. Discussion paper 22. Center For Economic Policy Studies, Winrock international.
- Lage M., Bamouh A., Badawi T., El Mourid M., 2004. Actes du séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée. Rabat.
- Lankford B., 2012. Fictions, fractions, factorials and fractures; on the farming of irrigation efficiency. Agric. Water Manage., 108, 27-38.
- Lecina S., Playán, E., 2006a. A model for the simulation of water flows in irrigation districts: II. Application. J. Irrig. Drain. Eng., 132 (4), 322–331.
- Lecina S., Playán, E., 2006b. A model for the simulation of water flows in irrigation districts: I. Description. J. Irrig. Drain. Eng. 132 (4), 310–321.
- Leemhuis C., Jung G., Kasei R. & Liebe J., 2009. The Volta Basin water allocation system: assessing the impact of small-scale reservoir development on the water resources of the Volta basin, West Africa. Advanced Geosciences, 21, 57-62.

Liljeroth J. A., Van Veen J. A., and Miller H. J., 1990. Assimilate translocation to the rhizosphere of two wheat lines and subsequent utilization by rhizosphere micro-organisms at two nitrogen concentrations. *Soil Biology & Biochemistry* 22, 1015-1021.

Madsen H. B., 1985. Distribution of spring barley roots in danish soils of different texture and under different climatic conditions. *Plant Soil* 88, 31-43.

MAAH, 2016. Etude diagnostique et établissement de la situation de référence de la zone d'intervention du projet de promotion de l'irrigation goutte-à-goutte. Rapport d'étude. Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques. Direction des Aménagements et du Développement de l'Irrigation. Burkina-Faso, Ouagadougou.

MAH, 2012. Rapport bilan de la campagne de production de saison sèche 2011-2012. Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique. Direction des Aménagements et du Développement de l'Irrigation. Burkina-Faso, Ouagadougou.

MAH, 2011a. Evaluation à mi-parcours de la stratégie nationale de développement durable de l'agriculture irriguée au Burkina Faso. Rapport d'étude. Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique. Direction des Aménagements et du Développement de l'Irrigation. Burkina Faso, Ouagadougou.

MAH, 2011b. Harmonisation des interventions dans le sous secteur de l'irrigation. Rapport d'étude. Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique. Direction des Aménagements et du Développement de l'Irrigation. Burkina Faso, Ouagadougou.

MAHRH, 2008. Capitalisation de bonnes pratiques et technologies en agriculture irriguée. Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques. Rapport d'étude. Ouagadougou, Burkina-Faso.

MAHRH, 2004. Politique nationale de développement durable de l'agriculture irriguée - Stratégie, plan d'action, plan d'investissement à l'horizon 2015. Rapport principal. Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques. Ouagadougou, Burkina-Faso.

MASA, 2013. Rapports bilan des campagnes agricoles de saison sèche 2004 à 2012. Ministère de l'Agriculture et de Sécurité Alimentaire. Ouagadougou. Burkina Faso.

Mdemu M.V., Rodgers C., Vlek P.L.G. & Borgadi J.J., 2009. Water productivity (WP) in reservoir irrigated schemes in the upper east region (UER) of Ghana. *Physics and Chemistry of the Earth* 34, 324-328.

MEE, 2001. Etat des lieux des ressources en eau au Burkina Faso et de leur cadre de gestion. Rapport Version finale. Ministère de l'environnement et de l'eau. Burkina Faso, Ouagadougou.

Mermoud A., Tamini T.D. & Yacouba H., 2005. Impacts of different irrigation schedules on the water balance components of an onion crop in a semi-arid zone. *Agric. Water Manage.*, 77, 282-295.

Merriam J.L. & Keller J., 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management. Department of Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah.

Molden D., Oweis T., Steduto P., Bindraban P., Hanjra M. A., Kijne J., 2010. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agric. Water Manage.*, 97, 528–535.

Naré R.W.A., Savadogo P.W., Gnankambary Z., Nacro H. B., Sedogo M. P., 2015. Analyzing risks related to the use of pesticides in vegetable gardens in Burkina Faso. *Agriculture, Forestry and Fisheries*. 2015 4(4), 165-172.

Nazeer M., 2009. Simulation of maize crop under irrigated and rainfall conditions with cropwat model. *Journal of agricultural and Biological Science*, vol. 4, n°2.

Padounou M.N. & Sarr P., 2009. Contribution de la télédétection et du système d'information géographique (SIG) à l'amélioration de la gestion des eaux de surface dans un bassin versant : Cas du barrage de Mogtédou au Burkina Faso. Journées d'Animation Scientifique (JAS09) de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), 8-11 Novembre 2009. Alger, Algérie.

Passioura J., 2006. Increasing crop productivity when water is scarce-from breeding to field management. *Agric. Water Manage.*, 80, 176–196.

Pereira, L.S., Allen, R., Perrier, A., 2006. Méthode pratique du calcul des besoins en eau. In : Tiercelin, J.-R. et Vidal A., (eds). *Traité d'irrigation*. 2^e édition, Lavoisier, Paris. 227-268.

Perry C.J., 2007. Efficient irrigation; Inefficient communication; Flawed recommendations. *Irrig. Drain.*, 56 (4), 367–378.

Playán E., Mateos L., 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agric. Water Manage.*, 80, 100–116.

Pochet B., 2005. Méthodologie documentaire. Rechercher, consulter, rédiger à l'heure d'internet. 2^e édition. Editions De Boeck Université, Bruxelles.

Poussin J.-C., Renaudin L., Adogoba D., Sanon A., Tazen F., Dogbe W., Fusillier J.-L., Barbier B. & Cecchi P., 2015. Performance of small reservoir irrigated schemes in the Upper Volta basin: Case studies in Burkina Faso and Ghana. *Water resources and rural development*, 6(Nov):50-65, doi: 10.1016/j.wrr.2015.05.001.

Rao P.S., 1993. Review of Selected Literature on Indicators of Irrigation Performance. International Irrigation Management Institute: Colombo, Sri Lanka.

Rieul L., Ruelle P., 2003. Guide Pratique Irrigation. 3^e édition. Cemagref, Paris.

Rieul L., 1997. Techniques d'irrigation de l'avenir et leur coût. Montpellier, France Options Méditerranéennes, Sér. A/n°31, 234-251.

Rodriguez-Diaz J.A., Camacho-Poyato E., Lopez-Luque R., Perez-Urrestarazu L., 2008. Benchmarking and multivariate data analysis techniques for improving the efficiency of irrigation districts: an application in Spain. *Agric. Syst.*, 96, 250–259.

Sadras V.O., Angus J.F., 2006. Benchmarking water-use efficiency of rainfed wheat in dry environments. *Aust. J. Agric. Res.*, 57, 847–856.

Salazar M.R., Hook, J.E., Garcia A., Garcia Y., Paza J.O., Chaves B., Hoogenboom G., 2012. Estimating irrigation water use for maize in the Southeastern USA: A modeling approach *Agric. Water Manage.* 107, 104-111.

Sally H., Lévite H. & Cour J., 2011. Local water management of small reservoirs: Lessons from two case studies in Burkina Faso. *Water Alternatives*, 4(3), 365-382.

Savva, A. P., & Frenken, K. (2002). *Irrigation Manual: Planning, Development Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation*. Vol. 1- Modules 1-6. Harare: FAO, SAFR.

Simonneaux, V., Lepage, M., Helson, D., Thomas, S., Duchemin, B., Cherkaoui, M., Kharrou, H., Berjami, B., Chehbouni, A., 2009. Estimation spatialisée de l'évapotranspiration des cultures irriguées par télédétection: application à la gestion de l'irrigation dans la plaine du Haouz (Marrakech, Maroc). *Sécheresse* 20 (1), 123-13.

Tam D., 2009. A theoretical analysis of cumulative sum slope (XUSUM-Slope) statistic for detecting signal onset (begin) and offset (end) trends from back-ground noise level. *The Open Statistics and Propability Journal* 1, 43-51.

Tarnagda B., Tankoano A., Tapsoba F., Sourabié P. B., Abdoullahi H.O., Djbrine A. O., Drabo K. M., Traoré Y., Savadogo A., 2017. Évaluation des pratiques agricoles des légumes feuilles : le cas des utilisations des pesticides et des intrants chimiques sur les sites maraîchers de Ouagadougou, Burkina Faso. *J. Appl. Biosci.*, 117, 11658-11668.

Tano B.F., Abo K., Dembélé A., Fondio L., 2011. Systèmes de production et pratiques à risque en agriculture urbaine: cas du maraîchage dans la ville de Yamoussoukro en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 5, 2317-2329.

Tardieu F., and Pellerin S., 1991. Influence of soil temperature during root appearance on the trajectory of nodal roots of field grown maize. *Plant Soil* 131, 207-214.

Tiercelin, J-R., Granier, J., 2006. L'irrigation par aspersion In : Tiercelin, J.-R. et Vidal A., (eds). *Traité d'irrigation*. 2^{ème} édition, Lavoisier, Paris. 549-583.

USDA (1997). *Irrigation guide*. Washington DC. National Engineering Handbook
van Halsema G.E., Beshir K.L., Mengitsu A., Hengsdijk H., Wesseler J., 2011. Performance assessment of smallholder irrigation in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Irrig. Drain.* doi : 10.1002/ird.613.

Van Halsema G.E., 2002. Trial and retrial : the evolution of irrigation modernization in NWFP, Pakistan. Ph.D. thesis, Wageningen University, The Netherlands.

van Halsema G. E., Vincent L., 2012. Efficiency and productivity terms for water management : A matter of contextual relativism versus general absolutism. *Agric. Water Manage.*, 108, 9-15.

Venot J.P. & Cecchi P., 2011. Valeurs d'usage ou performances techniques : Comment apprécier le rôle des petits barrages en Afrique subsaharienne ? *Cahiers Agricultures*, 20(1-2), 112-117.

Venot J.P., Krishnan J., 2011. Discursive framing: debates over small reservoirs in the rural South. *Water Alternatives*, 4 (3), 316-324.

Viets F. G. 1962. Fertiliser and efficient use of water. *Advances in Agronomy* 14, 223-264.

Walker W.R.,1989. Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems.

Food and Agriculture Organisation (FAO), Irrigation and drainage paper n°45, Rome, Italy.

Walker S. H., 1999. Causes of high water losses from irrigated rice fields: field measurements and results from analogue and digital models. *Agric. Water Manage.*, 40, 123-127.

Walker S.H., Rushton, K.R., 1986. Water losses through the bunds of irrigated rice fields interpreted through an analogue model. *Agric Water Manage.*, 11, 59 - 73.

Wellens J. & Nitchou M., 2009. Le périmètre irrigué de la Vallée du Kou: Diagnostic des efficiences hydro-agricoles & élaboration des calendriers à l'aide de SIMIS. GE eau. BF.

Annexes

Figures d'illustration

Annexes



Figure 23 : Dispositif de relevage hydraulique à l'aide d'hydro vis dans la Vallée du Sourou (Photo D. Kambou)



Figure 24 : Moteurs diesel couplés à des réducteurs de vitesses actionnant des hydro vis dans la Vallée du Sourou (Photo D. Kambou)



Figure 25 : Vue d'un canal primaire dans la Vallée du Sourou (Photo D. Kambou)



Figure 26 : Irrigation à la raie dans la Vallée du Sourou (Photo D. Kambou)



Figure 27 : Canal enherbé dans la Vallée du Sourou. Absence de vannette de régulation remplacée par un arrosoir (Photo D. Kambou)

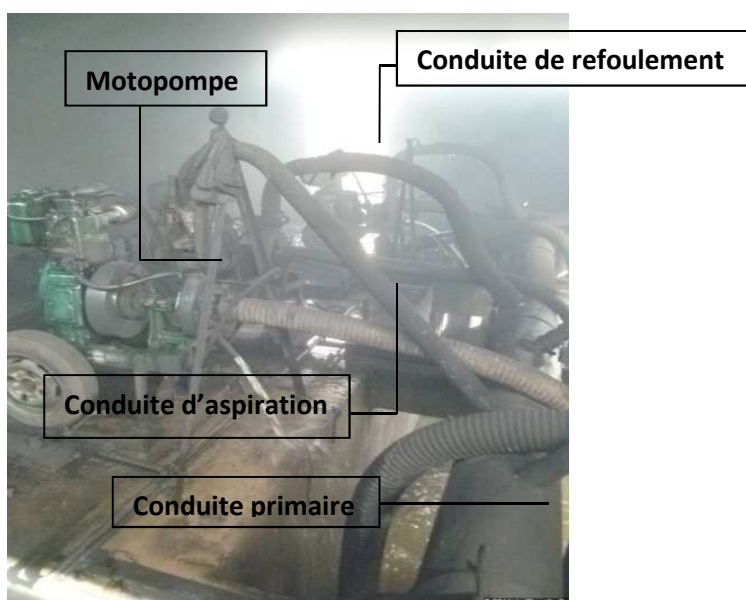


Figure 28 : Station de pompage de Savili (Photo D. Kambou)



Figure 29 : Réseau de distribution des conduites dans les sept blocs du périmètre (Photo D. Kambou)



Figure 30 : Canne de sortie : vue latérale (à gauche) et vue en plan (à droite) (Photos D. Kambou)



Figure 31 : Irrigation d'une sous-parcelle d'haricots verts à Savili (Photo D. Kambou)



Figure 32 : A gauche station de pompage installée sur une plate-forme stabilisée et protégée des intempéries. A droite bassins de distribution (Photos D. Kambou)



Figure 33 : Vue partielle du périmètre de Lantaogo non mis en valeur par manque d'eau (Photo D. Kambou)



Figure 34 : Vue partielle du Barrage de Lantaogo en assèchement (Photo D. Kambou)



Figure 35 : Ouvrage de prise d'eau dans le barrage de Lantaogo en assèchement (Photo D. Kambou)



Figure 36 : Vue partielle du canal primaire du périmètre de Lantagogo ; Dégradation et installation d'un dispositif sommaire parallèle de canalisation de l'eau. (Photo D. Kambou)



Figure 37 : Station de pompage sommairement installée sur le petit réservoir de Rassomdé .
(Photo D. Kambou)



Figure 38 : Refoulement de l'eau pompée à partir du réservoir vers le canal primaire du périmètre de Rassomdé . (Photo D. Kambou)



Figure 39 : Vue partielle du canal primaire du périmètre de Rassomdé. (Photo D. Kambou)



Figure 40 : Parcelle Arrosée à Rassomdé. Absence de dispositif de drainage. L'arrosage parait abondant. (Photo D. Kambou)



Figure 41 : Parcelle arrosée à Rassomdé. Absence de dispositif de drainage. L'arrosage paraît abondant. (Photo D. Kambou)



Figure 42 : Parcelle arrosée à Zimtanga. Absence de dispositif de drainage. L'arrosage paraît abondant. (Photo D. Kambou)



Figure 43 : Parcelle Arrosée à Rassomdé. Absence de dispositif de drainage. L'arrosage parait abondant. (Photo D. Kambou)



Figure 44 : Stagnation d'eau d'arrosage dans une parcelle à Boulbi. (Photo D. Kambou)



Figure 45 : Stagnation d'eau d'arrosage dans une parcelle à Boulbi. (Photo D. Kambou)



Figure 46 : Arrosage manuel à partir de puisard à Boulbi. (Photo D Kambou)



Figure 47 : Arrosage manuel à partir de d'un puits maraicher à Boulbi. Puits maraicher visible au fond. (Photo D. Kambou)



Figure 48 : Prélèvement d'eau dans le canal primaire du périmètre de Mogtédó (Photo D. Kambou)



Figure 49 : Pratique de fertilisation minérale (Urée) par épandage à Rassomdé (Photo D. Kambou)