
IMPACT DE DIFFÉRENTES SOURCES DE DONNÉES (IN SITU, SATELLITAIRE) SUR L'ÉLABORATION DES CALENDRIERS D'IRRIGATION A L'AIDE D'AQUACROP DANS LA HAUTE COMOÉ, AU BURKINA FASO

Auteur : Traore, Moumouni

Promoteur(s) : Wellens, Joost; 2754

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master de spécialisation en sciences et gestion de l'environnement dans les pays en développement

Année académique : 2017-2018

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/5546>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



ULg - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

UCL - Faculté des bioingénieurs

**IMPACT DE DIFFERENTES SOURCES DE DONNEES (IN SITU, SATELLITAIRE)
SUR L'ELABORATION DES CALENDRIERS D'IRRIGATION A L'AIDE
D'AQUACROP DANS LA HAUTE COMOE, AU BURKINA FASO**

Moumouni TRAORE

**MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER DE
SPECIALISATION EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT DANS LES PAYS EN
DEVELOPPEMENT**

Filière : Eau et Sol

ANNEE ACADEMIQUE 2017-2018

PROMOTEUR : Joost WELLENS, Dr Ir

CO-PROMOTEUR : M. Sié PALE

©Copyright : « *Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique* de l'Université de Liège et de l'Université catholique de Louvain.* * L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'ULg et/ou de l'UCL ».

"Le présent document n'engage que son auteur"

Auteur du présent document : TRAORE Moumouni

Adresse de l'auteur : traoremoumouniz@yahoo.fr



ULg - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

UCL - Faculté des bioingénieurs

**IMPACT DE DIFFERENTES SOURCES DE DONNEES (IN SITU, SATELLITAIRE)
SUR L'ELABORATION DES CALENDRIERS D'IRRIGATION A L'AIDE
D'AQUACROP DANS LA HAUTE COMOE, AU BURKINA FASO**

Moumouni TRAORE

**MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER DE
SPECIALISATION EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT DANS LES PAYS EN
DEVELOPPEMENT**

Filière : Eau et Sol

ANNEE ACADEMIQUE 2017-2018

PROMOTEUR : Joost WELLENS, Dr Ir

CO-PROMOTEUR : M. Sié PALE

REMERCIEMENTS

La réalisation d'un mémoire n'est possible sans le soutien, l'orientation, l'encouragement, le sacrifice et la disponibilité d'autres personnes. Je voudrais ainsi exprimer ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre pour que cette formation puisse bien se dérouler. Je remercie particulièrement :

- l'Académie de Recherche pour l'Enseignement Supérieur (ARES), qui a bien voulu accorder la bourse pour cette formation du master de spécialisation ;
- Pr Bernard TYCHON à l'Université de Liège (ULg) et Pr Charles BIELDERS à l'Université Catholique de Louvain (UCL), les coordonnateurs du master de spécialisation en Sciences et gestion de l'environnement dans les pays en développement, pour nous avoir acceptés à cette formation ;
- Dr Joost WELLENS, mon promoteur qui a toujours été disponible et qui a travaillé avec professionnalisme pour m'assister, me guider et m'encadrer pour la réalisation du TFE ;
- M. Sié PALE, mon co-promoteur qui n'a ménagé aucun effort pour non seulement m'expliquer et m'orienter, et qui a toujours été à mes côtés pour suivre de près l'évolution du travail et donner des conseils adéquats ;
- Dr Antoine DENIS, l'assistant du Master de spécialisation en science et gestion de l'environnement dans les pays en développement, pour sa simplicité, ses encouragements et sa diligence à réagir à tout besoin d'orientation durant toute la formation ;
- les Responsables des Universités (ULg, UCL), ainsi que tous les professeurs qui m'ont tenu, à qui je dois respect pour leur bonne pédagogie ;
- la Fondation Roi Baudouin de m'avoir accordée le soutien du Fonds Elisabeth et Amélie, me permettant un retour au pays pour une collecte de données supplémentaires ;
- la direction en charge de l'Agriculture de la région des Cascades, à commencer par son premier responsable, pour m'avoir accompagné pendant cette collecte de données ;
- les producteurs maraîchers et les agents d'encadrement pour la franche collaboration ;
- le BUNASOLS, à travers son directeur général, pour l'acquisition des données de sols ;
- le responsable du service météorologique de la SN-SOSUCO, qui a bien voulu partager les données climatiques de Bérégadougou avec nous ;

- les responsables de la DGAHDI, particulièrement le coordonnateur du PADI II qui a bien voulu mettre à ma disposition les données terrains collectées pour la réalisation de mon TFE ;
- tous mes collègues et camarades de classe de la promotion, aussi bien en option « eau et sol » qu'en « nature et territoire », que j'appelle affectueusement « les combattants », pour la bonne ambiance qui a régné durant cette formation en Belgique. Je nomme ainsi particulièrement mes compatriotes SAWADOGO Jean Ferdinand et OUEDRAOGO T. Esther pour cette bonne collaboration qui nous a permis de relever le défi ;
- mes parents qui ont soutenu ma famille aussi bien moralement qu'affectueusement.

A tous ceux dont les noms n'ont pu être cités, trouvez-là l'expression de ma reconnaissance pour votre contribution au bon déroulement de ma formation.

DEDICACE

Le présent mémoire est dédié :

- ❖ *Au Seigneur Jésus-Christ qui m'a béni et protégé en toutes circonstances ;*

- ❖ *A mon épouse **TRAORE Minata** et mon fils **TRAORE Zé Elisée**, qui ont supporté mon absence durant toute la période de formation en Belgique.*

RESUME

Au Burkina Faso, le développement de l'agriculture irriguée est confronté au problème d'indisponibilité et de gestion de la ressource eau, lié en partie à l'irrégularité et la mauvaise répartition de la pluviométrie dans son ensemble. Des efforts d'amélioration de cette agriculture irriguée sont faits par le Gouvernement afin de pallier aux déficits alimentaires. Parmi les outils de gestion efficiente d'eau et d'aide à la décision qui ont été développés, on cite AquaCrop de la FAO, qui nécessite pour son fonctionnement, des données climatiques, de cultures et de sols, alors que l'acquisition de ces données est très fastidieuse dans le contexte des pays en développement comme le Burkina Faso. Or, il y a la possibilité d'obtenir la plupart de ces données sur internet. Notre travail de fin d'études (TFE) a pour objectif de voir l'impact des sources de données (*in situ*, satellitaires) sur les résultats d'élaboration des calendriers d'irrigation avec AquaCrop dans la Haute Comoé, au Burkina Faso. Ainsi, des données *in situ* ont été collectées d'une part, et celles satellitaires téléchargées d'autre part. La culture du piment a été considérée en deux campagnes, chez 5 producteurs au total. Des simulations, basées sur des scénarii prenant en compte toutes les éventualités d'interférence entre les sources de données *in situ* et satellitaires ont été faites dans AquaCrop.

Les résultats de notre étude montrent qu'il n'y a pas de différence d'impact significative entre des données *in situ* et satellitaires en ce qui concerne les résultats de simulation de la biomasse, du rendement simulés et du flux d'eau dans AquaCrop. Aussi, les calendriers d'irrigation comparatifs élaborés chez chaque producteur, pour chaque source de données (*in situ*, satellitaire) ne montrent pas de différences remarquables. Ce qui sous-entend que les données satellitaires donnent les mêmes résultats que celles *in situ* pour notre cas d'étude. Par contre, vue l'importance de la thématique et considérant les insuffisances relevées à notre étude, nous recommandons qu'il y ait d'autres études sur plusieurs sites de conditions climatiques différentes, avec des données plus désagrégés de plusieurs années, pour voir si ces résultats confirmeront les nôtres.

Mots clés : Burkina Faso, Haute Comoé, TFE, AquaCrop, FAO, *in situ*, satellitaire.

ABSTRACT

In Burkina Faso, the development of irrigated agriculture is confronted with the problem of unavailability and management of water resources, linked in part to the irregularity and poor distribution of rainfall as a whole. Efforts to improve this irrigated agriculture are made by the Government to alleviate food deficits. Among the tools for efficient water management and decision support that have been developed, mention is made of FAO's AquaCrop, which requires climatic, crop and soil data for its operation, while the acquisition of this data is very tedious in the context of developing countries like Burkina Faso. However, there is the possibility of obtaining most of these data on the internet. Our end-of-studies work (TFE) aims to see the impact of data sources (*in situ* or satellite) on the results of irrigation scheduling with AquaCrop in Haute Comoé, Burkina Faso. Thus, *in situ* data were collected on the one hand, and satellite data downloaded on the other hand. The cultivation of chilli was considered in two campaigns, in 5 producers in total. Scenario-based simulations taking into account all eventualities of interference between *in situ* and satellite data sources were made in AquaCrop.

The results of our study show that there is no significant difference in impact between *in situ* and satellite data in regards to simulation results for biomass, simulated yield, and water balance in AquaCrop. Also the comparative irrigation schedules developed for each producer, for each data source (*in situ*, satellite) do not show any remarkable differences. This implies that the satellite data give the same results as those *in situ* for our case study. On the other hand, view the importance of the theme and considering the shortcomings identified in our study, we recommend that there be other studies on several sites of different climatic conditions, with more disaggregated data of several years, to see if these results will confirm ours.

Key words: Burkina Faso, Haute Comoé, TFE, AquaCrop, FAO, *in situ*, satellite.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
DEDICACE.....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT	v
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	ix
Liste des cartes	ix
Liste des photos.....	ix
Sigles et abréviations.....	x
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	5
1.1. Généralités et problématique de l'eau agricole au Burkina Faso.....	5
1.1.1. Situation géographique et administrative du Burkina Faso	5
1.1.2. Ressources en eau au Burkina Faso	5
1.1.3. Irrigation et gestion de l'eau agricole au Burkina Faso	6
1.1.4. Contraintes liées à l'agriculture irriguées au Burkina Faso	7
1.1.5. Conseil agricole irrigué au Burkina Faso.....	8
1.2. Présentation de la Haute Comoé	9
1.2.1. Généralités sur la Haute Comoé	9
1.2.2. Gestion de l'eau agricole dans la Haute Comoé	14
1.3. Présentation de l'outil AquaCrop	15
1.3.1. Caractéristiques d'AquaCrop.....	15
1.3.2. Environnement d'AquaCrop	16
Chapitre II : METHODOLOGIE DE L'ETUDE	19
2.1. Méthodes de collecte des données	19
2.1.1. Collecte des données terrain	19
2.1.2. Choix des producteurs pilotes	19
2.1.3. Acquisition de données météorologiques in situ	20
2.1.4. Téléchargement des données météorologique satellitaires	20
2.1.5. Téléchargement des données de sols	22
2.1.6. Matériels utilisés sur le terrain	23
2.2. Description du matériel végétal utilisé.....	23
2.2.1. Caractéristiques, variétés et cycle du piment.....	23
2.2.2. Exigences et mise en place de la culture du piment.....	24
2.2.3. Besoin en eau et irrigation du piment	24
2.2.4. Rendement et production du piment	24
2.3. Types de données collectées	25
2.3.1. Données climatiques	25
2.3.2. Données sur les cultures.....	26
2.3.3. Données sur l'irrigation	27

2.3.4.	Données sur les sols	27
2.3.5.	Autres types de données.....	29
2.4.	Exploitation, analyse et traitement des données.....	29
2.4.1.	Dépouillement des fiches de collecte des données terrain.....	29
2.4.2.	Logiciels utilisés	30
2.4.3.	Evaluation de la Couverture de la Canopée	31
2.4.4.	Simulations dans AquaCrop	31
Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION		34
3.1.	Comparaison entre données in situ et satellitaires	34
3.1.1.	Données pluviométriques des années 2015 et 2016	34
3.1.2.	Données de températures des années 2015 et 2016.....	35
3.1.3.	Données d'évapotranspiration des années 2015 et 2016	37
3.2.	Données obtenues sur les profils de sols	39
3.2.1.	Données in situ.....	39
3.2.2.	Données téléchargées	39
3.3.	Analyse et interprétation des résultats des simulations	39
3.3.1.	Résultats de simulations.....	39
3.3.2.	Analyse des résultats de simulations.....	44
3.3.3.	Impact des différents scénarii sur la biomasse simulée	45
3.3.4.	Impact des différents scénarii sur le rendement simulé	47
3.3.5.	Impact des différents scénarii sur le flux d'eau	49
3.4.	Présentation et interprétation des calendriers d'irrigation.....	51
3.4.1.	Présentation des calendriers d'irrigation.....	51
3.4.2.	Interprétation sur les calendriers d'irrigation.....	54
3.5.	Vérification de l'hypothèse de l'étude	55
Conclusion et Recommandations		56
Bibliographie		xi
ANNEXE		xii

Liste des figures

Figure 1 : Evolution de la pluviométrie à Bérégadougou de 1974-2017	10
Figure 2 : Evolution de la température moyenne mensuelle à Bérégadougou de 1971-2006.	11
Figure 3 : Evolution de la température moyenne annuelle à Bérégadougou de 1971-2006 ...	11
Figure 4 : Aperçu de la nouvelle version d'AquaCrop	17
Figure 5 : Aperçu de l'environnement de la nouvelle version d'AquaCrop	17
Figure 6 : Aperçu du site de téléchargement des données décennales.....	21
Figure 7 : Aperçu du site de téléchargement des données journalières.....	22
Figure 8 : Aperçu du site de téléchargement des données de sols	23
Figure 9 : Aperçu du pourcentage de sable en fonction de la profondeur à Tengréla.....	28
Figure 10 : Détermination du profil et des caractéristiques du sol.....	29
Figure 11 : Aperçu du processus d'extraction des données de températures	30
Figure 12 : Aperçu de l'étape d'extraction des données de pluviométrie	31
Figure 13 : Aperçu de l'étape d'extraction des données d'évapotranspiration	31
Figure 14 : Corrélation entre les pluviométries mensuelles de 2015	34
Figure 15 : Corrélation entre les pluviométries mensuelles de 2016	34
Figure 16 : Evolution des températures moyennes décennales de 2015	35
Figure 17 : Corrélation entre les températures moyennes décennales de 2015.....	35
Figure 18 : Evolution des températures moyennes décennales de 2016	36
Figure 19 : Corrélation entre les températures moyennes décennales de 2016.....	36
Figure 20 : Evolution de l'évapotranspiration décennale de 2015.....	37
Figure 21 : Corrélation entre les évapotranspirations de 2015.....	37
Figure 22 : Evolution de l'évapotranspiration décennale de 2016.....	38
Figure 23 : Corrélation entre les évapotranspirations de 2016.....	38
Figure 24 : Aperçu des affichages graphiques du menu simulation d'AquaCrop.....	40
Figure 25 : Aperçu des moyennes/Anova avec le test de Dunnett pour la biomasse réelle simulée	46
Figure 26 : Aperçu des moyennes/Anova avec le test de Dunnett pour les rendements simulés	48
Figure 27 : Aperçu des moyennes/Anova avec le test de Dunnett pour le flux d'eau	50

Liste des tableaux

Tableau 1 : Fréquences et doses d'irrigation par producteur	27
Tableau 2 : Description des scénarii climatiques utilisés pour la simulation dans AquaCrop	32
Tableau 3 : Type de sols par producteur	39
Tableau 4 : Type de sols de Tengréla obtenu à partir des données internet.....	39
Tableau 5 : Synthèse des résultats de simulation	41
Tableau 6 : Rapport de connexion de lettres de la biomasse réelle simulée	45
Tableau 7 : Matrice des seuils des différences les moins significatives pour la biomasse réelle	46
Tableau 8 : Rapport de connexion de lettres des rendements simulés	47
Tableau 9 : Matrice des seuils des différences les moins significatives pour le rendement simulé	48
Tableau 10 : Rapport de connexion de lettres du flux d'eau	49
Tableau 11 : Matrice des seuils des différences les moins significatives pour flux d'eau.....	50
Tableau 12 : Comparaison de calendriers d'irrigation chez le producteur 1	51
Tableau 13 : Comparaison de calendriers d'irrigation chez le producteur 2	52
Tableau 14 : Comparaison de calendriers d'irrigation chez le producteur 3	53
Tableau 15 : Comparaison de calendriers d'irrigation chez le producteur 4	53
Tableau 16 : Comparaison de calendriers d'irrigation chez le producteur 5	54

Liste des cartes

Carte 1 : Positionnement de la région des Cascades au Burkina Faso.....	5
Carte 2 : Types de sols rencontrés dans la Haute Comoé	13
Carte 3 : Localisation des producteurs pilotes suivis	20

Liste des photos

Photo 1-3 : Piment de variété « jaune du Burkina »	24
---	----

Sigles et abréviations

APEFE	: Association pour la Promotion de l'Éducation et de la Formation à l'Étranger
BNDT	: Base Nationale de Données Topographiques
BUNASOLS	: Bureau National des Sols
DGAHDI	: Direction Générale des Aménagements Hydrauliques et du Développement de l'Irrigation
DRARHASA	: Direction Régionale de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques, de l'Assainissement et de la Sécurité Alimentaire
FAO	: Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
HSD	: Honestly significant difference
INERA	: Institut de l'Environnement et de Recherche Agricole
JAS	: Jours après semis
MAAH	: Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques
MAHRH	: Ministère de l'Agriculture, de l'Hydrauliques et des Ressources Halieutiques
MASA	: Ministère de l'Agriculture et de la Sécurité Alimentaire
Mm ³	: Millions de mètres cubes
PADI II	: Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation, Phase II
PIB	: Produit Intérieur Brut
SNDDAI	: Stratégie Nationale de Développement Durable de l'Agriculture Irriguée
SN-SOSUCO	: Nouvelle Société Sucrière de la Comoé
SNVACA	: Système National de Vulgarisation et d'appui Conseil Agricoles
TFE	: Travail de Fin d'Études
UCL	: Université Catholique de Louvain
ULg	: Université de Liège
WBI	: Wallonie-Bruxelles International

INTRODUCTION GENERALE

Le secteur agricole joue un rôle prépondérant dans l'économie du Burkina Faso, car il emploie 86% de la population active et contribue pour 35% à la formation du PIB (Ministère de l'Agriculture, 2002) et assure près de 80 % des exportations (UEMOA, 2002). Selon le Ministère de l'Agriculture (2002), ce secteur reste le principal pourvoyeur de revenus aux populations rurales du pays, en plus de sa contribution pour l'atteinte des besoins alimentaires. En dépit de cette contribution importante, le pays est soumis depuis plusieurs décennies à une forte dégradation de ses ressources naturelles, limitant ainsi le développement de ses productions agro-sylvo-pastorales (MAHRH, 2008).

En effet, le Burkina Faso connaît des conditions climatiques précaires, une baisse continue de la fertilité des sols (MAHRH, 2008) et une croissance démographique relativement élevée (3,4% en 2006) (INSD, 2016). L'agriculture reste tributaire des aléas pluviométriques qui compromettent sérieusement, et de manière récurrente, l'atteinte de la sécurité alimentaire (MAHRH, 2008). D'où l'engagement du Gouvernement burkinabè, à travers son ministère en charge de l'agriculture, à s'investir dans des actions de maîtrise de l'eau et de promotion de l'agriculture irriguée comme alternative aux performances mitigées de l'agriculture pluviale, car il ressort clairement des analyses que le développement de ce type d'agriculture devienne indispensable pour l'atteinte de la souveraineté alimentaire du pays (MAHRH, 2008). La même source soutient que « cette volonté affichée de l'Etat pour le soutien à l'agriculture irriguée s'est traduite depuis les années 1970, par l'aménagement et la mise en valeur de grands périmètres rizicoles ainsi que de petits et moyens périmètres aménagés en amont et en aval des petits barrages ».

Depuis lors, l'élaboration et l'adoption des programmes et des documents de stratégies tels que la Stratégie Nationale de Développement Durable de l'Agriculture Irriguée (SNDDAI) (en 2003), la loi portant sur la sécurisation foncière en milieu rural (en 2009), le Programme National du Secteur Rural (PNSR) qui consacre près de 18 % de son budget au développement de l'agriculture irriguée, ont permis de propulser le sous-secteur de l'agriculture irriguée (MAHRH, 2008). Cependant, la disponibilité de l'eau, influencée par la variation pluviométrique, demeure la contrainte majeure pour le développement de cette agriculture irriguée dans la plupart des grands bassins versants du pays qui sont des espaces de gestion des eaux de surface et souterraines.

Située dans la partie Sud-Ouest du Burkina Faso, la Haute-Comoé est un sous-bassin versant du bassin versant de la Comoé d'une superficie de 2039 km² avec des ressources en eau globales estimées à près de 5,156 millions de m³ par an (PALE et al., 2016). Cependant, ces dernières années, comme partout ailleurs au Burkina Faso, alors que les demandes augmentent, les ressources en eau se raréfient avec une accentuation de ces pénuries d'eau en années de faible pluviométrie, menaçant ainsi l'économie de la région essentiellement basée sur l'agriculture (PALE et al., 2016). Deux principaux aspects expliquent le problème de gestion de l'eau agricole à l'échelle du sous-bassin versant, selon PALE et al. (2016), à savoir « la faible efficacité des pratiques d'irrigation » et « le manque de renforcement du dispositif de conseil agricole » qui soit adapté à l'agriculture irriguée pour assurer l'accompagnement des irrigants situés sur ces espaces aménagés, « dans ce contexte, de rareté/mauvaise gestion de l'eau ».

Le renforcement du dispositif de ce conseil agricole pourrait se faire par l'élaboration de calendriers d'irrigation adaptés, qui serviront d'outils aux différents acteurs impliqués dans la gestion de l'eau agricole, une alternative de gestion efficace des pratiques d'irrigation. Pour ce faire, la collecte d'un certain nombre de données utiles pour les modèles de simulation, est nécessaire à l'élaboration de ces calendriers d'irrigation.

L'outil AquaCrop, développé par la FAO, que nous utilisons dans notre cas d'étude, requiert l'acquisition de données climatiques et de sols pour son fonctionnement. Cependant, il devient de plus en plus très fastidieux et difficile, dans le contexte des pays en développement comme le Burkina Faso, d'acquérir des données climatiques (et de sols) *in situ* à la convenance de l'utilisateur. Non seulement ces données sont obtenues avec peine et en retard, mais aussi elles ne sont pas désagrégées de manière à couvrir spécifiquement les zones d'intérêt des usagers de ces données. Or, certains sites internet, avec l'avènement des satellites, nous offrent la possibilité d'acquérir ces données climatiques et de sols gratuitement. C'est dans ce contexte qu'est née l'idée de faire une comparaison des résultats des calendriers d'irrigation élaborés avec le logiciel "AquaCrop" entre d'une part les données climatiques collectées *in situ* auprès des services météorologiques et d'autre part celles fournies par les satellites. Ce qui justifie le thème de notre Travail de Fin d'Etudes (TFE) intitulé « ***Impact de différentes sources de données (in situ, satellitaires) sur l'élaboration des calendriers d'irrigation à l'aide d'AquaCrop dans la Haute Comoé, au Burkina Faso*** ».

L'objectif global du travail est de pallier aux difficultés d'acquisition de données climatiques et de sols, qui sont utiles à l'élaboration des calendriers d'irrigation à l'aide d'AquaCrop, pour

une gestion efficiente de l'eau dans le sous-bassin de la Haute Comoé. En d'autres termes, il s'agit de tester la fiabilité des données satellitaires par rapport aux données *in situ* dans l'élaboration des calendriers d'irrigation avec AquaCrop, l'idée étant de savoir les types de données *in situ* qui peuvent être remplacées par des données satellitaires.

De façon spécifique, il s'agit :

- d'élaborer un calendrier d'irrigation avec des données climatiques et de sols *in situ* ;
- d'utiliser des données climatiques et de sol fournies par les satellites pour élaborer un calendrier d'irrigation ;
- de comparer les calendriers d'irrigations élaborées et apprécier l'impact des types et sources de données sur les résultats obtenus avec AquaCrop.

Nous partons de l'hypothèse qu'il n'y aura pas de différence entre les résultats des calendriers d'irrigation élaborés à l'aide d'AquaCrop sur la base de données *in situ* et ceux élaborés à partir des données satellitaires.

Le présent document est structuré en trois chapitres qui portent sur : (i) la revue de littérature, (ii) la méthodologie utilisée pour l'étude et (iii) les résultats et la discussion.



CHAPITRE I :
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

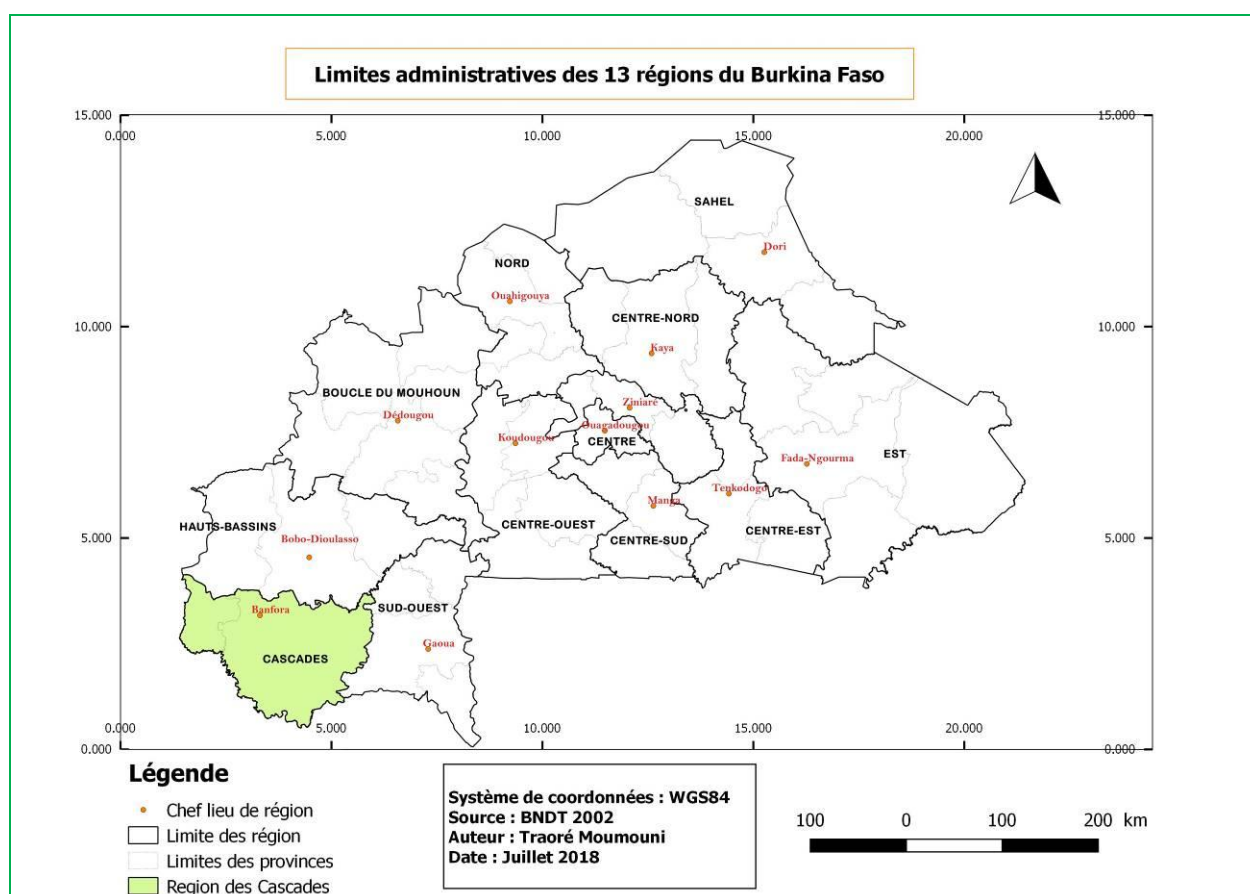
Chapitre I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Généralités et problématique de l'eau agricole au Burkina Faso

1.1.1. Situation géographique et administrative du Burkina Faso

Le Burkina Faso, d'une superficie de 274 000 Km² est un pays enclavé situé en Afrique de l'Ouest, limité au Nord-Ouest par le Mali, au Nord-Est par le Niger et au Sud par la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Togo et le Benin. Selon le découpage administratif de 2001, le pays compte principalement 13 régions et 45 provinces (Zerbo, 2017).

Notre zone d'étude (Haute Comoé) est située dans la région des Cascades, province de la Comoé (cf. Carte 1 ci-dessous).



Carte 1: Positionnement de la région des Cascades au Burkina Faso

1.1.2. Ressources en eau au Burkina Faso

L'histoire de la ressource en eau sur le continent africain est souvent jugé de paradoxale en ce sens que, non seulement l'eau est abondante ou rare (suivant le lieu ou la saison), mais aussi l'accès est inégal aux ressources hydriques renouvelables adéquates qui existent (UNEP, 2010). Au Burkina Faso, l'essentiel des ressources en eaux provient des pluies. Ces eaux sont

soumises à la forte variabilité interannuelle de la pluviométrie et au régime temporaire de la plupart des cours d'eau (MASA, 2013). Quatre bassins versants nationaux drainent ces eaux de surface à savoir le Nakanbé (81 932 km²), le Mouhoun (91 036 km²), le Niger (83 442 Km²) et la Comoé (17 590 km²) (MASA, 2013) .

Selon le MASA (2013), les estimations faites en 2001 indiquaient des précipitations moyennes de 206,9 milliards de m³, des réserves totales en eau souterraine de 402 milliards de m³, une capacité totale des retenues d'eau de 5,01 milliards de m³ qui pourrait être bien plus supérieure si l'on considère l'ensemble des petits et grands barrages.

1.1.3. Irrigation et gestion de l'eau agricole au Burkina Faso

Selon UNEP (2010), l'agriculture serait la principale force directrice de la croissance économique en Afrique où environ 95% des terres agricoles dépendent du pluvial même s'il existe plusieurs zones arides où des stratégies nouvelles ou anciennes de collecte d'eau peuvent être développées. C'est ainsi que, soumis à des conditions climatiques particulièrement défavorables, la maîtrise de l'eau est devenue une priorité nationale pour le Burkina Faso, qui a développé une politique nationale de développement de l'irrigation à partir des années 70, avec pour objectifs d'améliorer la production alimentaire, de créer des emplois et de promouvoir le développement des organisations paysannes par la stimulation de l'agriculture irriguée (MAHRH, 2003). La même source renseigne que « la mise en œuvre de nombreux projets et programmes a permis de changer positivement les performances des petits producteurs qui constituent la majorité des paysans burkinabè, et de promouvoir dans une moindre mesure l'agro-business par la valorisation du potentiel aménageable disponible ».

Des potentialités d'amélioration des performances des productions agricoles existent au Burkina, l'eau constitue cependant la principale contrainte à l'amélioration de ces performances (MASA, 2013). Or, la gestion de cette eau est très délicate en milieu agricole à cause des besoins en eau très variés des exploitations agricoles (Traoré, 2012). Ce qui explique l'accent mis sur les actions de Recherche-Développement en matière de gestion de l'eau d'irrigation et de renforcement des capacités des acteurs (MASA, 2013).

En outre, une stratégie d'entretien et de gestion des aménagements hydrauliques a été élaborée afin de faciliter la prise en main de ces aménagements par les bénéficiaires.

1.1.4. Contraintes liées à l'agriculture irriguées au Burkina Faso

De façon générale, certaines contraintes entravent le développement agricole au Burkina Faso, tout comme les autres systèmes de production sahélienne qui partagent des réalités écologiques et environnementales communes. Les principales contraintes liées à l'agriculture au Burkina Faso sont entre autre « (i) la faible mise en valeur des terres potentiellement irrigables ; (ii) le manque de terres fertiles et le peu d'actions de gestion protectrice des ressources (sols, eaux, couvert végétal,...) et enfin (iii) la pauvreté des populations et le manque d'investissement » (UEMOA, 2002). Aussi, le Ministère de l'Agriculture (2002) relève comme contraintes majeures à l'agriculture burkinabé, le risque climatique lié à la faible pluviosité, surtout sa répartition irrégulièrement interannuelle et d'une année à l'autre sur toute l'étendue du territoire, le faible niveau technique des producteurs dû à la dominance du système d'exploitation de type paysannat, la forte dégradation du couvert végétal et de la fertilité des sols associé à une faible utilisation des engrais minéraux, le niveau d'équipement faible des producteurs qui s'assimile à leur niveau technique et au manque de modernisation et la complexité des circuits commerciaux des produits agricoles. Pour résumer, comme contraintes à la production agricole au Burkina, on note (i) l'insécurité foncière, (ii) la baisse de la fertilité des sols, (iii) le faible niveau d'utilisation des intrants et des équipements agricoles, (iv) le faible niveau d'organisation des acteurs et (v) les difficultés d'accès au financement (MAAH, 2017).

En ce qui concerne l'agriculture irriguée, elle ne concerne que moins de 15 % des surfaces cultivées, situées majoritairement dans les périmètres des grandes plaines aménagées tels que le Sourou, la Vallée du Kou et Bagré (Herrera & Ilboudo, 2012). Les principales contraintes au développement de l'irrigation au Burkina Faso sont entre autres : la pression foncière (dualité droit moderne et règles coutumières) ; le manque de maintenance des aménagements et leur mauvaise gestion ; les difficultés d'accès aux financements ; la faible structuration des filières agricoles; la difficulté d'accès au marché ; la faible organisation des irrigants des périmètres aménagés ; la faiblesse des techniques de conservation, des capacités de stockage et de transformation des produits agricoles ; l'insuffisance et le mauvais état des infrastructures routières et enfin les pesanteurs culturelles et sociaux ne favorisant pas tous les groupes sociaux pour l'attribution des terres (Guire, 2013). Nous notons que la plupart de ces contraintes spécifiques à l'agriculture irriguée se retrouvent dans les contraintes d'ordre général de l'agriculture burkinabè.

1.1.5. Conseil agricole irrigué au Burkina Faso

La problématique du conseil agricole concerne l'ensemble des maillons des chaînes de valeurs des filières Agro-sylvo-pastorale, halieutique et forestière (MAAH, 2017). Ce conseil qui est d'importance stratégique pour les agriculteurs, et qui renforce les liens entre ces derniers, la recherche, l'encadrement agricole ainsi que d'autres acteurs de la société, permet d'améliorer les performances des exploitations (Faure et al., 2011).

L'objectif global du Système national de vulgarisation et d'appui conseil agricole (SNVACA), qui a couvert la période 2011-2015 au Burkina Faso, était de contribuer à l'amélioration des conditions de vie des populations et à la gestion durable des ressources naturelles (MAHRH, 2010). Plusieurs acteurs sont impliqués dans la mise en œuvre du SNVACA allant des producteurs aux transformateurs et promoteurs de produits, en passant par la recherche, les universités, les structures publiques et privées de vulgarisation, les fournisseurs d'intrants, les institutions de microfinance (IMF), etc. (MAAH, 2017).

De nombreux outils de vulgarisation et d'appui conseil agricoles, qui dépendent du public cible (producteurs, organisations faîtières ou chambres régionales d'agriculture) sont utilisés par les services publics et privés intervenant dans l'accompagnement du monde rural (MAHRH, 2010). Lors de l'évaluation de la mise en œuvre de la première phase du SNVACA, il ressort des entretiens avec les acteurs directement impliqués dans sa mise en œuvre (Services techniques déconcentrés du Ministère en charge de l'agriculture), que les principaux outils de vulgarisation utilisés sont (i) les Champs Écoles de Producteurs (CEP), (ii) les Parcelles de Démonstrations (PD) et Tests en rapport avec l'INERA, (iii) les Parcelles Vitrites des Producteurs (PVP), (iv) le Conseil de Gestion aux Exploitations Agricoles (CGEA), (v) les Visites d'Exploitations, (vi) les Visites commentées, (vii) les voyages d'échanges et (viii) les formations (MAAH, 2017). Ce qui a été déplorable est le fait que les cadres de concertation (Comités Techniques Régionaux (CTR), Comité Technique National (CTN), Journées Recherche/Développement) qui étaient prévus dans le document du SNVACA pour relancer le dynamisme du tandem chercheurs-vulgarisateurs-producteurs n'ont pas été opérationnalisés dans la phase de mise en œuvre, « les structures de l'INERA sur le terrain ayant été très peu impliquées » (MAAH, 2017). Or, pour la valorisation des résultats et innovations de la recherche, une Agence Nationale de Valorisation des Résultats de la recherche et des innovations (ANVAR), a été créée en 2013 et placée sous la tutelle technique du ministère en charge de la recherche scientifique et de l'innovation. Cette Agence qui travaillera désormais en partenariat avec les structures publiques ou privées de recherche, a pour missions, de : i) traduire la liaison recherche-développement par une exploitation

rationnelle et systématique des résultats de la recherche ; ii) promouvoir les technologies endogènes ; iii) promouvoir les innovations technologiques importées et adaptées aux conditions locales, etc. (MAAH, 2017).

En 2010, l'appui conseil sur le périmètre de Karfiguéla semblait déficitaire car elle était assurée par trois agents constitués d'un technicien supérieur d'agriculture de 30 ans d'expériences (dont 5 sur la plaine) et de deux agents techniques d'agriculture spécialisée (d'un an de service) dont le niveau restait à améliorer dans le domaine des productions irriguées (Kouali, 2010). Ce manque de personnels d'encadrement suffisant reste d'actualité sur la plupart des grands périmètres aménagés du pays à l'image du Sourou et de Bagré. Alors que pour une meilleure mise en valeur de ces plaines irriguées, il est impératif d'avoir un encadrement plus efficace et rapproché de l'ensemble des producteurs.

1.2. Présentation de la Haute Comoé

1.2.1. Généralités sur la Haute Comoé

❖ Contexte climatique

Le sous bassin de la haute Comoé se trouve dans un climat de type sud-soudanien caractérisé par deux grandes saisons : une saison humide et une saison sèche (Zerbo, 2017). La saison de pluies s'étale de juin à octobre et la saison sèche, d'octobre à avril, voir mai (Cour, 2010). Selon la même source, la pluviométrie annuelle de la zone est assez élevée comparativement à l'échelle nationale (entre 900 et 1100 mm), même si elle est caractérisée par une forte variabilité saisonnière et interannuelle. Cette pluviométrie moyenne annuelle a été estimée à 1078 mm/an, pour la période 1960-2010 et d'une manière générale, on considère que l'évapotranspiration reprend 80% de la pluviométrie, que près de 10% s'infiltrent dans le sous-sol, et que le reste s'écoule dans le réseau hydrographique ou s'accumule dans les retenus naturelles (mares, lacs) et artificielles (MCA, 2014). Malgré une pluviométrie satisfaisante à l'échelle du Burkina Faso, différentes études confirmant ce qui est observé sur le terrain, semblent prouver qu'il y a un déficit en eau dans la région en terme de besoins (équilibre offre-demande) lié aux multiples usagers (Cour, 2010).

La figure ci-dessous, élaboré sur base des données de l'Agence Nationale de la Météorologie du Burkina Faso, présente une évolution de la pluviométrie moyenne de la zone sur une période de 44 ans (1974-2017). La courbe de la moyenne mobile sur 5 ans associée à la figure permet de voir les variations inter-quinquennales de cette pluviométrie.

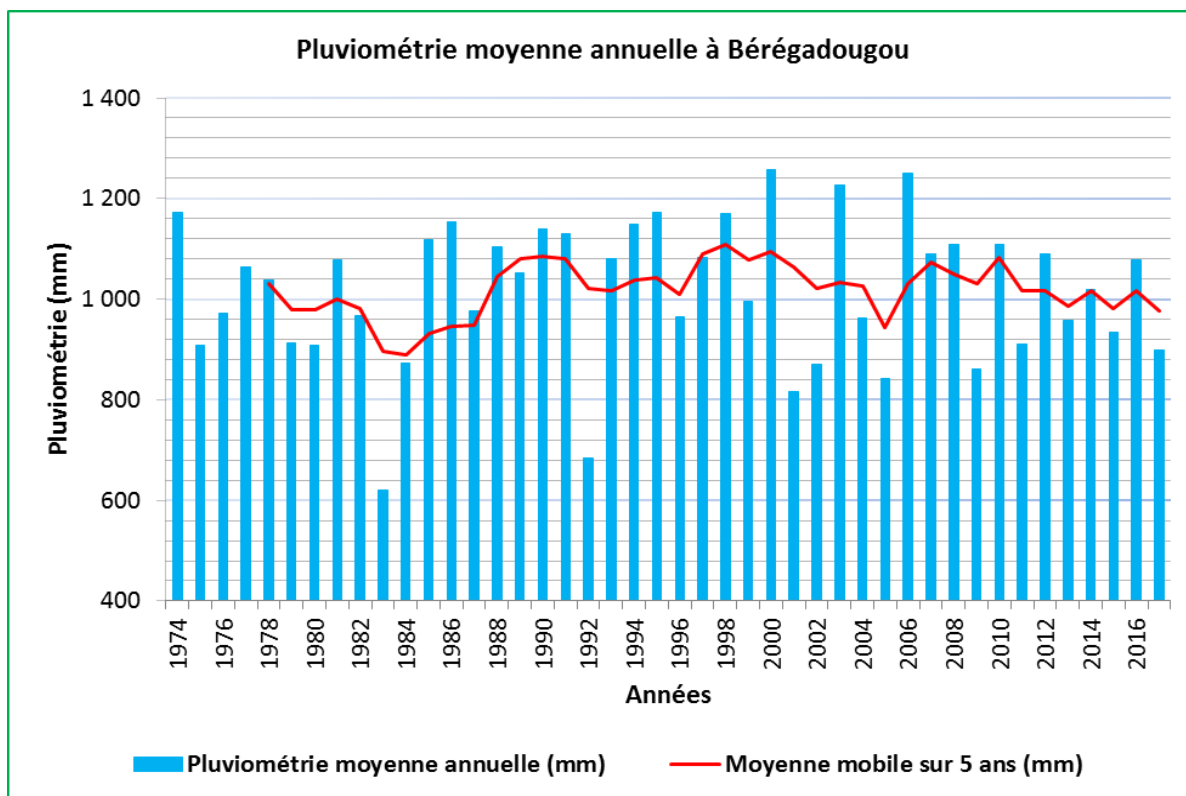


Figure 1 : Evolution de la pluviométrie à Bérégadougou de 1974-2017

Source de données : Agence Nationale de la Météorologie

De l'analyse des données de l'agence nationale de la météorologie du Burkina Faso dont nous avons disposé, on remarque que pendant cette période de quarante-quatre (44) ans (1974-2017), la pluviométrie moyenne annuelle est de 1018 mm. L'année la moins pluvieuse a été l'année 1983 (621 mm) et celle la plus pluvieuse, est l'année 2000 (1258 mm). Le mois d'août est le mois qui enregistre le plus de pluie avec une moyenne de 253 mm alors qu'on n'enregistre que des traces de pluies de décembre à février. Aussi, vingt-quatre (24) années sur les quarante-quatre (44) ont enregistré des pluviométries de plus de 1000 mm et vingt (20) années des pluviométries de moins de 1000 mm, avec une variation temporelle très forte.

Les températures moyennes mensuelles quant à elles, varient de 26 à 30,6 °C pour la période de 27 ans de données dont nous avons disposé. Les mois les plus chauds sont ceux de mars (30,2 °C) et d'avril (30,6 °C) alors que les plus froids sont de juillet-septembre (25,7°C-26,1°C) et de décembre-janvier (26°C-26,4°C) (cf. figure 2 ci-dessous).

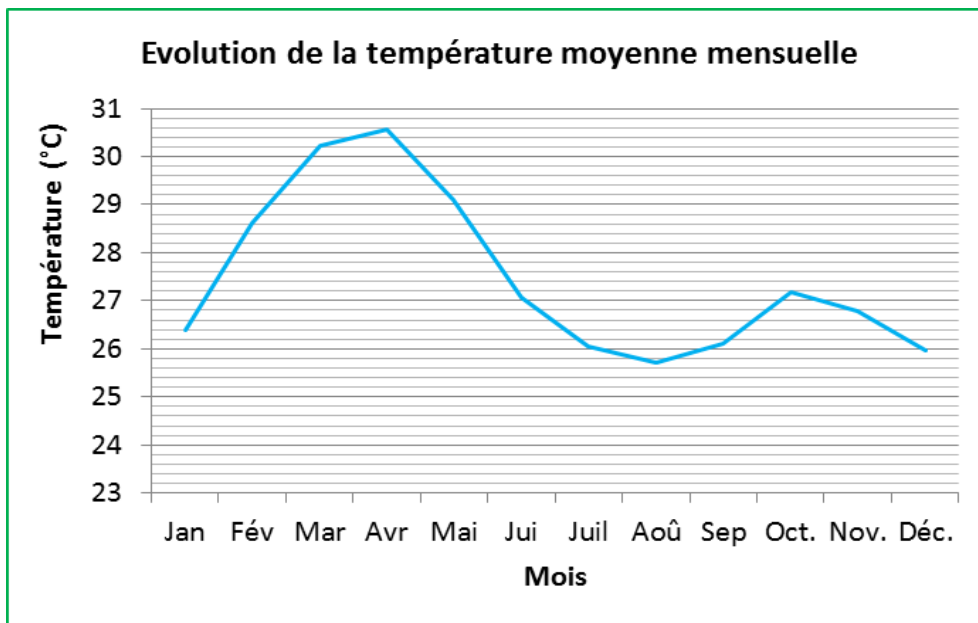


Figure 2 : Evolution de la température moyenne mensuelle à Bérégadougou de 1971-2006

Source de données : Agence nationale de la météorologie

Si l'on considère la moyenne annuelle de ces températures, on note des fluctuations interannuelles mais avec une tendance d'augmentation générale d'années en années, passant de 26,4 °C en 1971 à 28,3 °C en 2006, soit une hausse de 2 °C (cf. figure 3 ci-dessous). Ce qui confirme les effets de réchauffement liés aux changements climatiques avec pour conséquence une augmentation de l'évaporation d'une année à l'autre, pesant négativement sur la disponibilité de l'eau de surface dans la zone d'étude.

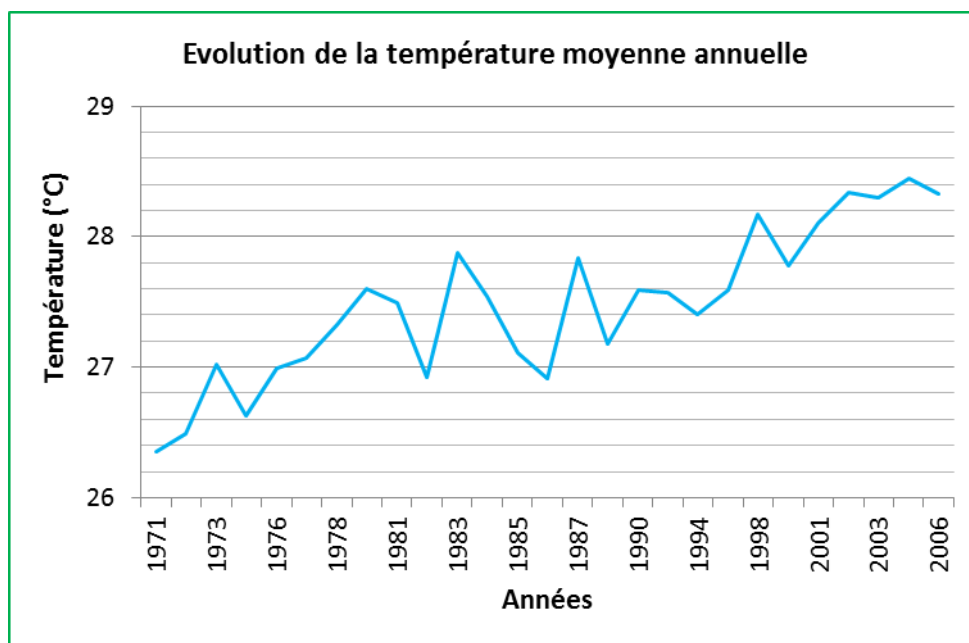


Figure 3 : Evolution de la température moyenne annuelle à Bérégadougou de 1971-2006

Source de données : Agence nationale de la météorologie

❖ **Contexte socio-économique**

La population du bassin de la Comoé était estimée à près de 650.000 habitants en 2012 et dépasserait, selon les prévisions de l'INSD, 1,2 million d'habitants en 2030, avec 65% de la population totale de l'espace de compétence de l'Agence de l'eau des Cascades appartenant à la province de la Comoé contre 22% pour la province de la Léraba (MCA, 2014). Le taux d'urbanisation est de l'ordre de 20% (trois communes urbaines : Banfora, Niangoloko et Sindou) (MCA, 2014).

❖ **Contexte hydrologique et environnemental**

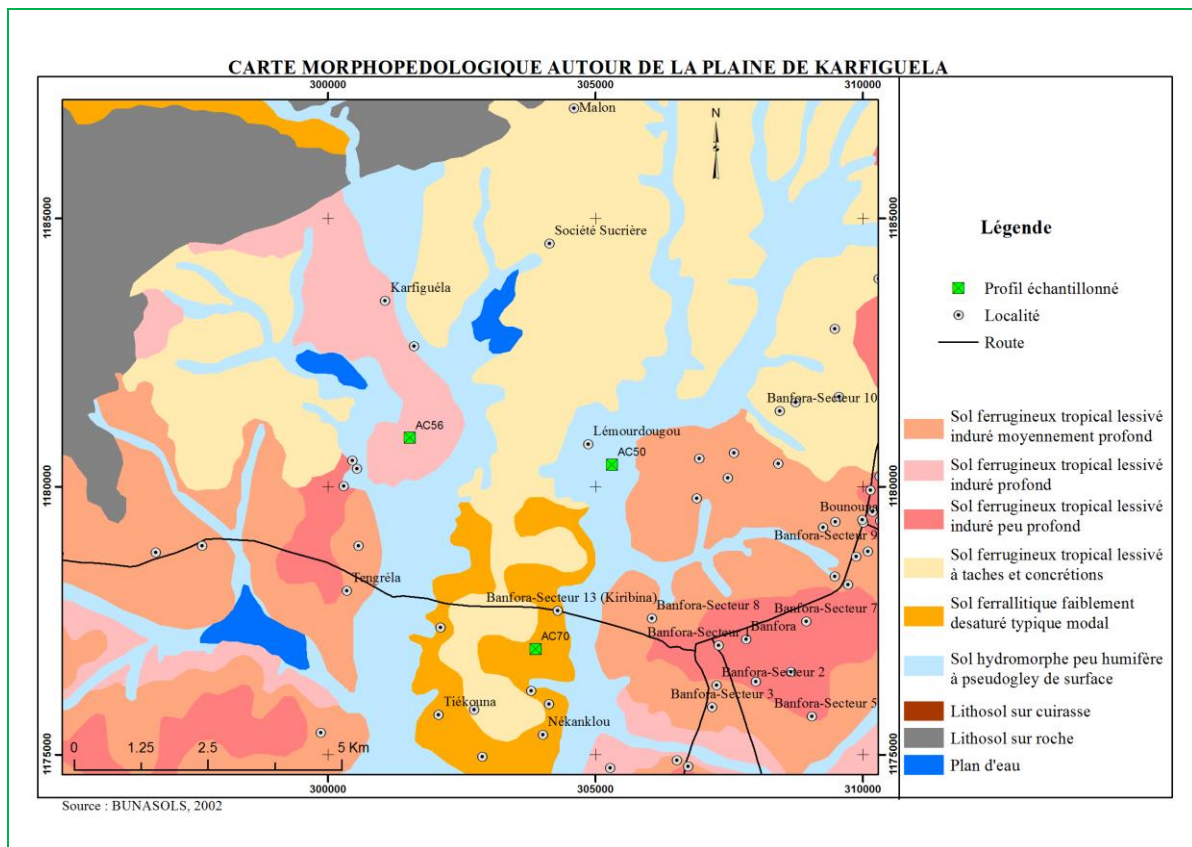
Le bassin hydrographique de la Comoé est un bassin international de 95 590 km². Cette superficie, dont la majorité se trouve en Côte d'Ivoire, est partagée entre quatre pays : le Burkina Faso (18%), le Ghana (2%), le Mali (moins de 1%) et la Côte d'Ivoire (80%) (MCA, 2014). Selon la même source, en territoire burkinabè, le bassin de la Comoé occupe une superficie de 17 620 km².

La zone d'étude est située dans le sous bassin de la rivière Comoé (avec un affluent appelé « la rivière Yanon »), qui prend sa source au Burkina Faso et s'écoule ensuite à travers la Côte d'Ivoire et qui a une longueur d'environ 750 km (Cour, 2010). Le volume moyen d'eau produit dans le bassin de la Comoé est estimé à 2 milliards m³/an (MCA, 2014).

Bien que le fleuve de la Comoé soit une importante source d'eau pour l'agriculture (Cour, 2010), avec des ressources en eau globalement abondantes, les ressources d'eau de surface du bassin de la Comoé présentent une grande variabilité spatiale et temporelle (MCA, 2014).

❖ **Contexte pédologique**

Plusieurs types de sols sont rencontrés dans la plaine alluviale de la Comoé, comme présenté sur la carte ci-dessous.



Carte 2 : Types de sols rencontrés dans la Haute Comoé

Source : BUNASOLS, 2002

Notre zone d'étude est essentiellement dominée par deux types de sols : *les sols ferrugineux tropicaux lessivés induré moyennement à peu profonds* (Tengrela) et *les sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface* (Lémourdougou).

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés constituent 85 % des sols du Burkina Faso et sont surtout représentés par les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions (PALLO F. & THIOMBIANO L., 1989). La grande majorité des sols ferrugineux tropicaux à concrétions de l'Afrique de l'Ouest se rencontre dans la bande climatique qui enregistre une seule saison des pluies avec une pluviométrie située entre 900 et 1 400 mm/an, même s'il est possible d'en rencontrer à des pluviométries inférieures à 900 mm (ces derniers héritent de conditions climatiques disparues) (FAUCK, 1963). « En général, ce sont des sols pauvres en matière organique, azote, phosphore et potassium, et comportant de nombreuses autres contraintes telles que (i) le taux parfois élevé de grailonnement (60 à 80 %), (ii) une faible réserve en eau utile, (iii) une structure peu favorable à la pénétration racinaire au-delà de l'horizon supérieur, (iv) un encroustement de surface qui favorise le ruissellement des eaux pluviales, (v) une faible capacité d'échange cationique et somme des bases échangeables, et (vi) des valeurs de pH souvent inadéquates pour les cultures » (PALLO F. & THIOMBIANO L., 1989). Selon la

même source, la texture de ces sols est dans 80 à 90 % des cas limono-sableuse (taux d'argile est < 8 %) dans le premier horizon et ce taux augmente avec la profondeur dans les horizons sous-jacents (presque 30 %). Aussi, PALLO F. & THIOMBIANO L. (1989) précisent que « très souvent, il existe une relative discontinuité texturale qui peut être masquée par une séquence texturale du genre Limono-sableuse (LS), Limono-argilo-sableuse (LAS) puis Limono-argileuse (LA) et enfin Argilo-limoneuse (AL) ou Argileuse (A) ».

Les sols hydromorphes peu humifères à pseudogley de surface, quant à eux « sont localisés dans les vallées alluviales, les bas de versants et les dépressions dans lesquels les processus d'oxydo-réduction sont jugés prédominants» et « observés dans des matériaux très argileux à faible percolation dès la surface, des dépôts alluviaux ou colluviaux, présentant une discontinuité texturale propre à générer la formation d'une nappe perchée » (Schnebelen N. et Laroche B., 2013). Ce sont des sols « saturés en eau d'une manière temporaire ou permanente et sont caractérisés par une superposition de deux textures à savoir une texture limoneuse (L) ou limono-sableuse (LS) en surface et une texture plus argileuse (plus imperméable) en profondeur » (Web1, 2018).

1.2.2. Gestion de l'eau agricole dans la Haute Comoé

En rappel, le fleuve de la Comoé et de la rivière Yanon sont régulés par trois barrages (Moussodougou, Lobi et Toussiana) qui fournissent de l'eau pour l'irrigation, l'usage domestique et bien d'autres usages en aval (Cour, 2010). Selon Cour (2010), parmi les multiples utilisations de l'eau dans le bassin, on peut citer : l'irrigation, la consommation domestique, l'élevage, la pêche et le tourisme.

Depuis quelques années, en raison du manque d'eau, il a été imposé des restrictions pour la gestion de cette eau, avec notamment la création du Comité Local de l'Eau (CLE) qui entre dans le cadre de l'opérationnalisation de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) (Cour, 2010).

Les Comités Locaux de l'Eau (CLE) qui sont des « instances locales de concertation, d'échanges, d'animation et de promotion associant tous les acteurs concernés au niveau local, pour la gestion des ressources en eau », tout comme les Comités de Bassin, relèvent de l'Agence de l'Eau des Cascades (MCA, 2014). En effet, l'Agence de l'Eau des Cascades a pour attributions « (i) d'engager les acteurs de l'eau à la gestion concertée, intégrée, équilibrée et durable des ressources en eau du bassin hydrographique, (ii) de traduire, à travers des schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) et des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE), les orientations de la politique

nationale de l'eau ; (iii) de promouvoir une utilisation rationnelle des ressources en eau, à l'échelle du bassin, la lutte contre la pollution et la protection des milieux aquatiques et (iv) de percevoir des taxes auprès des utilisateurs de l'eau pour les prélèvements qu'ils effectuent ou la pollution qu'ils génèrent, selon le principe « pollueur-payeur » ou « préleveur-payeur » (MCA, 2014).

La gestion de l'eau sur le périmètre irrigué de Karfiguéla s'opère en partie au tour d'eau (canaux secondaires) et à l'initiative des producteurs à travers les chefs de blocs et les irrigants (au niveau des canaux tertiaires) (Kouali, 2010). Les bassins de submersion (riziculture) et les raies courtes (cultures maraîchères) sont les principales techniques d'irrigation et en saison sèche, les fréquences d'irrigation varient de 2 jours (riziculture), 3 jours (maraîchage) et 7 jours (maïs) (Kouali, 2010).

1.3. Présentation de l'outil AquaCrop

1.3.1. Caractéristiques d'AquaCrop

AquaCrop est un modèle de productivité de l'eau des cultures, développé en 2009 par la FAO, pour améliorer la productivité de l'eau dans les champs pluviaux et irrigués (FAO, 2017). Le modèle est basé sur la simulation de la réponse du rendement à l'eau (FAO, 2012) et utilisé dans différentes conditions agro-écologiques du monde entier (FAO, 2017). En plus de la prévision de rendement, AquaCrop qui est un modèle est à la fois « simple et robuste », sert aussi à l'élaboration de calendriers d'irrigation (Wellens, 2016). Cependant, « quoique le modèle soit relativement simple, il met en valeur les processus fondamentaux impliqués dans la productivité des cultures et dans les réponses aux déficits en eau tant d'un point de vue physiologique qu'agronomique » (FAO, 2012). Le modèle AquaCrop est déjà calibré pour un certain nombre de cultures telles que le coton, le maïs, la patate, le riz, la tomate, le blé, le sorgho, le chou, ... (Wellens, 2016).

Les deux équations suivantes expriment le fonctionnement du logiciel AquaCrop (Wellens, 2016) et (FAO, 2012) :

○ $B = WP * \sum Tr$	➔	Biomasse = Productivité d'eau * Somme transpiration
○ $Y = HI * B$	➔	Rendement = Index de récolte * Biomasse

Selon FAO (2012), « l'équation $B = WP . \sum Tr$ est au cœur du moteur de croissance d'AquaCrop où la biomasse (**B**) est exprimé en kg/m², la transpiration (**Tr**) de la culture en mm et le paramètre de productivité de l'eau (**WP**) en kg de biomasse/m² et par mm d'eau de

transpiration cumulée durant la période de production de biomasse ». Ce qui est important à noter dans cette équation est que l'eau s'avère être la force motrice pour la croissance des cultures (FAO, 2012).

Pour la fonctionnalité de cette l'équation, les composantes qui ont été considérées sont entre autres le sol, la culture et le climat (FAO, 2012). En outre, la même source signale que quelques aspects de gestion liés notamment à l'irrigation et à la fertilisation ont été pris en compte, vu qu'ils affecteront la production finale. Même dans le contexte actuel de variabilité du climat, AquaCrop peut aider à s'adapter par la simulation de la croissance des cultures « sous des scénarii de changements climatiques » (réchauffement global et concentration en CO₂) (FAO, 2012).

Cependant, comme insuffisance relevée pour ce modèle, on note la non considération dans le modèle de l'impact de certains phénomènes extérieurs sur les résultats de production et d'irrigation tel que les ravageurs, les maladies et les mauvaises herbes (FAO, 2012).

Il existe beaucoup de modèles de simulation de la réponse du rendement de la culture à l'eau dans la littérature, mais ces modèles ont des contraintes d'adoption car ils sont souvent complexes et rarement utilisés par la majorité du public cible de la FAO (vulgarisateurs, associations de gestion d'eau, ingénieurs, consultants, etc. (FAO, 2012). Ce qui caractérise et différencie AquaCrop des autres modèles est selon la FAO (2012) « (i) le petit nombre de paramètres ; (ii) l'interface utilisateur intuitive et facile à l'emploi ; (iii) l'utilisation de la couverture de la canopée au lieu de l'indice foliaire ; (iv) sa possibilité d'application dans divers systèmes agricoles à travers le monde ; (v) sa grande capacité d'extrapolation, (vi) son focus sur l'eau et (vii) son équilibre considérable entre la précision, la simplicité et la robustesse ».

1.3.2. Environnement d'AquaCrop

La nouvelle version d'AquaCrop (*version 6.1*) a l'avantage d'être dans deux langues (anglaise et française) (FAO, 2018). La figure 4 ci-dessous présente l'interface de cette nouvelle version :

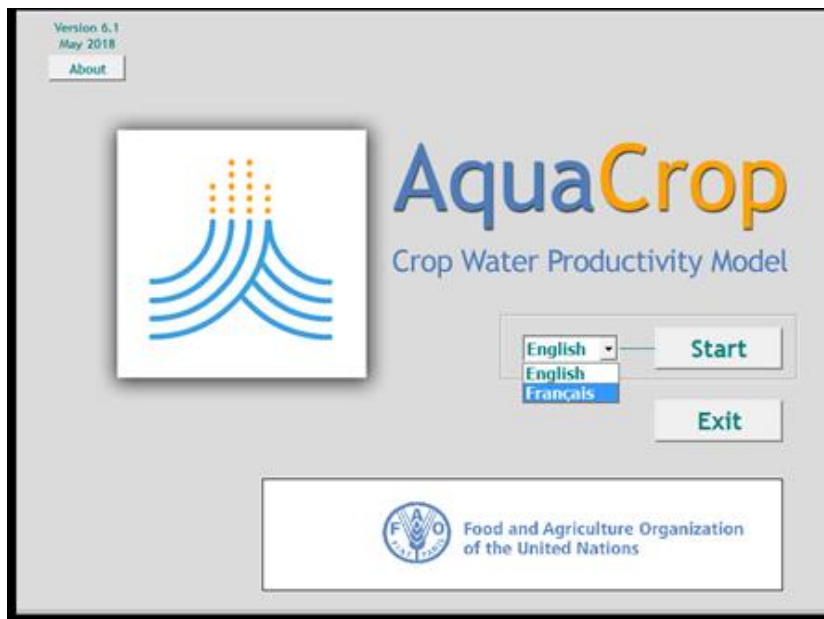


Figure 4 : Aperçu de la nouvelle version d'AquaCrop

Source : (FAO, 2018)

Le menu principal se présente en deux grandes parties : une première qui concerne l' « Environnement/culture » et une deuxième partie pour la « Simulation ».

Les données d'entrée concernent « le Climat, la Culture, la Gestion (parcelle, irrigation) et le Sol (profil, nappe) » et les données de sortie concernent « la Biomasse et/ou rendement, les Teneurs en eau et/ou Bilan d'eau » (Wellens, 2016). Selon la même source la simulation prend en compte les réponses des cultures aux facteurs externes (climat, sol, gestion, ...).

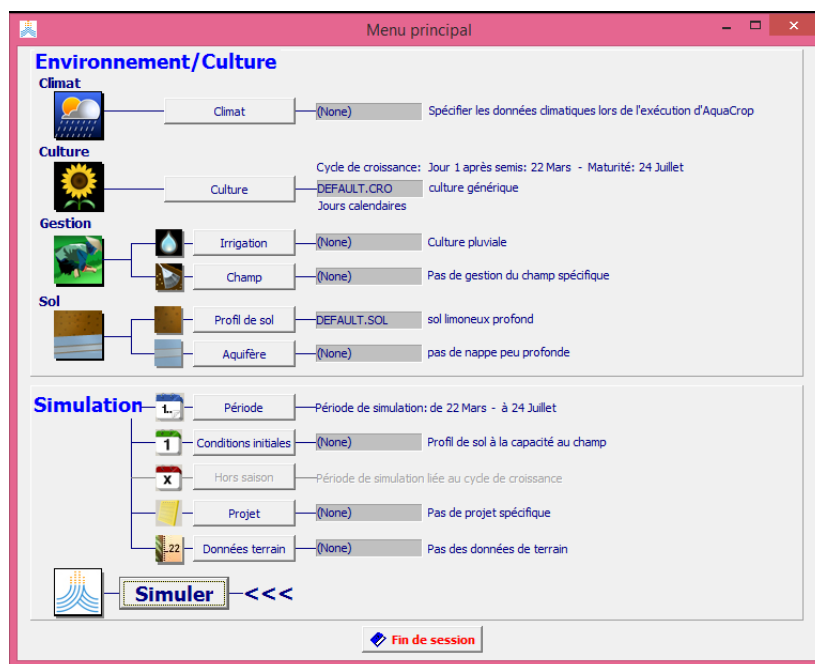


Figure 5 : Aperçu de l'environnement de la nouvelle version d'AquaCrop

Source : (FAO, 2018)



CHAPITRE II :
METHODOLOGIE DE L'ETUDE

Chapitre II : METHODOLOGIE DE L'ETUDE

2.1. Méthodes de collecte des données

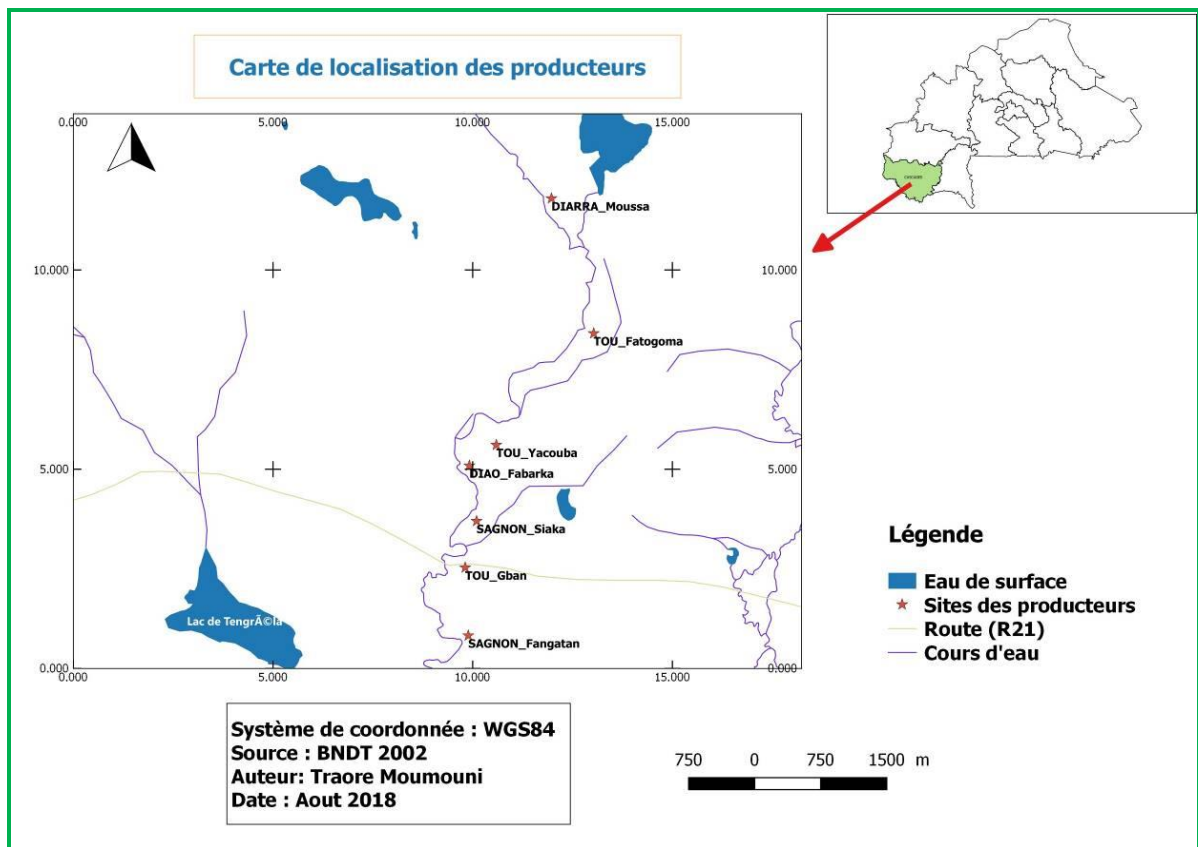
2.1.1. Collecte des données terrain

Nous avons hérité des fiches de collecte de données qui avaient déjà été élaboré en 2015, dans le cadre de la mise en œuvre de la phase II du Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation (PADI II), exécuté par le Ministère en charge de l'agriculture du Burkina Faso de 2014-2017, avec le financement (sous forme de subvention) de l'APEFE, du WBI et de l'Etat Burkinabé (contrepartie nationale) (PADI II, 2015).

En effet, les données ont été collectées entre 2015 et 2016 par le projet BF 102, qui était le Résultats 2 du PADI II, intitulé « R2 : *La DGADI et les DRARHASA des Cascades, des Hauts-Bassins et du Plateau Central disposent d'outils opérationnels de gestion rationnelle de l'eau à usage agricole* », pour mettre en œuvre la Sous-activité « SA 2.2.1 : *Répliquer et capitaliser les expériences du projet GEeau dans la région des Cascades (zone de Karfiguela)* » (PADI II, 2015). Cette sous-activité relevait de l'Activité 2 « A2.2: *Adapter et mettre en œuvre les outils de gestion de l'eau précédemment développés dans le bassin du Kou, dans les sous-bassins* » (PADI II, 2015). L'objectif était « la mise en œuvre de l'outil Aquacrop qui permet d'améliorer la productivité de l'eau à la parcelle » dans les sites d'intervention de ce programme (PADI II, 2015). Des producteurs « pilotes » volontaires ont ainsi été suivis durant leur campagne de production maraichère notamment dans les villages de Tengréla et de Lémourdougou et les données collectées ont concernées les cultures (type de culture, période de semis/repiquage, dates et doses d'irrigation, rendement, ...), les sols, l'irrigation, etc. (cf. modèle de fiche en annexe).

2.1.2. Choix des producteurs pilotes

Sept producteurs volontaires ont été suivis, dans 2 villages (Tengrele et Lemourdougou), pour la collecte de données de 2015-2017 dans le cadre de la mise en œuvre du PADI. En ce qui concerne notre étude, nous nous intéressons aux producteurs de piment qui étaient au nombre de trois en 2015 et de deux en 2016 (soit un total de 5 producteurs pour les 2 campagnes). Ces producteurs sont situés le long du cours d'eau de la Comoé, comme illustré sur la carte ci-dessous.



Carte 3 : Localisation des producteurs pilotes suivis

2.1.3. Acquisition de données météorologiques in situ

Nous avons approché les services de la météorologie du Burkina Faso pour l'acquisition d'un certain nombre de données. Certaines données ont été fournies par l'Agence Nationale de la Météorologie du Burkina Faso et d'autres par la station météorologique de la Société Nouvelle Sucrière de la Comoé (SN-SOSUCO), qui est située dans notre zone d'étude. Nous avons initialement prévu travailler avec des données de trois ans (2015-2017), mais nous avons eu des difficultés d'obtenir des données *in situ* journalières et décadaires (pluviométrie, températures minimale et maximale, Evapotranspiration) pour l'année 2017. Ce qui nous a contraint de réduire notre plage de données à deux ans (2015 et 2016).

2.1.4. Téléchargement des données météorologique satellitaires

Une des contraintes majeures rencontrées dans l'utilisation d'AquaCrop est le manque ou l'absence de données climatiques et de sols pour une zone d'étude donnée (Wellens, 2017). Ce qui a été notre cas. Selon Wellens (2017), « on peut alors faire recours à des sites internet pour l'obtention de données disponibles gratuitement ». Ces données sont une combinaison de

résultats d'interpolation de stations météorologiques utilisant des images satellitaires et ont l'avantage de couvrir tous les continents et sont disponibles sous forme de base journalière ou décadaire (Wellens, 2017).

Ainsi, deux principaux sites ont été utilisés dans le cadre de notre étude pour l'acquisition de ces données climatiques, suite aux orientations du promoteur. Il s'agit :

- du site de *European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)* (European Union, 2018), qui fait une synthèse, par décade, et pour la période de 2008 à 2018 (fréquemment mise à jour), d'un certain nombre de données climatiques dont les précipitations, les températures (moyenne, minimale et maximale), l'évapotranspiration (calculée sur la base de la formule de Penman-Monteith) et la radiation solaire globale pour l'Afrique et les autres pays du monde. La figure ci-dessous donne un aperçu de ce site.

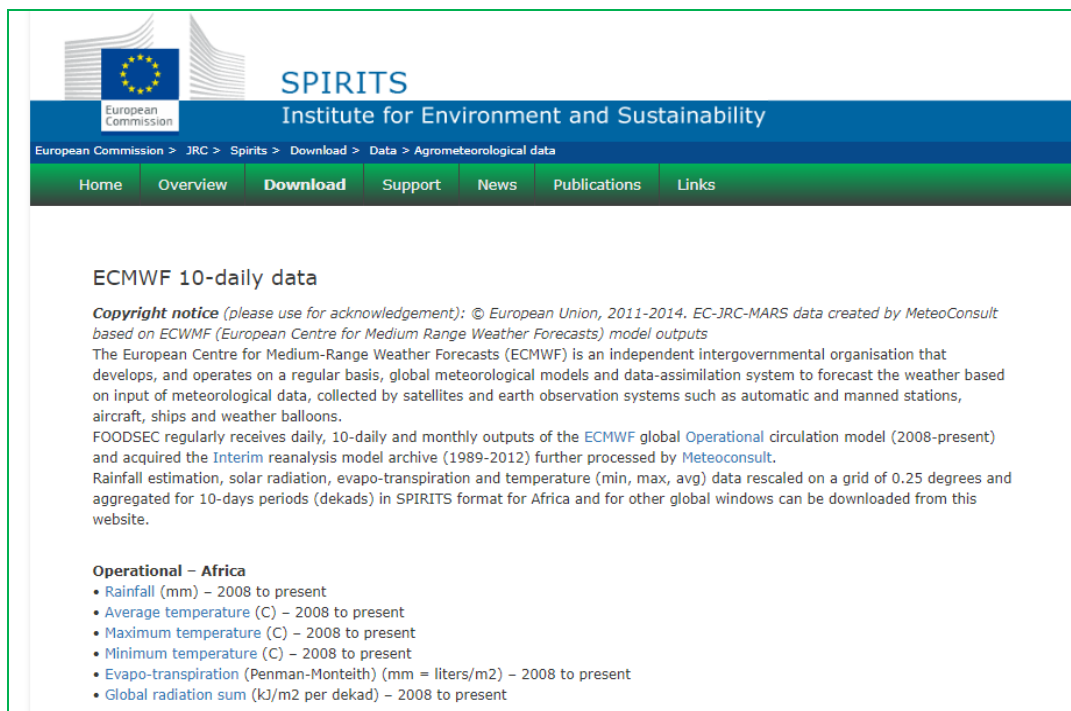


Figure 6 : Aperçu du site de téléchargement des données décadaires

Source : (European Union, 2018)

- du site du *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data (CHIRPS)* (Web2, 2018) qui dispose de données de précipitations journalières pour toute l'Afrique, pour la période de 1981 à 2018. Le site est mis à jour chaque mois au fur et à mesure que l'année s'écoule. La figure ci-dessous donne un aperçu du site concerné.

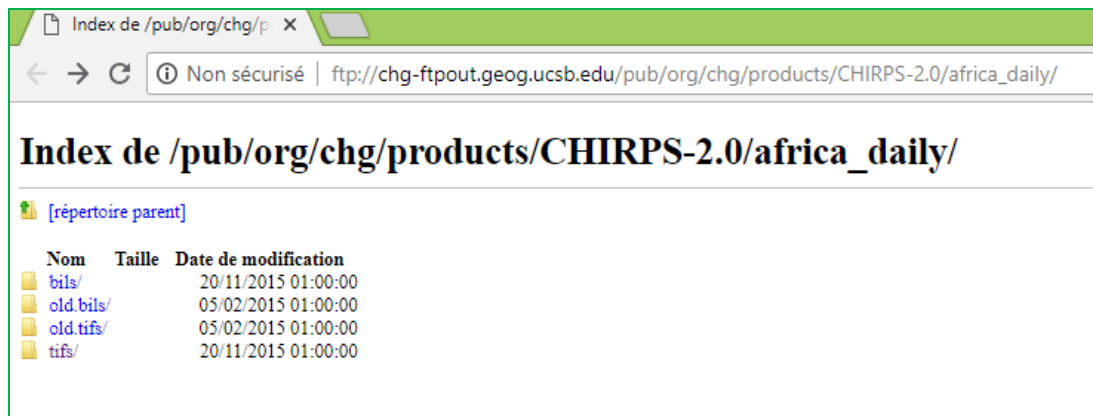


Figure 7: Aperçu du site de téléchargement des données journalières

Source : (Web2, 2018)

2.1.5. Téléchargement des données de sols

Les données de sols ont été obtenues sur le site du « Geo-services for open soil data » développées par « International Soil Reference and Information Centre » (ISRIC) (ISRIC, 2018), qui est une base de données mondiale d'informations sur des mailles de sols, librement disponible sur internet (Wellens, 2017). La même source précise que le "SoilGrids" est un système de cartographie automatisée des sols, basé sur des méthodes de prédiction spatiale à la pointe de la technologie, des modèles globalement ajustés utilisant le profil de sol et les données environnementales. Ce site sert de collection de cartes de propriétés et de classes de sols du monde, actualisables, à des résolutions spatiales de 250 m, avec des données disponibles publiquement sous la licence "Open Data Base" et qui sont produites à l'aide d'une cartographie automatisée des sols (Wellens, 2017). Il s'agit de données texturales et de classification des sols. La figure ci-dessous donne un aperçu du site utilisé.

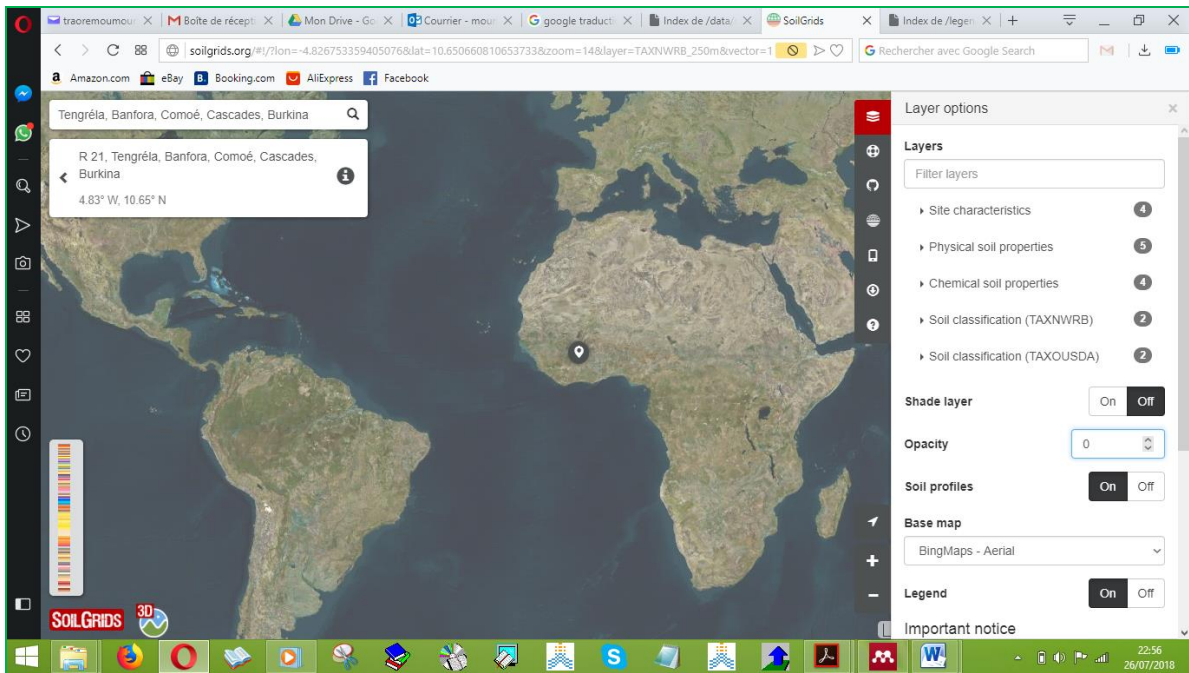


Figure 8 : Aperçu du site de téléchargement des données de sols
Source : (ISRIC, 2018)

2.1.6. Matériels utilisés sur le terrain

D'autres matériels ont été utilisés pour améliorer la collecte des données. Il s'agit :

- d'un GPS de marque "Garmin" qui a servi à l'enregistrement des coordonnées des producteurs « pilotes » et aussi à l'estimation des superficies des cultures ;
- d'un appareil photo qui a permis de faire des photos de l'évolution des cultures de façon hebdomadaire pour l'estimation de la couverture de la canopée ;
- d'une tarière pour le prélèvement des échantillons de sols soumis aux analyses ;
- de sondes qui ont servi aux mesures des débits d'eau utilisés dans les exploitations des producteurs suivis.

2.2. Description du matériel végétal utilisé

Bien que les données aient été collectées sur trois cultures maraichères, nous nous intéressons dans le cadre de notre étude à la culture du piment, vu son importance en terme d'occupation des sols maraichers dans notre zone d'étude, mais aussi à cause de sa valeurs économique remarquable en terme de revenu monétaire chez les producteurs.

2.2.1. Caractéristiques, variétés et cycle du piment

Le piment est un légume très riche en vitamine C (Fondio L. et al., 2009). Il existe plusieurs variétés de piments (Web3, 2018) et même des « variétés dites locales car les semences sont

produites directement par les paysans » (Fondio L. et al., 2009). La durée du cycle est de 170-180 jours (REKSON, 1983). La variété utilisée par nos producteurs « pilotes » suivis est la variété appelée le « jaune du Burkina » (170 jours), de la famille des *solanaceae*, de l'espèce *Capsicum chinense* qui a été sélectionnée au Sénégal, présente un port érigé, de couleur verte-claire avant maturité et jaune à maturité, très parfumée (Web3, 2018).



Photo 1-3 : Piment de la variété appelée « jaune du Burkina »

2.2.2. Exigences et mise en place de la culture du piment

Le piment préfère des sols fertiles, bien drainés et filtrants sur de pentes faibles (CAM, 2007). C'est une plante adaptée aux conditions tropicales et subtropicales et qui tolère bien la chaleur (Fondio L. et al., 2009).

Le repiquage se fait lors que les plants ont atteints 10-15 cm autour de 40-45 jours après semis (JAS) avec une densité de 20 000 plants/ha (Fondio L. et al., 2009).

2.2.3. Besoin en eau et irrigation du piment

Il est préconiser une pré-irrigation de 20 l/m² avant repiquage et une irrigation de 6 mm/jour durant le reste du cycle (REKSON, 1983). Avec une possibilité de le cultiver en toute période de l'année, l'irrigation est nécessaire en saison sèche et les meilleurs rendements sont obtenus entre mars-avril et aussi de septembre-octobre (Fondio L. et al., 2009).

2.2.4. Rendement et production du piment

La récolte qui commence généralement entre trois et quatre mois après le repiquage selon la variété, se fait généralement deux fois par semaine et peut durer « plusieurs mois en fonction de l'état sanitaire de la plantation » avec des rendements allant de 8-10 Tonnes/ha voire plus (CAM, 2007) et (Fondio L. et al., 2009). Selon la même source, les principales maladies du piment sont l'Anthracnose, la Phytophthora et le Flétrissement bactérien, avec des symptômes allant des tâches sur les fruits à la mort de la plante en fonction de la sévérité de la maladie.

2.3. Types de données collectées

2.3.1. Données climatiques

❖ Données in situ

Les données que nous avons reçues des services météorologiques (Agence Nationale de la Météorologie du Burkina Faso) concernent des données mensuelles et annuelles de la zone d'étude (Bérégadougou et Banfora). Ces données concernent les précipitations, les températures, les durées globales d'insolations, l'humidité relative de l'air, l'évaporation Bac, etc. Les données les plus désagrégées à l'échelle de Bérégadougou (qui concerne notre zone d'étude), que nous avons reçues de la station de la Société Nouvelle Sucrière de la Comoé (SN-SOSUCO), et qui ont servi de données d'entrée dans AquaCrop, sont des données journalières (pluviométrie), décadaires (Evapotranspiration) et mensuelles (températures minimales et maximales).

Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes beaucoup plus intéressés à ces données désagrégées pour une meilleure analyse avec le logiciel AquaCrop. Par ailleurs, les données historiques globales de l'Agence Nationale de la Météorologie du Burkina nous ont permis de voir l'évolution de certains paramètres climatiques que nous avons mentionnés dans la présentation de notre zone d'étude au chapitre précédent.

Il est à noter que, pour avoir l'évapotranspiration (ETo) réelle à partir de ces données météorologiques qui se limitaient à l'évaporation bac, nous avons fait recours à la littérature pour utiliser des facteurs de conversion de l'évaporation bac à l'ETo réelle. En effet, les bacs fournissent des données fiables pour l'estimation des besoins en eau des cultures à l'échelle décadaire et ont l'avantage d'être simple et peu coûteux (Guyot G., 1999). Le même auteur (Guyot G., 1999), ajoute qu'il faudra établir préalablement des coefficients de passage de l'évaporation du bac à l'évaporation potentielle climatique. Ce « coefficient empirique qui doit être déterminé localement et qui varie selon la saison et l'éloignement du bord au vent de la surface sur laquelle le bac est placé, a des valeurs qui varient de 0,35 à 0,85 » (Guyot G., 1999). Aussi, selon Aldomany (2017), le coefficient moyen annuel de correction à partir duquel se fait l'extrapolation de la mesure à partir du bac, est de 0,78 avec une amplitude annuelle de 0,7 à 0,8 pour les bacs enterrés. Ce coefficient serait fonction du type de bac (Aldomany, 2017).

Dans notre cas, c'est ce coefficient moyen de 0,78 qui a été utilisé pour l'estimation de la valeur de nos ETo à partir des évaporations bac.

❖ **Données téléchargées**

Les sites décrits plus haut dans la méthode de collecte de données, nous ont permis d'avoir des données décennales d'évapotranspiration (ET_o), de températures minimales (T_{min}) et maximales (T_{max}) pour le site de European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Les données journalières des précipitations ont été téléchargées sur le site du Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data (CHIRPS). Nous nous sommes limités à aux quatre paramètres climatiques (précipitation journalières, ET_o, T_{max} et T_{min}) qui sont utilisés pour le fonctionnement de notre outil AquaCrop. Les données d'ET_o téléchargées étant déjà calculées sur la base de la formule de Penman-Monteith, ont été directement introduit dans AquaCrop sans aucune autre forme de conversion.

Cependant, comme ces données viennent en tant que produits matriciels (images géo-référencées représentant la distribution spatiale des climats, au format **.tif**), ils nécessitent tous différents degrés de prétraitement afin d'extraire les données nécessaires pour AquaCrop (Wellens, 2017). Ainsi, les données de 2015 et 2016 ont été traitées à l'aide du logiciel QGIS, à la disponibilité d'une bonne connexion internet, pour l'extraction complète et finale des données chiffrées sur un tableur Excel. Le mode d'extraction de ces données est décrit par la suite dans la partie traitement de données.

Les valeurs d'émission de CO₂ sont considérées par défaut dans AquaCrop pour la simulation.

2.3.2. Données sur les cultures

Le suivi des producteurs « pilotes » pour la collecte des données d'ordre agronomiques a été fait durant les saisons sèches de 2015 et de 2016 dans la Haute Comoé (région des Cascades au Burkina Faso). Les cultures concernées étaient le piment, l'oignon, le chou et le maïs cultivé par des producteurs situé en dehors de la plaine de Karfiguéla, précisément dans les villages de Tengréla et de Lemourdougou (cf. Carte 3). Nos travaux ont été basés sur le piment.

Les informations collectées ont concerné les variétés, les dates de semi/repiquage, la hauteur des plants, la période de floraison, les dates de récolte, les rendements, etc. (cf. fiche de collecte en annexe).

Aussi, des photos ont été prises durant tout le cycle de la culture, de façon hebdomadaire, pour estimer le niveau de couverture du sol par la culture (canopée).

2.3.3. Données sur l'irrigation

En ce qui concerne les données d'irrigation, elles ont concerné les dates d'irrigation, les débits d'eau utilisés par chaque producteur à la parcelle, les débits des motopompes utilisées pour l'irrigation ainsi que la fréquence des irrigations. Notons que l'irrigation est faite à la raie.

Une des insuffisances que nous avons notées de ces données collectées pour l'irrigation a été la non prise en compte de la durée de l'irrigation. Ce qui ne permettait pas de dégager les doses exactes à chaque irrigation. Pour pallier à cette insuffisance, nous avons extrapolé pour avoir des doses d'irrigation en fonction des débits et du nombre de jours d'irrigation durant le cycle de la culture concernée.

Tableau 1: Fréquences et doses d'irrigation par producteur

Année	Nom et Prénom	Date repiquage	Nombre total d'irrigation/cycle	Fréquence d'irrigation (jours)	Dose irriguée (mm)	Quantité totale/cycle (mm)
2015	TOU Gban	05/01/2015	24	6	20.2	484.8
2015	SAGNON Siaka	08/01/2015	24	6	55.5	1332
2015	DIAO Fabarka	02/02/2015	24	6	35.9	861.6
2016	TOU Gban	10/01/2016	28	5	17.3	484.4
2016	DIAO Fabarka	06/01/2016	21	7	41.1	863.1

Source : Données des fiches de collecte du PADI-II

2.3.4. Données sur les sols

❖ Données in situ

Un rapport d'analyse d'échantillons de sols prélevés sur les sites des producteurs « pilotes » a été fourni au PADI par la direction du laboratoire d'analyse du Bureau National des Sols (BUNASOLS), en mai 2016. L'exploitation de ce rapport nous a permis d'avoir une idée sur la texture générale des sols (les pourcentages d'argile, de limons et de sable) de ces producteurs. Les résultats de ces analyses donnent des textures à tendance limoneuses à argilo-limoneuse, même si certains échantillons ont présentés des textures argileuses (BUNASOLS, 2016).

Aussi, nous avons approché le BUNASOLS pour avoir une idée des types de sols autour de la plaine de Karfiguéla, au-delà des textures de sols des échantillons prélevés. La *Carte 2* du chapitre précédent nous donne une idée sur les types de sols, non seulement de la zone d'étude, mais aussi de nos producteurs « pilotes ».

La teneur en eau (taux d'humidité) des sols a été estimée sur la base des prélèvements de sols à des horizons différents (20, 40 et 60 cm de profondeur) et la différence de poids a été déterminée (humide et sec).

❖ Données téléchargées

Ces données de sols ont concerné, les propriétés physiques des sols notamment le pourcentage d'argile, de sable et de limon à différentes profondeurs (0-2m pour notre zone d'étude). Pour obtenir le profil de sol, nous avons utilisé l'application du « Soil Water Characteristics » (qui est disponible sur le même site de téléchargement (ISRIC, 2018), en introduisant les pourcentages d'argile et de sable dans le triangle de Classification des sols (USDA et WRB) (cf. les captures d'écran ci-dessous figures 9 et 10).

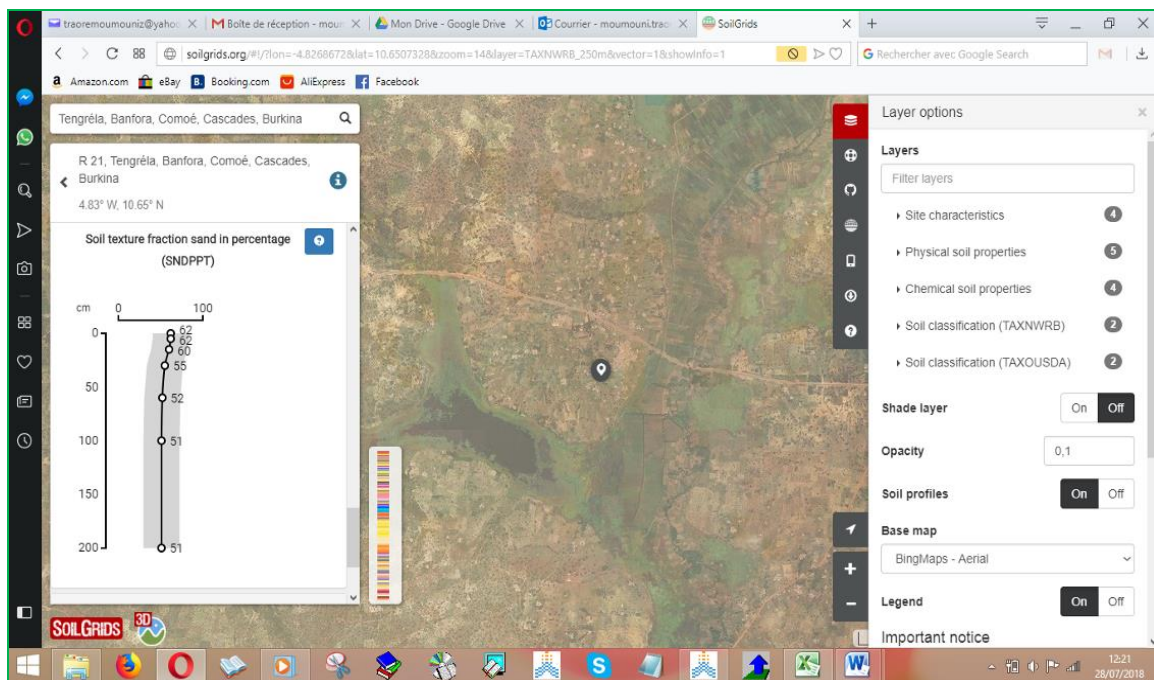


Figure 9 : Aperçu du pourcentage de sable en fonction de la profondeur à Tengréla

Source : (ISRIC, 2018)

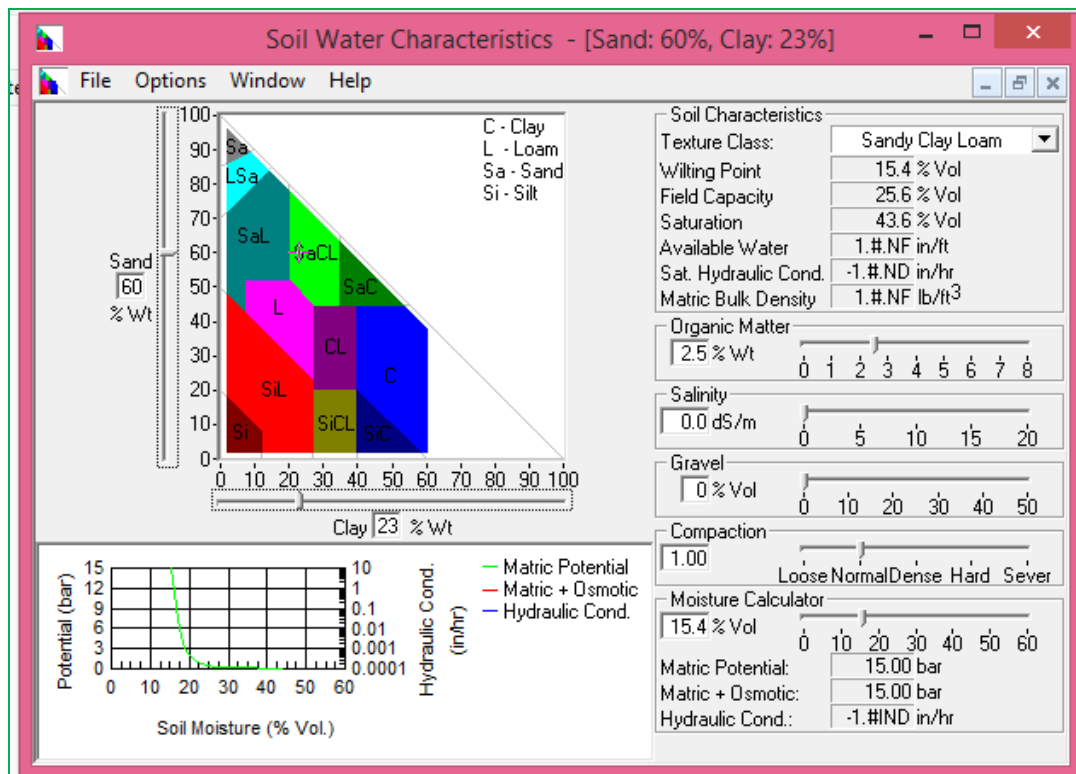


Figure 10 : Détermination du profil et des caractéristiques du sol

A partir de l'étape de détermination des caractéristiques du sol, nous avons ainsi noté les valeurs en pourcentage du volume du point de flétrissement, de la capacité au champ ainsi que de la saturation, pour l'introduction dans AquaCrop du profil de sol de la zone d'étude obtenu sur internet.

2.3.5. Autres types de données

Nous avons aussi bénéficié d'un ensemble de fichiers shepfiles (.shp) du Burkina Faso de la Base Nationale de Données Topographiques (BNDT) pour l'élaboration des cartes sur QGIS.

2.4. Exploitation, analyse et traitement des données

2.4.1. Dépouillement des fiches de collecte des données terrain

Il s'est agi pour nous, de regrouper les données par année, par culture et par dates puis à la saisie de ces données de manière à avoir une base de données collectées sur le terrain. Il nous est arrivé, avec l'appui du doctorant, de faire recours aux agents terrains pour le complément d'information sur certaines fiches mal renseignées.

2.4.2. Logiciels utilisés

✓ Microsoft Excel 2010

Le logiciel Excel a été utilisé pour la saisie des résultats de dépouillement des fiches de collecte de données terrain. Aussi, il a servi à l'exportation des données chiffrées des tables d'attribut de QGIS vers un format Excel. Les différents calculs ainsi que certains graphiques du présent document ont été élaborés avec Microsoft Excel 2010.

✓ JMP Pro 13

Le logiciel JMP a été utilisé pour les analyses de données climatiques (corrélation) et les résultats des simulations dans AquaCrop (comparaisons). En plus certains graphiques ont été élaborés sur la base de ce logiciel statistique.

✓ QGIS, version 2.18.13

QGIS est un logiciel de type Système d'Information Géographique (SIG) (DENIS, 2015). C'est « un logiciel « open source », élaboré par une communauté de développeurs et destiné au traitement des données géographiques » (Web4, 2017). Ce logiciel QGIS a servi à l'élaboration de cartes qui sont insérées dans le présent document.

Aussi, le logiciel a été utilisée pour le traitement de données satellitaires qui ont été téléchargées sous forme d'image au format **.tif** pour en extraire au final des données chiffrées exportables dans un tableur Excel, servant de données d'entrées pour les paramètres concernés. Pour cela, il a fallu non seulement l'installation de certaines extensions sur QGIS, version 2.18.13 comme « *Point sampling tool* » et « *OpenLayers Plugin* », mais aussi le suivi d'une démarche méthodologique telle que décrite dans le document guide de téléchargement mis à notre disposition par le promoteur (Wellens, 2017). Les différentes étapes que nous avons suivies pour l'extraction sont illustrées dans les figures ci-dessous.

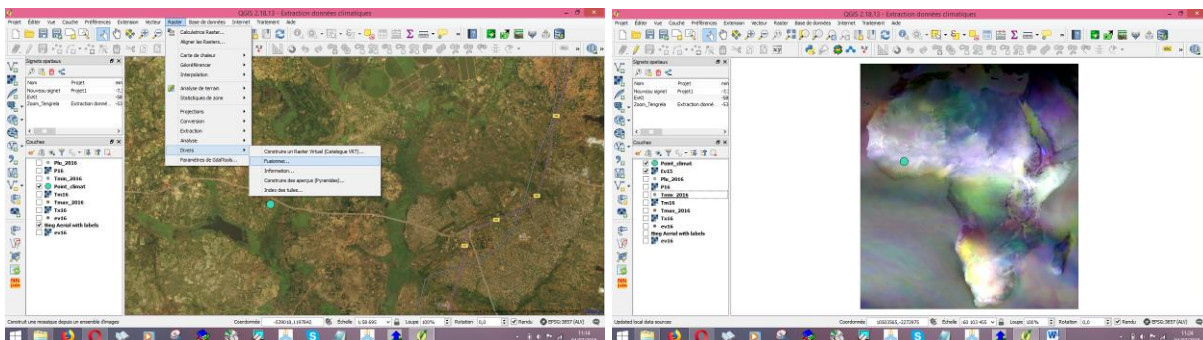


Figure 11 : Aperçu du processus d'extraction des données de températures

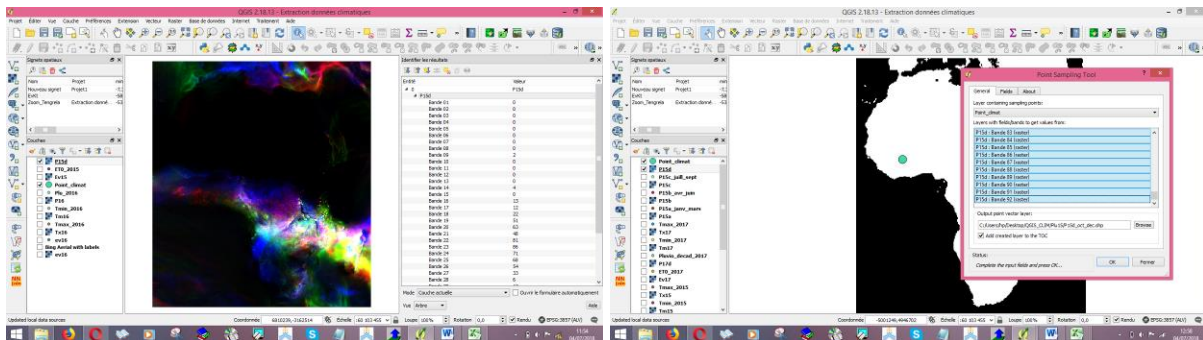


Figure 12 : Aperçu de l'étape d'extraction des données de pluviométrie

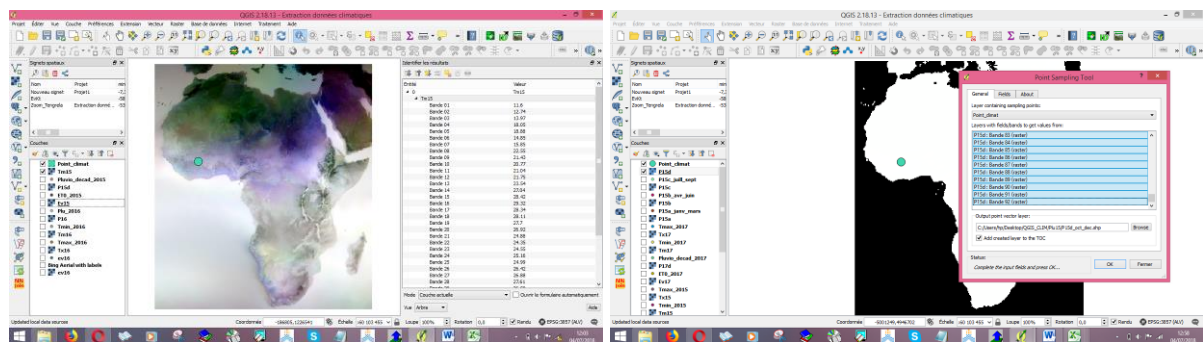


Figure 13 : Aperçu de l'étape d'extraction des données d'évapotranspiration

2.4.3. Evaluation de la Couverture de la Canopée

Les valeurs par défaut ont été considérées dans AquaCrop, en fonction du cycle d'évolution de la culture pour la partie couverture de la canopée. Ces valeurs donnent un pourcentage (%) de la couverture du sol par la culture durant tout son cycle de développement.

2.4.4. Simulations dans AquaCrop

L'outil AquaCrop (*version 6.1, Mai 2018*) de la FAO a été utilisé dans le cadre de cette étude pour les simulations ainsi que l'élaboration des calendriers d'irrigation.

L'ensemble des données d'entrées du logiciel ont été saisies d'abord dans Excel, puis dans AquaCrop suivant son environnement et ses exigences. C'est ainsi que nous avons pu enregistrer les données relatives au climat (*in situ* et satellitaire), à la culture, à l'irrigation et au sol. Les autres paramètres du logiciel ont été considérés par défaut.

Après introduction des données dans le logiciel, plusieurs simulations ont été faites. Le nombre total de simulation est obtenu en faisant le produit entre le nombre total de producteurs (pour les 2 campagnes) et le nombre de scénarii climatiques (intégrant aussi les

sources des données de sols). C'est ainsi que nous avons procédé à un total de 80 simulations (ou répétitions), soit 5 producteurs x 16 scénarii climatiques. Le tableau 2 ci-dessous présente une brève description de chaque scénario.

Tableau 2: Description des scénarii climatiques utilisés pour la simulation dans AquaCrop

Scénarii de simulation	Description	
	Fichiers <u>in situ</u> utilisés	Fichiers <u>téléchargés</u> utilisés
Scénario 1	Climat météo + Sols BUNASOLS	-
Scénario 2	Climat météo	Sol internet
Scénario 3	Sols BUNASOLS	Climat internet
Scénario 4	-	Climat internet + sol internet
Scénario 5	Climat météo + Sols BUNASOLS	Temp. du climat internet
Scénario 6	Climat météo	Temp. du climat internet + sol internet
Scénario 7	Climat météo + Sols BUNASOLS	ETo. du climat internet
Scénario 8	Climat météo	ETo. du climat internet + sol internet
Scénario 9	Climat météo + Sols BUNASOLS	Plu. du climat internet
Scénario 10	Climat météo	Plu. du climat internet + sol internet
Scénario 11	Temp. du climat météo + Sols BUNASOLS	Climat internet
Scénario 12	Temp. du climat météo	Climat internet + sol internet
Scénario 13	ETo. du climat météo + Sols BUNASOLS	Climat internet
Scénario 14	ETo. du climat météo	Climat internet + sol internet
Scénario 15	Plu. du climat météo + Sols BUNASOLS	Climat internet
Scénario 16	Plu. du climat météo	Climat internet + sol internet

Temp. = Température ; *ETo.* = Evapotranspiration ; *Plu.* = Pluviométrie

Chacun de ces scénarii a été utilisé avec les 5 producteurs suivis dans le cadre de notre étude. Les différents résultats sont présentés et discutés au chapitre suivant.

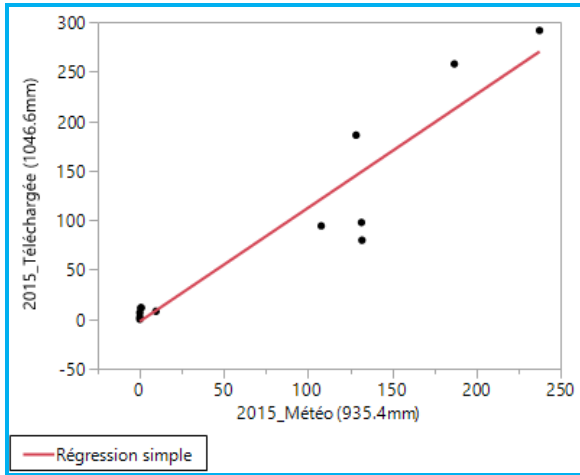


**CHAPITRE III :
RESULTATS ET DISCUSSION**

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Comparaison entre données in situ et satellitaires

3.1.1. Données pluviométriques des années 2015 et 2016



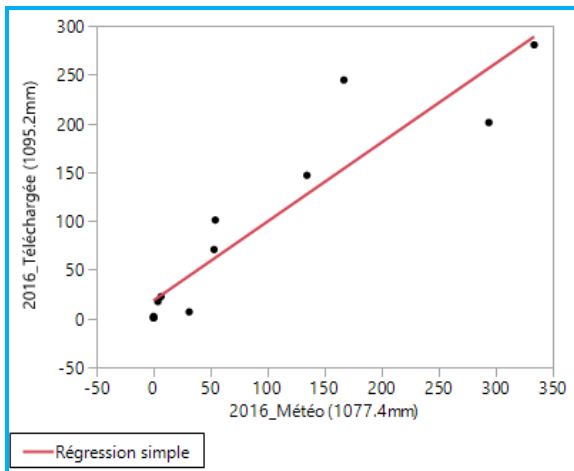
$$y = -2,184316 + 1,1469062 x$$

Résumé de l'ajustement

R carré	0,893264
R carré ajusté	0,882591
Racine de l'erreur quadratique moyenne	35,77292
Moyenne de la réponse	87,21702
Observations (ou sommes pondérées)	12

Figure 14 : Corrélation entre les pluviométries mensuelles de 2015

Sources de données : Station SN-SOSUCO et (Web2, 2018)



$$y = 18,498754 + 0,8104608 x$$

Résumé de l'ajustement

R carré	0,865655
R carré ajusté	0,85222
Racine de l'erreur quadratique moyenne	39,56829
Moyenne de la réponse	91,26463
Observations (ou sommes pondérées)	12

Figure 15 : Corrélation entre les pluviométries mensuelles de 2016

Sources de données : Station SN-SOSUCO et (Web2, 2018)

En termes de quantité totale annuelle d'eau tombée, on note une légère augmentation de la pluviométrie obtenue par données satellitaires par rapport à celle des données des services météorologiques du Burkina Faso, et ceci pendant les deux années (111.2 mm en 2015 contre 17.8 mm en 2016).

De l'observation des figures 14 et 15 établissant la corrélation entre les deux sources de données pluviométriques de 2015 et 2016, on note, à partir de la régression linéaire simple qui est établie dans un nuage de point, une forte corrélation ($R^2 = 0.89$ pour 2015 et 0.86 pour

2016) entre ces données. Ce qui pourrait traduire le fait que, durant le cycle de notre culture en 2015 et 2016, les valeurs des données de pluviométrie satellitaire influenceraient moins les résultats des simulations d'AquaCrop.

3.1.2. Données de températures des années 2015 et 2016

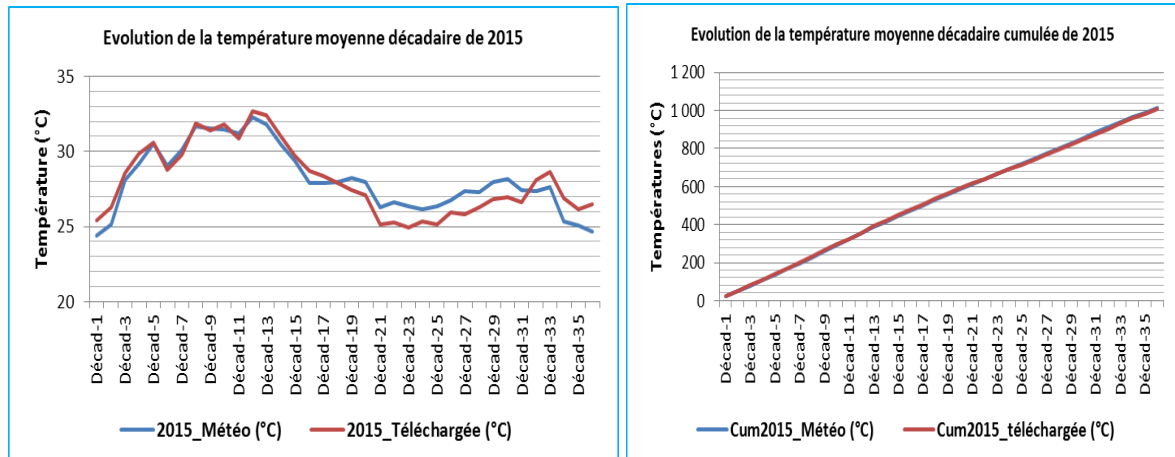


Figure 16 : Evolution des températures moyennes décadaire de 2015

Source de données : Station SN-SOSUCO et (European Union, 2018)

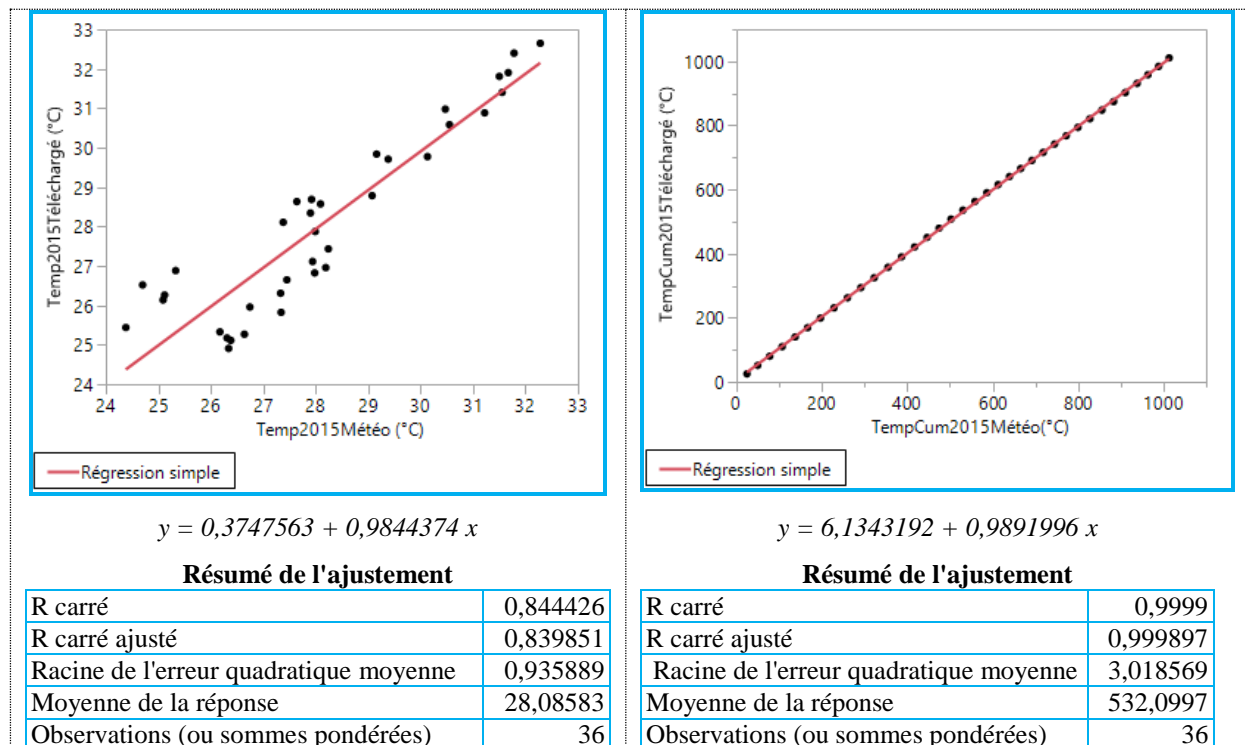


Figure 17 : Corrélation entre les températures moyennes décadaire de 2015

Source de données : Station SN-SOSUCO et (European Union, 2018)

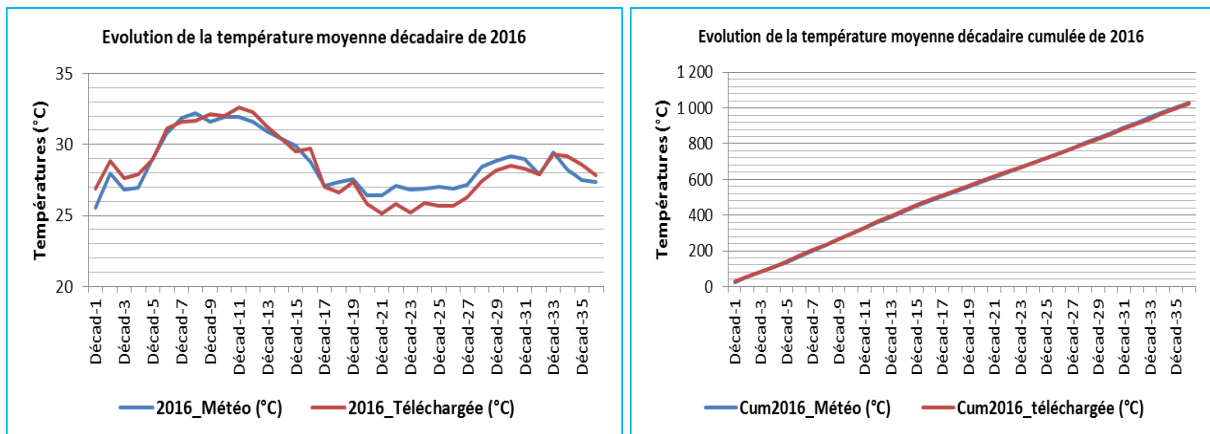


Figure 18 : Evolution des températures moyennes décadaire de 2016

Source de données : Station SN-SOSUCO et (European Union, 2018)

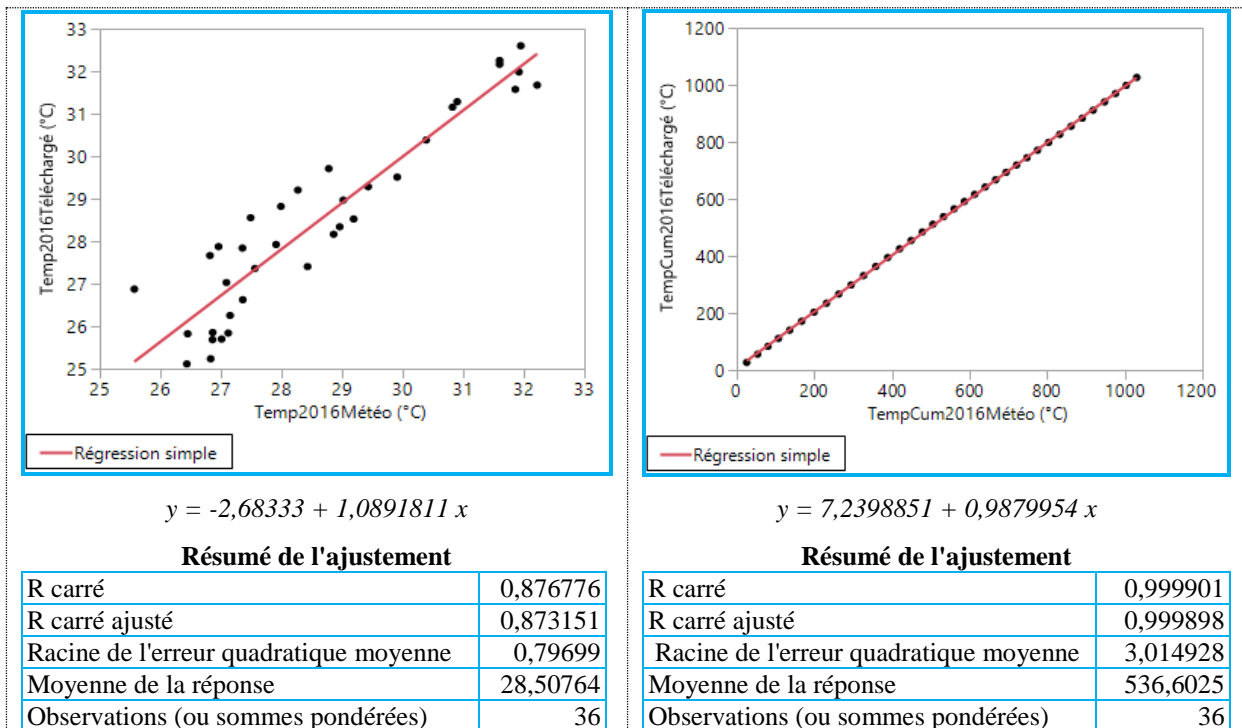


Figure 19 : Corrélation entre les températures moyennes décadaire de 2016

Source de données : Station SN-SOSUCO et (European Union, 2018)

En ce qui concerne les données des températures moyennes décadaires pour les années 2015 et 2016, nous remarquons une nette similitude entre les données issus des services météorologiques du Burkina Faso et celles téléchargées sur internet. Cette remarque est d'autant plus évidente lorsque nous suivons l'évolution des cumuls de ces températures décadaires, où cette similitude est bien marquée sur le graphique de régression simple avec une très forte corrélation linéaire entre les deux sources de données ($R^2 = 0.99$) pour les deux années concernées. Ce qui signifie que les valeurs des données de températures satellitaires

sont presque égales à celles des données in situ sur notre zone d'étude et auront moins d'influence sur les résultats des simulations d'AquaCrop.

3.1.3. Données d'évapotranspiration des années 2015 et 2016

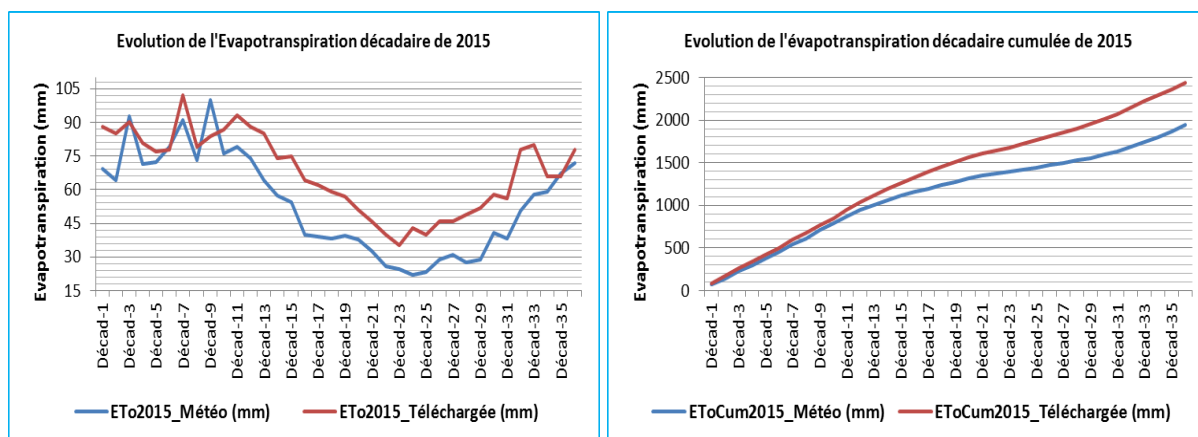


Figure 20 : Evolution de l'évapotranspiration décadaire de 2015

Source de données : Station SN-SOSUCO et (European Union, 2018)

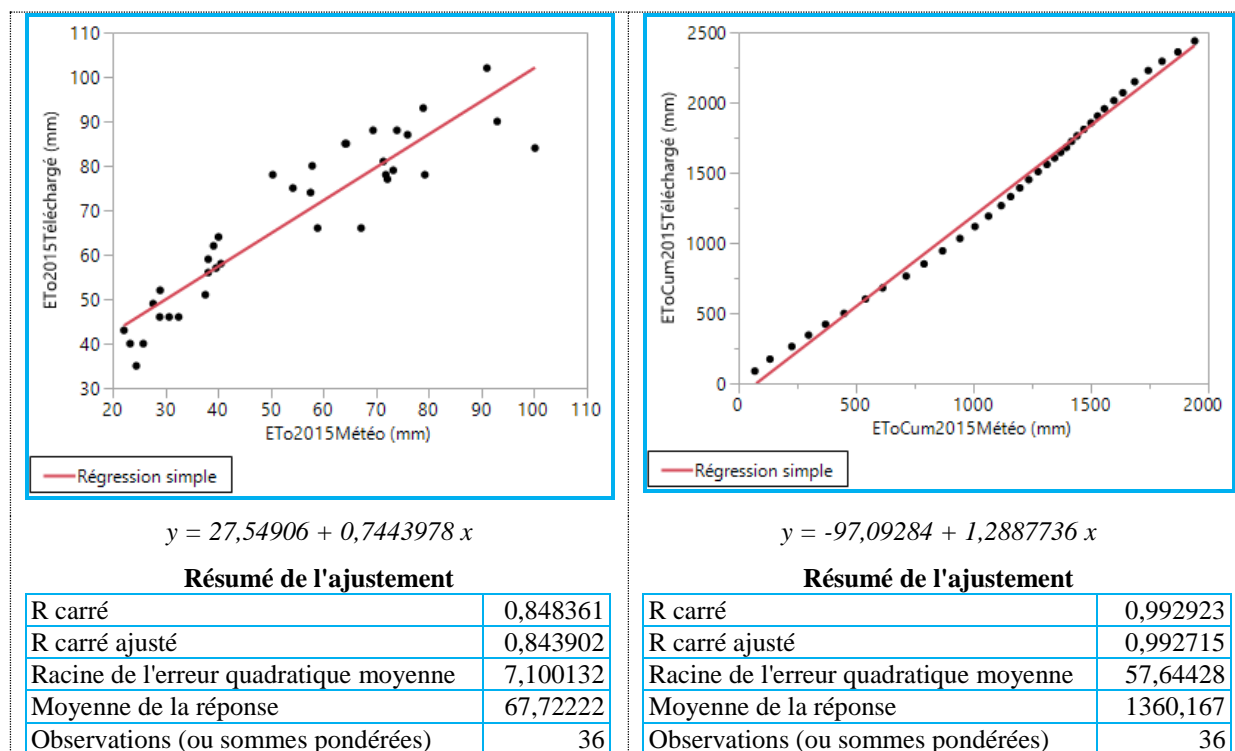


Figure 21 : Corrélation entre les évapotranspirations de 2015

Source de donnée : Station SN-SOSUCO et (European Union, 2018)

Une comparaison entre les données d'évapotranspiration décadaires de 2015 permet de voir que pour les 10 premières décades (qui correspondent au cycle de développement de notre

culture), les ETo fluctuent autour des mêmes valeurs presque. Par ailleurs, la régression linéaire simple permet d'avoir une forte corrélation entre les deux, qu'elles soient séparées ($R^2 = 0.84$) ou de façon cumulée ($R^2 = 0.99$). Ce qui laisse prévoir que durant le cycle de notre culture en 2015, les données d'ETo satellitaires n'influenceraient pas les résultats des simulations d'AquaCrop.

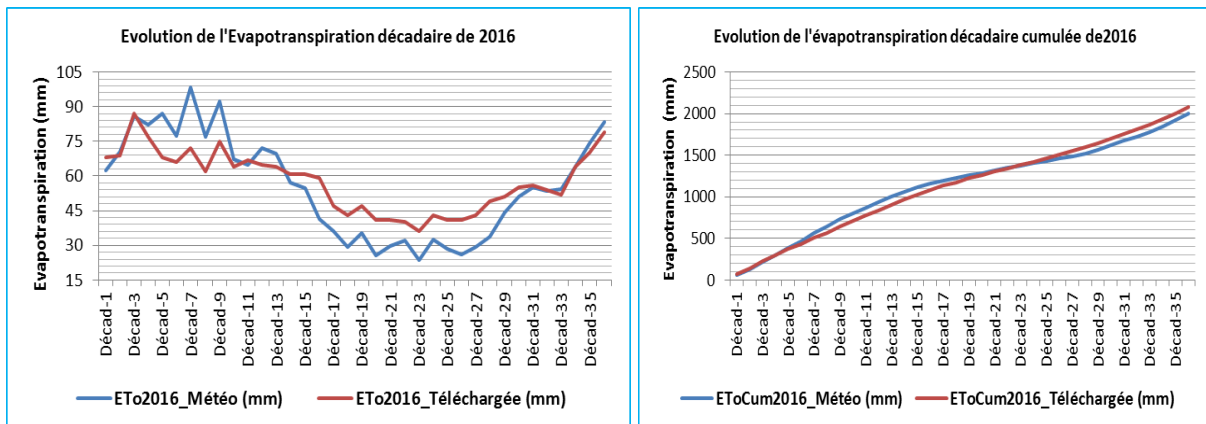


Figure 22 : Evolution de l'évapotranspiration décadaire de 2016

Source de donnée : Station SN-SOSUCO et (European Union, 2018)

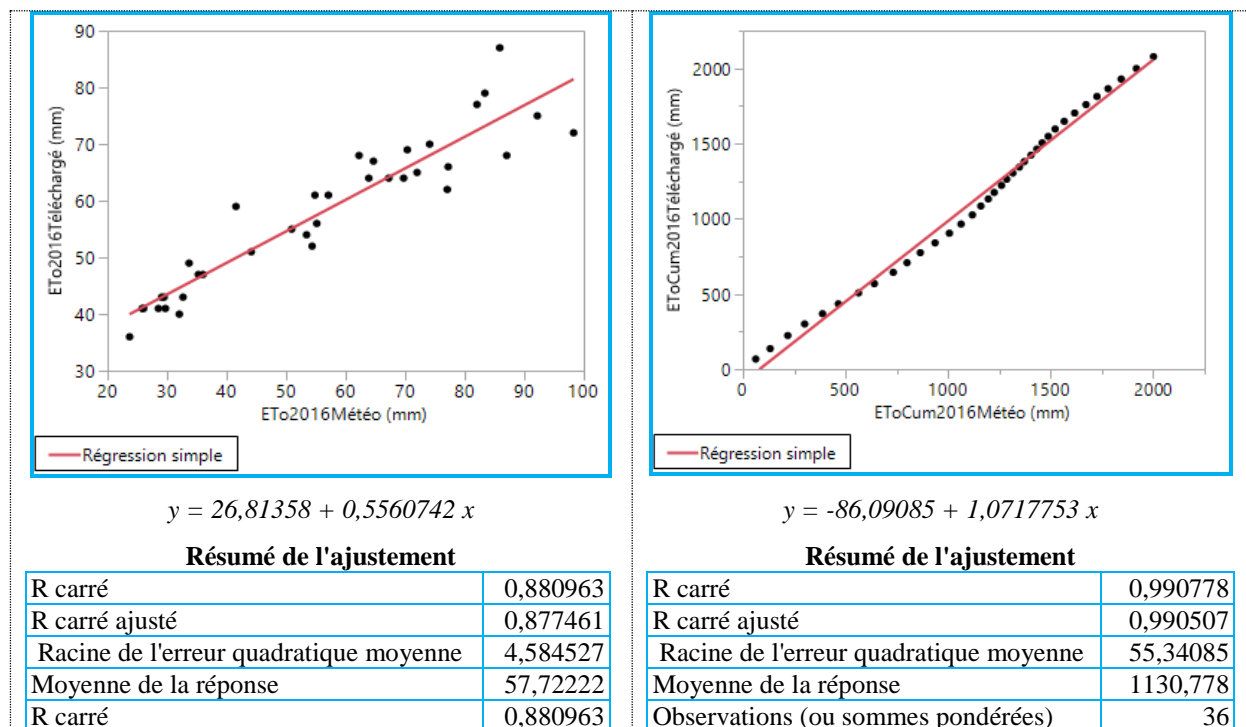


Figure 23 : Corrélation entre les évapotranspirations de 2016

Source de donnée : Station SN-SOSUCO et (European Union, 2018)

L'évolution de l'ETo pour l'année 2016 est un peu plus particulière par rapport à 2015 puisque visuellement, la différence entre les courbes des données *in situ* et satellitaires est

moins marquée, surtout avec le graphique du cumul où toute l'année durant, ces deux courbes restent presque confondues.

La régression simple appliquée aux nuages de point de ces graphiques permet de relever cette forte corrélation linéaire entre ces valeurs, avec un R^2 de 0.88 pour les ETo simples et de 0.99 pour les ETo cumulées. Nous parvenons ainsi à noter qu'en 2016, les valeurs des données d'ETo satellitaires influenceraient moins les résultats des simulations d'AquaCrop non seulement durant le cycle de notre culture, mais aussi pour tout le reste de l'année.

3.2. Données obtenues sur les profils de sols

3.2.1. Données *in situ*

Les profils de sols par producteurs qui ont été enregistrés dans AquaCrop, sur la base des analyses des échantillons de sols par le BUNASOLS, est résumé dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Type de sols par producteur

	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
TOU Gban	Limoneux Argilo-Sableux	Argilo-Limoneux	Argilo-Limoneux
SAGNON Siaka	Argileux	Argileux	Argileux
DIAO Fabarka	Limoneux Argilo-Sableux	Limoneux Argilo-Sableux	Limoneux Argilo-Sableux

Source de données : (BUNASOLS, 2016)

3.2.2. Données téléchargées

Sur la base de l'exploitation des informations du site sur les types de sols décrit plus haut dans la méthodologie, nous avons pu retenir comme texture du sol de Tengréla, un sol « Sablo-argilo-limoneux » suivant les détails du tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Type de sols de Tengréla obtenu à partir des données internet

	0-50 cm 60% Sable + 23% Argile	50-100 cm 51% Sable + 27% Argile	100-200 cm 51% Sable + 28% Argile
WP (% volume)	15.4	17.6	18.2
FC (% volume)	25.6	29.2	29.7
Saturation (% volume)	43.6	44.4	44.4
MO (%)	2.5	2.5	2.5
Texture/profil	Sablo-argilo-limoneux	Sablo-argilo-limoneux	Sablo-argilo-limoneux

WP = point de flétrissement permanent ; FC = Capacité au champ ; MO = Matière organique

Source : (ISRIC, 2018)

3.3. Analyse et interprétation des résultats des simulations

3.3.1. Résultats de simulations

Des simulations ont été faites dans AquaCrop sur la base des données climatiques (*in situ* et satellitaires) et avec l'ensemble des producteurs suivis durant les deux campagnes de

production. Aussi, ces simulations ont été répétées avec le type de sols de la zone d'étude obtenue sur internet.

Nous avons, à chaque fois noté les valeurs des « productions » et du « Climat et bilan hydrique » afin de faire une comparaison entre scénarii. La figure ci-dessous donne un exemple des affichages graphiques du menu de simulation dans AquaCrop.

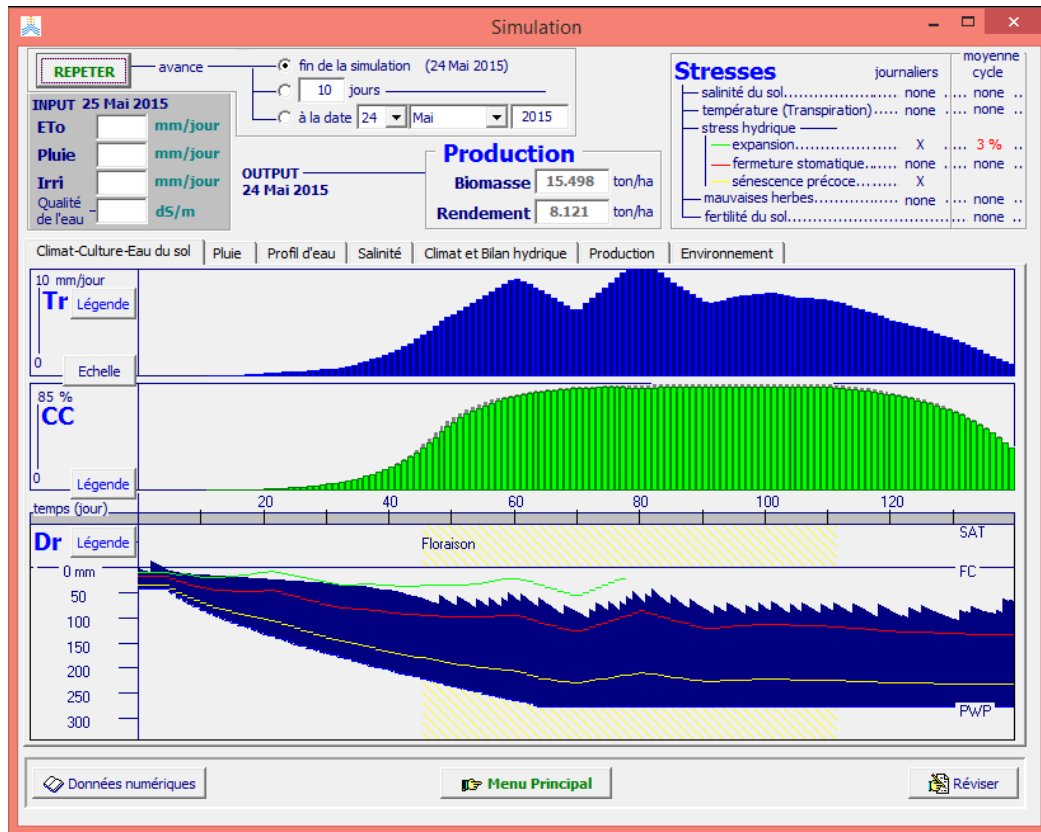


Figure 24 : Aperçu des affichages graphiques du menu simulation d'AquaCrop

Seize scénarii ont été développés afin de faire ressortir l'influence de l'un ou l'autre facteur, soit in situ ou satellitaire, sur les résultats de simulation dans AquaCrop (cf. tableau 2).

Les résultats des valeurs de production et de climat pour les différentes simulations sont présentés dans le tableau synthèse ci-dessous.

Tableau 5 : Synthèse des résultats de simulation

Scénarii	Description (noms des fichiers utilisés)	Producteurs	Date repiquage	Biomasse réelle simulée (t/ha)	Rendement simulé (t/ha)	Biomasse Potentielle simulée (t/ha)	ETo/Cycle (mm)	Pluie/Cycle (mm)	Irrigation /Cycle (mm)	Evaporation (mm)	Transpiration (mm)	Ruissèlement (mm)	Infiltration (mm)	Percolation (mm)	Flux* d'eau dans le sol (mm)
Scénario 1	Climat météo + sol BUNASOLS	Producteur1	05/01/2015	15.498	8.121	15.93	1061.3	105.6	640	139.9	659.7	9.6	736	2.9	-66.5
		Producteur2	08/01/2015	13.255	7.253	15.93	1057.2	109.2	1064	214.9	551.1	408.7	764	60.5	-62
		Producteur3	02/02/2015	15.493	8.252	15.93	965.5	217.9	504	142.4	571.2	18.4	703.5	20	-30.1
		Producteur4	10/01/2016	15.442	8.477	16.032	1061.9	127.4	578	142.8	630.2	7.7	697.7	1.5	-76.8
		Producteur5	06/01/2016	15.438	8.513	16.032	1063.7	96.8	656	140.8	639.1	9.3	743.5	23.7	-60.1
Scénario 2	Climat météo + sol net	Producteur1	05/01/2015	15.466	8.375	15.93	1061.3	105.6	700	164	658.5	8.7	796.9	4.8	-30.4
		Producteur2	08/01/2015	15.618	7.913	15.93	1057.2	109.2	728	128	659.7	12.6	824.6	69.4	-32.5
		Producteur3	02/02/2015	15.539	8.133	15.93	965.5	217.9	504	136.8	573.2	17.7	704.2	18.9	-24.7
		Producteur4	10/01/2016	15.507	8.528	16.032	1061.9	127.4	680	195.6	633.1	14.6	792.8	3.4	-39.3
		Producteur5	06/01/2016	15.51	8.506	16.032	1063.7	96.8	656	133.3	642.3	4.3	748.5	23.2	-50.3
Scénario 3	Climat Net + sol BUNASOLS	Producteur1	05/01/2015	15.444	8.307	15.93	1187.8	101.5	700	158	723	2.9	798.6	3.2	-85.6
		Producteur2	08/01/2015	12.676	6.644	15.93	1184.5	117.3	1232	257.1	589.4	462.8	886.5	95.3	-55.3
		Producteur3	02/02/2015	15.483	8.226	15.93	1126.9	212.4	684	198.5	683.1	9.3	887.1	30.1	-24.6
		Producteur4	10/01/2016	15.596	8.136	16.032	962.5	167.4	442	126	562.3	3.2	606.2	1.4	-83.5
		Producteur5	06/01/2016	15.429	8.503	16.032	964.6	153.8	533	125.5	558.8	7.4	679.4	21.1	-26
Scénario 4	Climat Net + sol Net	Producteur1	05/01/2015	15.375	8.479	15.93	1187.8	101.5	780	189.9	720.7	2.9	878.6	8.1	-40.1
		Producteur2	08/01/2015	15.519	8.192	15.93	1184.5	117.3	784	141.2	726.1	1	900.3	45.6	-12.6
		Producteur3	02/02/2015	15.549	8.072	15.93	1126.9	212.4	684	192.6	686.1	10.6	885.8	30.8	-23.7
		Producteur4	10/01/2016	15.525	8.468	16.032	962.5	167.4	527	167.9	559.7	8.9	685.5	3.2	-45.3
		Producteur5	06/01/2016	15.485	8.52	16.032	964.6	153.8	533	117.8	560.9	4.7	682.1	25.5	-22.1
Scénario 5	Climat Météo + Température Net + sol BUNASOLS	Producteur1	05/01/2015	15.498	8.121	15.93	1061.3	105.6	640	139.9	659.7	9.6	736	2.9	-66.5
		Producteur2	08/01/2015	13.255	7.253	15.93	1057.2	109.2	1064	214.9	551.1	408.7	764.5	60.5	-62
		Producteur3	02/02/2015	15.493	8.252	15.93	965.5	217.9	504	142.4	571.2	18.4	703.5	20	-30.1
		Producteur4	10/01/2016	15.442	8.477	16.032	1061.9	127.4	578	142.8	630.2	7.7	697.7	1.5	-76.8
		Producteur5	06/01/2016	15.438	8.513	16.032	1063.7	96.8	656	140.8	639.1	9.3	743.5	23.7	-60.1
Scénario 6	Climat Météo + Température	Producteur1	05/01/2015	15.466	8.375	15.93	1061.3	105.6	700	164	658.5	8.7	796.9	4.8	-30.4
		Producteur2	08/01/2015	15.618	7.913	15.93	1057.2	109.2	728	128	659.7	12.6	824.6	69.4	-32.5

Scénarii	Description (noms des fichiers utilisés)	Producteurs	Date repiquage	Biomasse réelle simulée (t/ha)	Rendement simulé (t/ha)	Biomasse Potentielle simulée (t/ha)	ETo/Cycle (mm)	Pluie/Cycle (mm)	Irrigation /Cycle (mm)	Evaporation (mm)	Transpiration (mm)	Ruissèlement (mm)	Infiltration (mm)	Percolation (mm)	Flux* d'eau dans le sol (mm)
	Net + sol Net	Producteur3	02/02/2015	15.539	8.133	15.93	965.5	217	504	136.8	573.2	17.7	704.2	18.9	-25.6
		Producteur4	10/01/2016	15.507	8.528	16.032	1061.9	127.4	680	195.6	633.1	14.6	792.8	3.4	-39.3
		Producteur5	06/01/2016	15.51	8.506	16.032	1063.7	96.8	656	133.3	642.3	4.3	748.5	23.2	-50.3
Scénario 7	Climat Météo + ETo Net + sol BUNASOLS	Producteur1	05/01/2015	15.434	8.312	15.93	1187.8	105.6	720	148.9	723.2	12.7	812.9	3.2	-62.4
		Producteur2	08/01/2015	12.834	6.735	15.93	1184.5	109.2	1232	242.1	595.6	468.8	872.4	85.3	-50.6
		Producteur3	02/02/2015	15.531	8.045	15.93	1126	217.9	612	158.8	685.2	17.2	812.7	19.4	-50.7
		Producteur4	10/01/2016	15.601	8.14	16.032	962.5	127.4	493	124.1	562.4	7	613.4	1.4	-74.5
		Producteur5	06/01/2016	15.432	8.502	16.032	964.6	96.8	574	120	558.9	19.9	650.9	22.8	-50.8
Scénario 8	Climat Météo + ETo Net + sol Net	Producteur1	05/01/2015	15.348	8.463	15.93	1187.8	105.6	780	175.6	719.5	14.3	871.3	8.1	-31.9
		Producteur2	08/01/2015	15.511	8.252	15.93	1184.5	109.2	784	128.2	725.8	12	881.2	44	-16.8
		Producteur3	02/02/2015	15.576	7.993	15.93	1126.9	217.9	612	151	687.2	19.1	810.8	19.3	-46.7
		Producteur4	10/01/2016	15.527	8.474	16.032	962.5	127.4	578	164.1	559.7	15.8	689.6	3.2	-37.4
		Producteur5	06/01/2016	15.485	8.52	16.032	964.6	96.8	574	112	560.9	18.5	652.1	25.1	-45.7
Scénario 9	Climat Météo + Pluvio Net + sol BUNASOLS	Producteur1	05/01/2015	15.505	8.119	15.93	1061.3	101.5	620	147.2	660	0.2	721.3	2.9	-88.8
		Producteur2	08/01/2015	13.731	7.514	15.93	1057.2	117.3	1064	222.4	570.6	401.4	779.9	60.5	-73.6
		Producteur3	02/02/2015	15.54	8.077	15.93	965.5	212	540	184.2	573.4	4.5	747.9	28.2	-38.3
		Producteur4	10/01/2016	15.361	8.481	16.032	933.3	317.2	323	157.7	504.6	24	616.2	3.3	-49.4
		Producteur5	06/01/2016	15.564	8.391	16.032	955	286.8	451	172.4	532.4	15.2	722.6	48.7	-30.9
Scénario 10	Climat Météo + Pluvio Net + sol Net	Producteur1	05/01/2015	15.478	8.359	15.93	1061.3	101.5	680	169.8	658.9	0.7	780.8	4.8	-52.7
		Producteur2	08/01/2015	15.609	7.923	15.93	1057.2	117.3	728	140	659.4	0	845.3	69.9	-24
		Producteur3	02/02/2015	15.563	8.058	15.93	965.5	212.4	540	178.6	574.3	4.4	748	29.6	-34.5
		Producteur4	10/01/2016	15.505	8.526	16.032	1061.9	167.4	629	200.9	633	6	790.4	3.4	-46.9
		Producteur5	06/01/2016	15.492	8.515	16.032	1063.7	153.8	615	146	641.5	1	767.8	21.8	-41.5
Scénario 11	Climat Net + Température Météo + sol BUNASOLS	Producteur1	05/01/2015	15.444	8.307	15.93	1187.8	101.5	700	158	723.6	2.9	798.6	3.2	-86.2
		Producteur2	08/01/2015	12.676	6.644	15.93	1184.5	117.3	1232	257.1	589.4	462.8	886.5	95.3	-55.3
		Producteur3	02/02/2015	15.483	8.226	15.93	1126.9	212.4	684	198.5	683.1	9.3	887.1	30.1	-24.6
		Producteur4	10/01/2016	15.596	8.136	16.032	962.5	167.4	442	126	562.3	3.2	606.2	1.4	-83.5
		Producteur5	06/01/2016	15.429	8.503	16.032	964.6	153.8	533	125.5	558.8	7.4	679.4	21.1	-26

Scénarii	Description (noms des fichiers utilisés)	Producteurs	Date repiquage	Biomasse réelle simulée (t/ha)	Rendement simulé (t/ha)	Biomasse Potentielle simulée (t/ha)	ETo/Cycle (mm)	Pluie/Cycle (mm)	Irrigation /Cycle (mm)	Evaporation (mm)	Transpiration (mm)	Ruissèlement (mm)	Infiltration (mm)	Percolation (mm)	Flux* d'eau dans le sol (mm)
Scénario 12	Climat Net + Température Météo + sol Net	Producteur1	05/01/2015	15.375	8.479	15.93	1187.8	101.5	780	189.9	720.7	2.9	878.6	8.1	-40.1
		Producteur2	08/01/2015	15.519	8.192	15.93	1184.5	117.3	784	141.2	726.1	1	900.3	45.6	-12.6
		Producteur3	02/02/2015	15.549	8.072	15.93	1126.9	212.4	684	192.6	686.1	10.6	885.8	30.8	-23.7
		Producteur4	10/01/2016	15.525	8.468	16.032	962.5	167.4	527	167.9	559.7	8.9	685.5	3.2	-45.3
		Producteur5	06/01/2016	15.485	8.52	16.032	964.6	153.8	533	117.8	560.9	4.7	682.1	25.5	-22.1
Scénario 13	Climat Net + ETo Météo + sol BUNASOLS	Producteur1	05/01/2015	15.505	8.119	15.93	1061.3	101.5	620	147.2	660	0.2	721.3	2.9	-88.8
		Producteur2	08/01/2015	13.731	7.514	15.93	1057.2	117.3	1064	222.4	570.6	401.4	779.9	60.5	-73.6
		Producteur3	02/02/2015	15.54	8.077	15.93	965.5	212.4	540	184.2	573.4	4.5	747.9	28.2	-37.9
		Producteur4	10/01/2016	15.443	8.478	16.032	1061.9	167.4	527	145.8	630.2	3.6	690.8	1.5	-86.7
		Producteur5	06/01/2016	15.439	8.511	16.032	1063.7	153.8	615	148.3	639.1	1.2	767.6	22.2	-42
Scénario 14	Climat Net + ETo Météo + sol Net	Producteur1	05/01/2015	15.478	8.359	15.93	1061.3	101.5	680	169.8	658.9	0.7	780.8	4.8	-52.7
		Producteur2	08/01/2015	15.609	7.923	15.93	1057.2	117.3	728	140	659.4	0	845.3	69.9	-24
		Producteur3	02/02/2015	15.563	8.058	15.93	965.5	212.4	540	178.6	574.3	4.4	748	29.6	-34.5
		Producteur4	10/01/2016	15.505	8.526	16.032	1061.9	167.4	629	200.9	633	6	790.4	3.4	-46.9
		Producteur5	06/01/2016	15.492	8.515	16.032	1063.7	153.8	615	146	641.5	1	767.8	21.8	-41.5
Scénario 15	Climat Net + Pluvio Météo + sol BUNASOLS	Producteur1	05/01/2015	15.434	8.312	15.93	1187.8	105.6	720	148.9	723.2	12.7	812.9	3.2	-62.4
		Producteur2	08/01/2015	12.834	6.735	15.93	1184.5	109.2	1232	242.1	595.6	468.8	872.4	95.3	-60.6
		Producteur3	02/02/2015	15.531	8.045	15.93	1126.9	217.9	612	158.8	685.2	17.2	812.7	19.4	-50.7
		Producteur4	10/01/2016	15.601	8.14	16.032	962.5	127.4	493	124.1	562.4	7	613.4	1.4	-74.5
		Producteur5	06/01/2016	15.432	8.502	16.032	964.6	96.8	574	120	558.9	19.9	650.9	22.8	-50.8
Scénario 16	Climat Net + Pluvio Météo + sol Net	Producteur1	05/01/2015	15.348	8.463	15.93	1187.8	105.6	780	175.6	719.5	14.3	871.3	8.1	-31.9
		Producteur2	08/01/2015	15.511	8.252	15.93	1184.5	109.2	784	128.2	725.8	12	881.2	44	-16.8
		Producteur3	02/02/2015	15.576	7.993	15.93	1126.9	217.9	612	151	687.2	19.1	810.8	19.3	-46.7
		Producteur4	10/01/2016	15.527	8.474	16.032	962.5	127.4	578	164.1	559.7	15.8	689.6	3.2	-37.4
		Producteur5	06/01/2016	15.485	8.52	16.032	964.6	96.8	574	112	560.9	18.5	652.3	25.1	-45.7

NB : les Scénarii 1-16 prennent en compte les combinaisons de données in situ et satellitaires (pluviométrie, température, évapotranspiration).

*Flux d'eau dans le sol = (Pluie + Irrigation) – (Evaporation + Transpiration + Ruissèlement + Percolation)

3.3.2. Analyse des résultats de simulations

L'analyse des résultats de nos simulations a été faite avec le logiciel **JMP Pro 13** qui nous donne la possibilité de faire un certain nombre de tests de comparaison afin de conclure sur les similitudes et les différences entre nos résultats.

En rappel, notre étude vise à faire une comparaison entre les résultats de calendriers d'irrigation d'AquaCrop obtenus sur la base des données *in situ* et satellitaires. L'idée étant de savoir les types de données *in situ* (climatiques, sol) qui peuvent être remplacées par des données satellitaires dans l'élaboration des calendriers d'irrigation avec AquaCrop.

Compte tenu du fait que les données satellitaires que nous avons utilisées concernent le climat (pluviométrie, évapotranspiration et température) et le sol (profil de sol téléchargé), nous nous sommes intéressés aux trois paramètres suivants dans notre analyse :

- la biomasse réelle simulée, car la formation de la biomasse serait liée à la quantité d'eau transpirée par les plantes et par conséquent du climat environnant de la culture (pluviométrie, température et ETo). La biomasse potentielle étant toujours la même pour une même année (cas de nos résultats de simulation), nous n'avons donc pas jugé important de prendre en compte ce paramètre ;
- les rendements simulés qui dépendent de plusieurs facteurs, mais dans notre cas, nous nous intéressons aux facteurs climatiques qui pourront influencer ces rendements. Notons qu'il y a aussi un lien étroit entre la biomasse produite et le rendement de la culture ;
- le flux d'eau dans le sol qui influence les deux paramètres précédemment décrits mais qui dépendrait aussi des caractéristiques physiques du sol concerné (texture, profils). Ce flux (dernière colonne du tableau 5 ci-dessus) est évalué sur la base suivante :

$$\text{Flux d'eau dans le sol} = (\text{Pluie} + \text{Irrigation}) - (\text{Evaporation} + \text{Transpiration} + \text{Ruissellement} + \text{Percolation})$$

Pour chacun de ces paramètres, nous appliquons les tests de Tukey et de Dunnett.

Le test de Tukey nécessite un échantillon de même taille et permet de réaliser des comparaisons deux à deux entre les différents scénarii, à une probabilité de 0,05.

Par ailleurs, celui de Dunnett permet de comparer les différents scénarii avec un scénario témoin qui est le scénario 1 dans notre cas d'étude (puisque basé que sur des sources de données *in situ*).

3.3.3. Impact des différents scénarii sur la biomasse simulée

❖ Comparaison des moyennes de biomasse réelle simulée des scénarii pour toutes les paires en utilisant le HSD de Tukey-Kramer

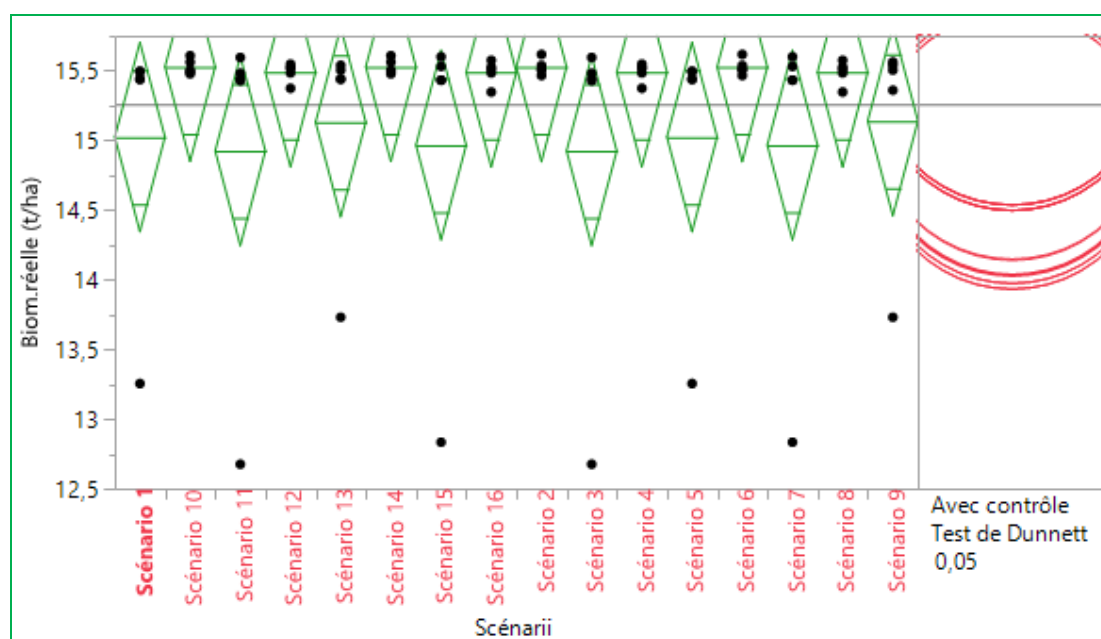
Tableau 6 : Rapport de connexion de lettres de la biomasse réelle simulée

Niveau		Moyenne
Scénario 10	A	15,529400
Scénario 14	A	15,529400
Scénario 2	A	15,528000
Scénario 6	A	15,528000
Scénario 12	A	15,490600
Scénario 4	A	15,490600
Scénario 16	A	15,489400
Scénario 8	A	15,489400
Scénario 9	A	15,140200
Scénario 13	A	15,131600
Scénario 1	A	15,025200
Scénario 5	A	15,025200
Scénario 15	A	14,966400
Scénario 7	A	14,966400
Scénario 11	A	14,925600
Scénario 3	A	14,925600

NB : Les niveaux non connectés par la même lettre sont significativement différents.

Ce rapport montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les moyennes de biomasse réelle simulée par scénarii.

❖ Comparaisons avec un contrôle en utilisant la méthode de Dunnett



Groupe de contrôle = Scénario 1

Figure 25 : Aperçu des moyennes/Anova avec le test de Dunnett pour la biomasse réelle simulée

Les résultats de ce test sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7 : Matrice des seuils des différences les moins significatives pour la biomasse réelle

Niveau	Abs(différence)-différence la moins significative	P-value (5%)
Scénario 10	-0,9	0,9576
Scénario 14	-0,9	0,9576
Scénario 2	-0,9	0,9584
Scénario 6	-0,9	0,9584
Scénario 12	-0,94	0,9767
Scénario 4	-0,94	0,9767
Scénario 16	-0,94	0,9771
Scénario 8	-0,94	0,9771
Scénario 9	-1,29	1,0000
Scénario 13	-1,3	1,0000
Scénario 1	-1,4	1,0000
Scénario 5	-1,4	1,0000
Scénario 15	-1,34	1,0000
Scénario 7	-1,34	1,0000
Scénario 11	-1,3	1,0000
Scénario 3	-1,3	1,0000

NB : Les valeurs négatives montrent que les paires de moyennes ne sont pas significativement différentes.

On peut noter qu'en termes de résultat de biomasse réelle simulée, aucun scénario n'est différent du scénario 1 (témoin). Les résultats de ce test confirment ceux du Test de Tukey sur la non-existence de différence entre les moyennes des différents scénarii, pris deux à deux.

Interprétation : En ce qui concerne la production de biomasse réelle simulée, les données climatiques satellitaires n'ont pas d'impact sur les résultats de simulation pour l'élaboration du calendrier d'irrigation dans le cadre de notre étude.

3.3.4. Impact des différents scénarii sur le rendement simulé

❖ Comparaison des moyennes des rendements simulés des scénarii pour toutes les paires en utilisant le HSD de Tukey-Kramer

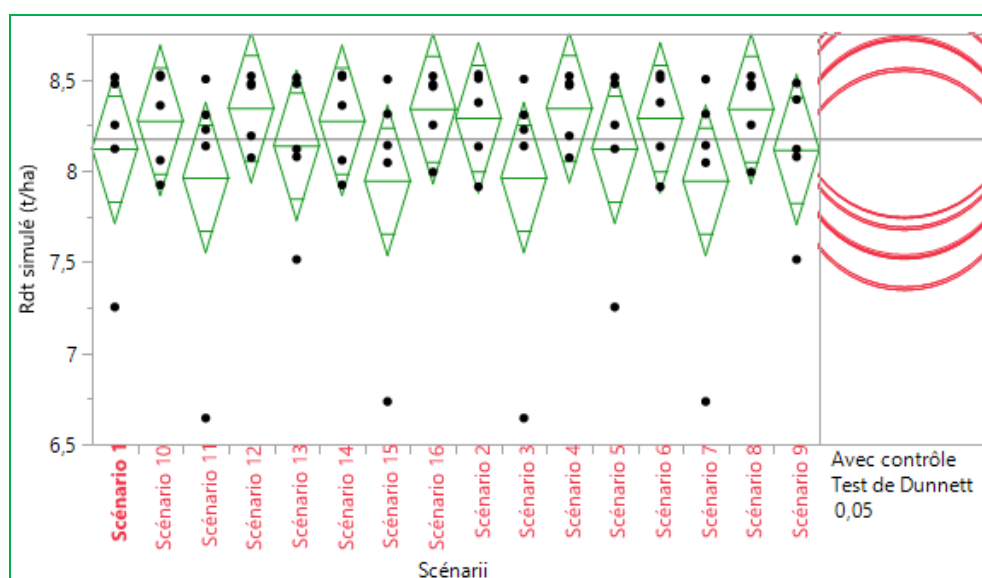
Tableau 8 : Rapport de connexion de lettres des rendements simulés

Niveau		Moyenne
Scénario 12	A	8,3462000
Scénario 4	A	8,3462000
Scénario 16	A	8,3404000
Scénario 8	A	8,3404000
Scénario 2	A	8,2910000
Scénario 6	A	8,2910000
Scénario 10	A	8,2762000
Scénario 14	A	8,2762000
Scénario 13	A	8,1398000
Scénario 1	A	8,1232000
Scénario 5	A	8,1232000
Scénario 9	A	8,1164000
Scénario 11	A	7,9632000
Scénario 3	A	7,9632000
Scénario 15	A	7,9468000
Scénario 7	A	7,9468000

NB : Les niveaux non connectés par la même lettre sont significativement différents.

Tout comme dans le cas de la biomasse réelle simulée, le rapport sur le test de Tukey nous montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les moyennes des rendements simulés par scénarii.

❖ Comparaisons avec un contrôle en utilisant la méthode de Dunnett



Groupe de contrôle = Scénario 1

Figure 26 : Aperçu des moyennes/Anova avec le test de Dunnett pour les rendements simulés

Les résultats de l'analyse du test de Dunnett sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9 : Matrice des seuils des différences les moins significatives pour le rendement simulé

Niveau	Abs(différence)-différence la moins significative	P-value (5%)
Scénario 12	-0,63	0,9971
Scénario 4	-0,63	0,9971
Scénario 16	-0,63	0,9978
Scénario 8	-0,63	0,9978
Scénario 2	-0,68	0,9999
Scénario 6	-0,68	0,9999
Scénario 10	-0,7	1,0000
Scénario 14	-0,7	1,0000
Scénario 13	-0,83	1,0000
Scénario 1	-0,85	1,0000
Scénario 5	-0,85	1,0000
Scénario 9	-0,84	1,0000
Scénario 11	-0,69	0,9999
Scénario 3	-0,69	0,9999
Scénario 15	-0,67	0,9998
Scénario 7	-0,67	0,9998

NB : Les valeurs négatives montrent que les paires de moyennes ne sont pas significativement différentes.

Aucun scénario n'est différent du scénario 1 (témoin) en termes de rendements simulés dans le cadre de notre étude. Les résultats de ce test confirment, une fois de plus ceux obtenus avec le Test de Tukey.

Interprétation : Dans le cadre de notre étude, les rendements simulés de données satellitaires et ceux simulés pour les données in situ sont identiques.

3.3.5. Impact des différents scénarii sur le flux d'eau

- ❖ **Comparaison des moyennes du flux d'eau des scénarii pour toutes les paires en utilisant le HSD de Tukey-Kramer**

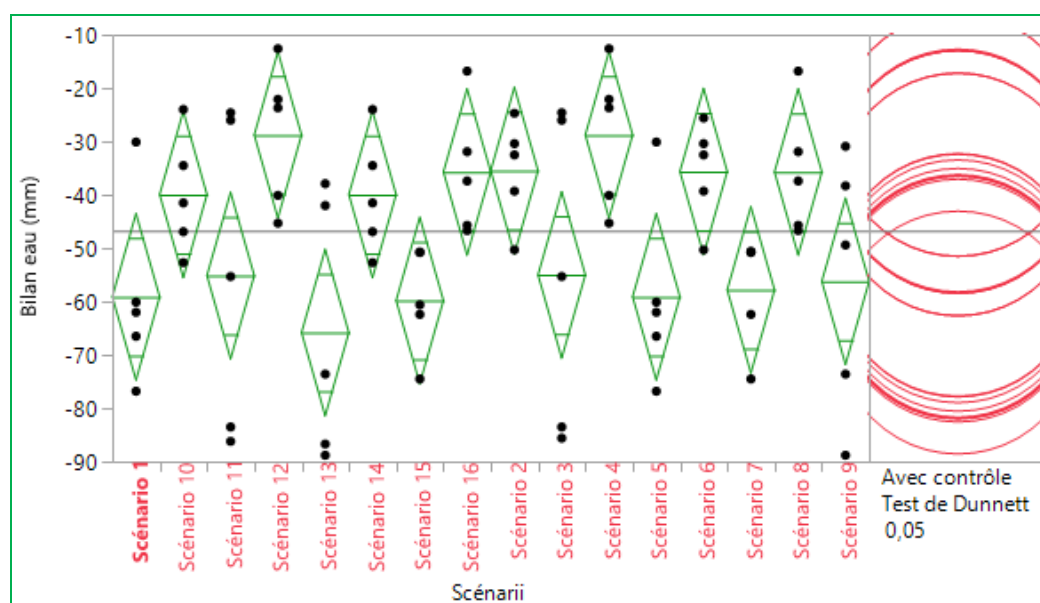
Tableau 10 : Rapport de connexion de lettres du flux d'eau

Niveau		Moyenne
Scénario 12	A	-28,76000
Scénario 4	A	-28,76000
Scénario 2	A	-35,44000
Scénario 6	A	-35,62000
Scénario 16	A	-35,70000
Scénario 8	A	-35,70000
Scénario 10	A	-39,92000
Scénario 14	A	-39,92000
Scénario 3	A	-55,00000
Scénario 11	A	-55,12000
Scénario 9	A	-56,20000
Scénario 7	A	-57,80000
Scénario 1	A	-59,10000
Scénario 5	A	-59,10000
Scénario 15	A	-59,80000
Scénario 13	A	-65,80000

NB : Les niveaux non connectés par la même lettre sont significativement différents.

Le tableau nous révèle qu'aucune différence n'est observée entre les scénarii pour le flux d'eau.

❖ Comparaisons avec un contrôle en utilisant la méthode de Dunnett



Groupe de contrôle = Scénario 1

Figure 27 : Aperçu des moyennes/Anova avec le test de Dunnett pour le flux d'eau

Le tableau ci-dessous présente les résultats de l'analyse du test de Dunnett.

Tableau 11 : Matrice des seuils des différences les moins significatives pour flux d'eau

Niveau	Abs(différence)-différence la moins significative	P-value (5%)
Scénario 12	-1,84	0,0753
Scénario 4	-1,84	0,0753
Scénario 2	-8,52	0,2724
Scénario 6	-8,7	0,2807
Scénario 16	-8,78	0,2844
Scénario 8	-8,78	0,2844
Scénario 10	-13	0,5269
Scénario 14	-13	0,5269
Scénario 3	-28,1	1,0000
Scénario 11	-28,2	1,0000
Scénario 9	-29,3	1,0000
Scénario 7	-30,9	1,0000
Scénario 1	-32,2	1,0000
Scénario 5	-32,2	1,0000
Scénario 15	-31,5	1,0000
Scénario 13	-25,5	0,9998

NB : Les valeurs négatives montrent que les paires de moyennes ne sont pas significativement différentes.

On remarque également que pour le bilan d'eau, aucun scénario n'est différent du témoin (scénario 1) dans le cadre de notre étude. Ce qui est conforme aux résultats obtenus avec le Test de Tukey.

Interprétation : En ce qui concerne le bilan d'eau, les données satellitaires (climatiques et de sol) n'ont pas eu d'impact sur les résultats de simulation dans AquaCrop, dans le cadre de notre étude.

En somme, après analyse des résultats de simulation, nous pouvons dire que les trois paramètres simulées par données satellitaires et *in situ* (biomasses, rendements, et flux d'eau) donnent les mêmes résultats dans AquaCrop, dans notre zone d'étude.

3.4. Présentation et interprétation des calendriers d'irrigation

Pour chacun des cinq producteurs, nous avons utilisé le fichier de sortie « Wabal.OUT » du logiciel AquaCrop, pour générer les calendriers d'irrigation. Ce fichier fait la synthèse de « la teneur en eau du sol à diverses profondeurs de profil de sol » et permet de dégager les doses et fréquences d'irrigation (FAO, 2012), durant le cycle de production du piment.

Nous nous sommes intéressés à la différence entre les intervalles d'irrigation proposés d'une part avec les données *in situ* (qui correspondent au scénario 1 décrit plus haut) et, d'autre part avec les données satellitaires (correspondant au scénario 4). Ces calendriers sont présentés dans les tableaux ci-dessous, par producteur, afin de mieux comparer les intervalles d'irrigation de ces deux sources de données.

3.4.1. Présentation des calendriers d'irrigation

❖ Calendriers d'irrigation générés chez le producteur 1

Tableau 12 : Comparaison de calendriers d'irrigation chez le producteur 1

Calendrier d'irrigation
Culture : Piment
Producteur 1 : TOU Gban, 2015

Mois	Janvier			Février			Mars			Avril			Mai						
Décades	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
Intervalles (<i>in situ</i>)	3 jours			2 jours			3 jours			2 jours			3 jours			8 jours			fin récolte
Intervalles (satellitaire)	3 jours			2 jours			3 jours			2 jours			5 jours			8 jours			fin récolte

■ : Irrigation initiale de 20 mm pour la préparation du champ, puis 20 mm/irrigation

Le calendrier d'irrigation généré par AquaCrop pour le producteur 1, présente les mêmes doses et fréquences (ou intervalles) d'irrigation avec les deux sources de données, à l'exception de la décade 3 d'avril et de la décade 1 de mars où les différences entre ces intervalles sont respectivement de 1 jour et de 3 jours. Ce qui implique une irrigation de plus pendant ces deux décades, pour le calendrier de source de données satellitaires par rapport à celui de données *in situ*.

❖ Calendriers d'irrigation générés chez le producteur 2

Tableau 13 : Comparaison de calendriers d'irrigation chez le producteur 2

Calendrier d'irrigation
Culture : Piment
Producteur 2 : SAGNON Siaka, 2015

Mois	Janvier			Février			Mars			Avril			Mai														
Décades	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3												
Intervalles (<i>in situ</i>)	3 jours			6 jours			5 jours			8 jours			7 jours			4 jours			5 jours			9 jours			fin récolte		
Intervalles (<i>satellitaire</i>)	3 jours			6 jours			5 jours			8 jours			7 jours			5 jours			7 jours			9 jours			fin récolte		

■ : Irrigation initiale de 20 mm pour la préparation du champ, puis 56 mm/irrigation

En comparant les intervalles d'irrigation de ces deux calendriers (*in situ* et satellitaire), on remarque qu'à l'exception des décades 2 et 3 d'avril, ils ont les mêmes doses et intervalles d'irrigation. La différence de jours est de 1 (décade 2) et 2 (décade 3). Ce qui signifie que seule la décade 3 d'avril enregistrerait une irrigation de plus au niveau du calendrier *in situ* par rapport à celui de source satellitaire.

❖ Calendriers d'irrigation générés chez le producteur 3

Tableau 14 : Comparaison de calendriers d'irrigation chez le producteur 3

Calendrier d'irrigation
Culture : Piment
Producteur 3 : DIAO Fabarka, 2015

Mois	Février			Mars			Avril			Mai			Juin				
Décades	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Intervalles (in situ)	9 jours			15 jours			5 jours			4 jours			9 jours			fin récolte	
Intervalles (satellitaire)	9 jours			15 jours			5 jours			4 jours			6 jours	9 jours			fin récolte

I : Irrigation initiale de 20 mm pour la préparation du champ, puis 36 mm/irrigation

Dans le cas du producteur 3, seule la décade 1 de mai présente une différence de jours entre les calendriers d'irrigation issus des deux sources de données. Cependant, cette différence ne s'observera pas dans la pratique, car les 6 jours d'intervalle du calendrier de source satellitaire ne pourront pas être répétés au cours de la décade.

❖ Calendriers d'irrigation générés chez le producteur 4

Tableau 15 : Comparaison de calendriers d'irrigation chez le producteur 4

Calendrier d'irrigation
Culture : Piment
Producteur 4 : TOU Gban, 2016

Mois	Janvier			Février			Mars			Avril			Mai			
Décades	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Intervalles (in situ)	3 jours			2 jours			3 jours			2 jours			3 jours			6 jours fin récolte
Intervalles (satellitaire)	3 jours			2 jours			3 jours			2 jours			4 jours			6 jours fin récolte

I : Irrigation initiale de 20 mm pour la préparation du champ, puis 17 mm/irrigation

En comparant les deux calendriers d'irrigation chez le producteur 4, on se rend compte de la différence d'un jour de plus d'intervalle, durant le mois d'avril et la première décade de mai, au niveau du calendrier de source satellitaire par rapport à celui de source *in situ*. Ce qui revient à 3 irrigations de plus pour le calendrier de source *in situ*, pendant cette période des 4 décades successives.

❖ Calendriers d'irrigation générés chez le producteur 5

Tableau 16 : Comparaison de calendriers d'irrigation chez le producteur 5

Calendrier d'irrigation															
Culture : Piment															
Producteur 5 : DIAO Fabarka, 2016															
<i>Mois</i>	Janvier			Février			Mars			Avril			Mai		
<i>Décades</i>	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>Intervalles (in situ)</i>	3 jours			10 jours			7 jours		4 jours	7 jours			10 jours		fin récolte
<i>Intervalles (satellitaire)</i>	3 jours			10 jours			7 jours		4 jours	7 jours		9 jours	10 jours		fin récolte

I : Irrigation initiale de 20 mm pour la préparation du champ, puis 41 mm/irrigation

Nous n'observons de différence de jours d'intervalles qu'à la troisième décade du mois d'avril, entre les deux calendriers d'irrigation chez le producteur 5. Cependant, cette différence de 2 jours n'aura pas d'impact sur la fréquence d'irrigation de la décade concernée puisque nous sommes à une intervalle assez espacé (7 et 9 jours) de sorte qu'il ne serait pas possible de répéter une irrigation de plus.

3.4.2. Interprétation sur les calendriers d'irrigation

De manière générale, il ressort de la comparaison des 2 calendriers d'irrigation chez chacun de nos producteurs, qu'il y a moins de différences entre les intervalles d'irrigation, en termes d'écart de jours. D'un producteur à un autre, la différence entre les deux calendriers est entre 0 irrigation à 3 irrigations de plus selon les sources de données. En effet, pendant qu'au cours du cycle de production du piment, une irrigation de plus sera enregistrée chez le producteur 1 (source satellitaire) et le producteur 2 (source *in situ*), il n'y a aucune différence de nombre d'irrigation chez les producteurs 3 et 5, alors que chez le producteur 4, le calendrier d'irrigation de source *in situ* enregistrera 3 irrigations de plus.

De notre analyse, cette différence de 0 à 3 irrigations de plus perturberait moins les rendements du piment dans la mesure où elle intervient dans la phase de maturité/récolte qui commence déjà entre 3 et 4 mois après le repiquage. Ce qui confirme les résultats des analyses statistiques précédentes qui n'ont pas révélé de différences significatives en termes de rendements simulés.

3.5. Vérification de l'hypothèse de l'étude

Au vu de l'analyse des résultats de la biomasse réelle simulée, du rendement simulé et du bilan d'eau dans le sol, on ne note pas de différences significatives entre les scénarii, dans le cadre de notre étude. Aussi, la génération des calendriers d'irrigation pour chaque producteur ne fait pas ressortir de différences en fonction des sources de données. En mettant en relation ces résultats avec ceux de la comparaison entre les données climatiques (pluviométrie, températures et évapotranspiration), nous constatons une logique entre les résultats. En rappel, ces données climatiques *in situ* présentaient de fortes corrélations linéaires avec celles satellitaires. Ce qui permet de confirmer notre hypothèse de départ qui stipulait qu'il n'y aura pas de différence entre les résultats des calendriers d'irrigation élaborés sur la base de sources de données *in situ* et ceux élaborés avec des sources de données satellitaires.

Notre étude ne permet pas de dire quelles données climatiques des services météorologiques peuvent être remplacées par des données satellitaires, mais semble confirmer que toutes les données climatiques et de sols *in situ* pourraient être plutôt remplacés par des données satellitaires pour l'élaboration des calendriers d'irrigation avec AquaCrop, dans notre zone d'étude (Haute Comoé).

Certes, nous reconnaissons que notre étude connaît certaines limites qui peuvent aussi influencer les résultats obtenus. Entre autres limites à notre étude, nous pouvons noter la petite taille de l'échantillon des producteurs (5 producteurs), le manque de données terrains pour alimenter AquaCrop de sorte que plusieurs rubriques aient été prises à défaut, la non calibration de AquaCrop par la FAO pour la culture de piment sur laquelle nous avons travaillé, la circonscription de l'étude à un seul site relevant de conditions climatiques propres à cette zone, etc.

Conclusion et Recommandations

L'agriculture au Burkina Faso est soumise aux aléas des changements climatiques. Le gouvernement s'engage de plus en plus au développement de l'agriculture irriguée pour pallier aux déficits alimentaires engendré par l'irrégularité et la mauvaise répartition de la pluviométrie dans son ensemble. Dans notre zone d'étude, comme partout ailleurs au Burkina Faso, le développement de cette agriculture irriguée est soumis à un certain nombre de contraintes dont l'indisponibilité et le problème de gestion de la ressource eau.

Notre travail de fin d'études (TFE) avait pour objectif de voir l'impact des sources de données (*in situ* et satellitaires) sur les résultats d'élaboration des calendriers d'irrigation avec AquaCrop. Pour parvenir à nos résultats, des données ont été collectées auprès des services de la météorologie du Burkina Faso et du Bureau National des Sols (BUNASOLS). Aussi, avons-nous fait des simulations (80) sur base de scénarii (16) prenant en compte toutes les éventualités d'interférence entre les données climatiques *in situ* et satellitaires et aussi en fonction des données de sols obtenus avec le BUNASOLS d'une part et satellitaires d'autre part.

Au terme de notre étude, nous pouvons retenir que, dans le contexte de notre zone d'étude, il n'y a pas eu de différence d'impact des données *in situ* et satellitaires non seulement sur les résultats de simulation mais aussi sur les calendriers d'irrigation dans AquaCrop. La source de données n'a donc pas eu d'influence sur ces résultats.

Vue l'importance de notre thématique, et considérant les insuffisances ci-dessus relevées à notre étude, nous formulons quelques recommandations pour la suite. Ainsi, pour bien attester nos résultats, il faudra :

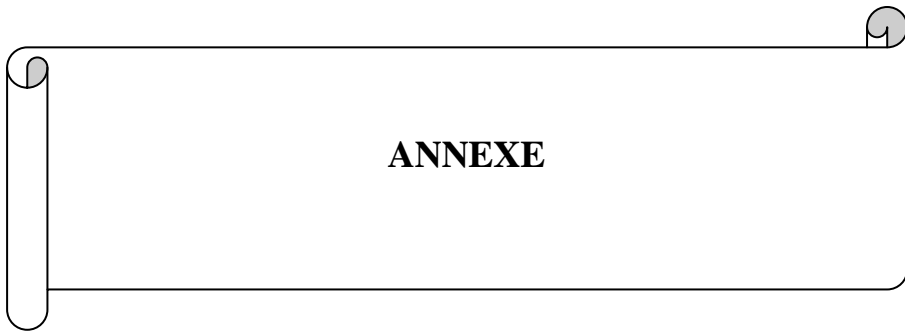
- conduire une autre étude avec des données *in situ* plus désagrégés et sur plusieurs années ;
- prendre en compte plusieurs sites de conditions climatiques différentes pour voir l'impact des sources de données sur les résultats d'AquaCrop ;
- calibrer AquaCrop pour la culture du piment de sorte à avoir des résultats moins discutables (pour éviter de considérer des paramètres par défaut).

Bibliographie

- Aldomany, M. (2017). L' évaporation dans le bilan hydrologique des étangs du Centre-Ouest de la France (Brenne et Limousin). Géographie. Université d'Orléans, 2017. Français. <NNT : 2017ORLE1155>. <tel-01661489>. Thèse., 333 p.
- BUNASOLS. (2016). Rapport d'analyse d'échantillons de sol. N° de Laboratoire 3244/2012016 à 3270/2016. Résultats d'analyse d'échantillons de sols/PADI 2016. 11 Mai 2016., 8 p.
- CAM. (2007). Fiche technique du Piment (fort et végétarien). Chambre d'Agriculture Martinique – Place d'Armes – 97232 LAMENTIN / Décembre 2007., 7–8 p.
- Cour, J. (2010). Gestion des eaux du bassin de la Haute Comoé (Burkina-Faso). Etude du Projet WAIPRO (USAID), (IWMI) Institut International de Gestion de l'eau Ouagadougou, Burkina Faso, 40 p.
- DENIS, A. (2015). Travaux Pratiques sur les Systèmes d'Information Géographique (SIG), Initiation à QGIS, Antoine DENIS, 2015, Arlon Campus Environnement, Université de Liège, Belgique, 173 p.
- European Union. (2018). No Title. Retrieved from <http://spirits.jrc.ec.europa.eu/download/downloaddata/downloadmeteodata/>
- FAO. (2012). Manuel d'utilisation AquaCrop : FAO, Land and Water Division, Rome, Italy (juin 2012). Traduction Française par J. WELLENS, L. DIMZOURE, M. NTEKAM et B. TYCHON (mai 2014), 178 p.
- FAO. (2017). AquaCrop. *AquaCrop the Crop Water Productivity Model*, FAO, 2017, 4 p. Retrieved from www.fao.org/land-water/databases-and-software/aquacrop
- FAO. (2018). No Title. Retrieved from <http://www.fao.org/aquacrop/fr/>
- FAUCK, R. (1963). Le sous-groupe des sols ferrugineux tropicaux : lessivés a concrétions. Présenté au Colloque sur la classification des sols des Régions Intertropicales, leurs corrélations et leur interprétation, 28 mai - 7 juin 1963 à l'Université de Lovanium de Léopoldv, p 383-405.
- Faure et al. (2011). Revue bibliographique sur les recherches menées dans le monde sur le conseil en agriculture. Cah Agric 20 : 327-42. doi : 10.1684/agr.2011.0510. Faure G, Desjeux Y, Gasselin P., 20, 327–342 p.
- Fondio L. et al. (2009). Bien cultiver le piment en Côte d ' Ivoire. Direction des programmes de recherche et de l'appui au développement -Direction des innovations et des systèmes d'information; CNRA, 01 BP 1740 Abidjan 01, Côte d'Ivoire - Tél. : (225) 23 47 24 24. Septembre 200, 4 p. Retrieved from info.sqr@cnra.ci
- Guire, A. (2013). Orientations nationales en matière d'agriculture irriguée au Burkina Faso : enjeux acquis et perspectives. Communication présentée par M. Alassane GUIRE à l'atelier national organisé par l'UICN sur la sécurité alimentaire à Ouagadougou – 26 et 27 Novembre, 32 p.

- Guyot G. (1999). Climatologie de l'environnement: cours et exercices corrigés. Ed. Dunod, Paris, 1999 pour la 2e édition, 2013 pour la nouvelle présentation. ISBN 978-2-10-070458-3., 525 p.
- Herrera, R., & Ilboudo, L. (2012). « Les défis de l'agriculture paysanne : le cas du Burkina Faso », *L'Homme & la société* 2012/1 (n° 183-184), p. 83-95. DOI 10.3917/lhs.183.0083. *L'Homme et La Société*, 183–184(1), 83–95 p. <https://doi.org/10.3917/lhs.183.0083>
- INSD. (2016). Annuaire statistique 2015. Institut national de la statistique et de la démographie (INSD). Décembre 2016, 383 p. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- ISRIC. (2018). No Title. Retrieved from <https://soilgrids.org/>
- Kouali, G. N. (2010). Diagnostic participatif et planification des actions du périmètre irrigué de Karfiguéla (Province de la Comoé -Burkina Faso). Rapport d'analyse diagnostic et plans d'action, élaboré par CNIB-D (2009) et relu par M. Gaël Ndanga Kouali (juillet 2010), 47 p.
- MAAH. (2017). Stratégie Nationale de Conseil Agricole du Burkina Faso à l' horizon 2025. RAPPORT DIAGNOSTIC, Version définitive. Mai 2017., 101 p.
- MAHRH. (2003). Stratégie Nationale de Développement Durable de l'Irrigation au Burkina Faso (SNDDAI), 121 p.
- MAHRH. (2008). Capitalisation des Initiatives sur les bonnes Pratiques agricoles au Burkina Faso, 99 p.
- MAHRH. (2010). Système National de Vulgarisation et d' appui Conseil Agricoles (SNVACA), 1–68 p.
- MASA. (2013). Formulation du plan national d'adaptation aux changements climatiques au Burkina Faso: volet sectoriel agriculture, 126 p.
- MCA. (2014). Schéma directeur d'aménagement et de gestion de l'eau du bassin de la Comoé. Version N°3, Mars 2014., 259 p.
- Ministère de l'Agriculture. (2002). Agriculture et développement au Burkina Faso : état des lieux et perspectives. conférence pronocée par monsieur le Secrétaire général du Ministère de l'Agriculture, 1–14 p.
- PADI II. (2015). Rapport bilan du PTBA 2015 de la deuxième phase du Programme d'Appui au Développement de l'Irrigation (PADI II). Décembre 2015., 1–25 p.
- PALE et al. (2016). Vers la mise en place d'un système de conseil aux irrigants à l'aide des outils d'aide à la décision : application dans le sous-bassin versant de la Haute-Comoé au Burkina Faso, (2009), 1 p.
- PALLO F. & THIOMBIANO L. (1989). Les sols ferrugineux tropicaux lessives à concrétions du Burkina Faso: Caractéristiques et contraintes pour l'utilisation agricole. F.J.P. PALLO & L. THIOMBIANO ; BUNASOLS - BP 7142 - Ouagadougou - Burkina Faso., p 307-327.

- REKSON, J. P. et al. (1983). Fiches techniques culturales des principaux légumes expérimentés en Casamance (1) Jibelor). Ministère de la recherche Scientifique et Technique, Institut sénégalais de Recherches Agricoles. Jean-Pierre REKSON, Ilioussa DIOUF et I.T.A., SOMIVAC, Décembre J9, 21 p.
- Schnebelen N. et Laroche B. (2013). MEDDE, GIS Sol. 2013. Guide pour l'identification et la délimitation des sols de zones humides. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, Groupement d'Intérêt Scientifique Sol., 63 p.
- Traoré, F. (2012). Optimisation de l'utilisation des ressources en eau du bassin du Kou pour des usages agricoles. Université de Liège. Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences. Novembre 2012, 195 p.
- UEMOA. (2002). Appui à la mise en œuvre de la politique agricole de l'union en matière de sécurité alimentaire. Propositions d'investissement dans le domaine de la sécurité alimentaire au Burkina Faso., (mai), 30 p.
- UNEP. (2010). "Afrique: Atlas de l'Eau". Division of Early Warning and Assessment (DEWA). United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi, Kenya., 325 p. Retrieved from <http://www.earthprint.com>.
- Web1. (2018). No Title. Retrieved from <http://www.vdsciences.com/pages/sciences-agronomiques-de-base/vi-classification-des-sols/classification-des-sols-5.html>
- Web2. (2018). No Title. Retrieved from ftp://chg-ftpout.geog.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/africa_daily/
- Web3. (2018). No Title. Retrieved from http://www.fao.org/pgrfa-gpa-archive/sen/docs/senegal_varietes/varietes_sen/legumes3.3.pdf
- Web4. (2017). Introduction à QGIS, Janvier 2017. Retrieved from https://mesange.educagri.fr/htdocs/sigea/supports/QGIS/distance/initiation/M01_IntroductionQGIS_gen_web/co/20_N1_Logiciel_Qgis.html
- Wellens, J. (2016). Introduction à AquaCrop: élaboration de calendriers d'irrigation (expériences au Burkina Faso). 20 Octobre 2016, Marrakech., 18 p.
- Wellens, J. (2017). Free climate + soil extraction. Regional (AFRA) Training Course on the Use of Advanced Nuclear and Related Tools for Agricultural Water Management and Advance Use of Crop Simulation Model (AquaCrop), 10-14 July, 2017, FAO-IAEA Joint Programme., 20 p. Retrieved from info.sqr@cnra.ci
- Zerbo, D. (2017). Etat de la mise en œuvre de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) dans le sous bassin versant de la Haute-Comoé au Burkina Faso, 48 p.



Fiches de collecte de données terrain

Fiche 1. Suivi du stade végétatif des cultures et de quelques opérations culturales.

Nom du site :Nom du producteur/exploitant :Campagne agricole : Nom de l'enquêteur :

N°obs.	Date de collecte de données	Numéro de la parcelle	Coordonnées GPS	Culture concernée	Variété	Superficie ¹ ha	Date de repiquage ²	Reprise (oui/non)	Nbre plants au m ²	Hauteur du plant	Floraison (oui/non)	Récolte (oui/non)	Quantité récoltée (kg)
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													

¹ Superficie à déterminer au GPS

² Si repiquage préciser le nbre de jours de séjour de plants en pépinière....

Fiche 3. Suivi de la consommation en eau au niveau des parcelles

Nom du site :Nom du producteur/exploitant :Campagne agricole : Nom de l'enquêteur :

N°	Date de collecte de données	Numéro de la parcelle	Coordonnées GPS	Culture concernée	Variété	Superficie ³ m ²	Temps ⁴ de remplissage seau 1	Temps de remplissage seau 2	Temps de remplissage seau 3	Durée d'irrigation de la parcelle
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										

Débit 1....., Débit 2.....Débit 3.....Débit moyen.....

³ Superficie à déterminer au GPS

⁴ A mesurer à l'entrée de la parcelle concernée