

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique
Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie-El Harrach- Alger
Département d'Hydraulique Agricole**



Thèse

En Vue de l'Obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences Agronomiques

Option : Hydraulique Agricole

THEME

**Impact des Changements Climatiques sur le
Fonctionnement des Systèmes d'Irrigation dans les Grands
Périmètres de l'Est de l'Algérie**

Présenté par : *Malkia – Rabia*

Soutenue publiquement le 20/09/2016 devant le jury composé de :

Président : Pr Aidaoui Abdallah	Enseignant ENSA-El Harrach
Directeur de thèse : Pr Hartani Tarik	Enseignant ENSA-El Harrach
Co-directeur de thèse : Dr Dechmi Farida	Chercheur CITA-Saragosse-Espagne
Examineurs : Pr Chabaca Med Nacer	Enseignant ENSA-El Harrach
Dr Slimani Ali	Enseignant Université El Tarf
Dr Nafaa Keblouti	Enseignant U. Badji Mokhtar Annaba

Promotion: 2015/2016

REMERCIEMENTS

Cette thèse est le résultat du travail de plusieurs années au cours desquelles j'ai pu bénéficier de l'aide de professeurs et chercheurs, aussi bien en Algérie avec mon directeur de thèse le professeur Hartani, qu'en Espagne avec mon co-directeur de thèse Dr Dechmi lors de mes stages à Saragosse. C'est elle qui m'a donné le goût de la recherche scientifique basée sur les modèles mathématiques et la manipulation des logiciels dont le DSSAT.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à Monsieur le directeur de « Centro de Investigacion y Tecnologia Agroalimentaria de Aragon- CITA- Zaragoza, Espagne » qui m'a ouvert les portes de son centre.

Je tiens à exprimer mes remerciements à tous ceux qui m'ont aidé lors de la réalisation de ce travail. Que ceux que j'ai pu oublié me pardonnent.

Je remercie vivement messieurs les professeurs et maitres de conférences qui ont accepté de faire partie du jury de soutenance:

- Hartani Tarik, Professeur à l'école nationale supérieure d'agronomie d'El Harrach, Directeur de thèse qui m'a soutenu durant toutes ces années notamment lors du décès de ma chère mère;
- Dechmi Farida, docteur chercheur à la CITA de Saragosse en Espagne co-directeur de thèse ;
- Aidaoui Abdallah, professeur à l'école nationale supérieure d'agronomie d'El Harrach président ;
- Chabaca Med Nacer, professeur à l'école nationale supérieure d'agronomie d'El Harrach, examinateur ;
- Slimani Ali, Maitre de conférences, Université Chadli Bendjedid d'El Tarf, examinateur,
- Nafaa Keblouti de conférences (A), Université Badji Mokhtar Annaba, examinateur.

Enfin, je garde une reconnaissance particulière à ma femme qui m'a supporté toutes ces années et m'a accordé son soutien et son perpétuel encouragement ainsi que mes enfants qui m'ont redonné le courage de terminer cette thèse.

Dédicaces

À la mémoire de mon père, de ma mère et de mon beau père ; Qu'Allah lui soient clément et miséricordieux (Allah yarhamouhem).

À ma femme ;

*À mes enfants : **Mohamed**; **Meriem** (Mariouma); **Manar** (Mannoura) et **Malak** (Amouna)*

À mes sœurs et à mes frères ;

A ma belle famille ;

À mes amis Nouredine Menzer enseignant à l'ENSA, Semmar Med Faouzi, enseignant à l'Université d'el tarf et Ami Khaled, inspecteur principal des PTT.

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 01 : classification des eaux d'irrigation selon la méthode Wilcox	06
- Tableau 02 : Résultats des analyses de l'eau lâchée par le barrage dans l'oued pour l'irrigation pendant l'année 2006	08
- Tableau 03: Températures moyennes mensuelles (période 1982-2009)	09
- Tableau 04: Précipitations moyennes mensuelles (période 1982-2009)	09
- Tableau 05 : Caractéristiques chimiques du sol de l'exploitation	10
- Tableau 06. Diamètres des différentes canalisations	16
- Tableau 07 : Les données climatiques utilisées par le CROPWAT 8.0.	27
- Tableau 08 : Traitements phytosanitaires effectués.	30
- Tableau 09. Valeurs du Kc de la tomate en fonction de son évolution	31
- Tableau 10: Calendrier et doses d'irrigations appliquées	33
Tableau 11: pertes des charges au niveau des conduites	40
- Tableau 12. Coordonnées des deux stations	64
Tableau 13. Moyennes annuelles des données climatiques des deux stations sur 20 ans	66
-Tableau14. L'évapotranspiration de référence mensuelle calculée par différentes formules pour les deux zones Annaba et Guelma	79
-Figure15.Détermination d'ETo en fonction des données climatiques moyenne mensuelle de la station Annaba sur 20 ans	80
- Figure16. Détermination d'ETo en fonction des données climatiques moyenne mensuelle de la station guelma sur 20 ans	81
- Tableau17. Répartition d'ETo saisonnière pour la Première saison (Annaba)	84
- Tableau 18. Répartition d'ETo saisonnière pour la Première saison (Guelma)	84
- Tableau19. Répartition d'ETo saisonnière pour la Deuxième saison (Annaba)	85
- Tableau20. Répartition d'ETo saisonnière pour la Deuxième saison (Guelma)	85
- Tableau21. Répartition d'ETo saisonnière pour la Troisième saison (Annaba)	86
- Tableau22. Répartition d'ETo saisonnière pour la Troisième saison (Guelma)	87
- Tableau23. Répartition d'ETo saisonnière pour la Quatrième saison (Annaba)	88
- Tableau24. Répartition d'ETo saisonnière pour la Quatrième saison (Guelma)	88
- Tableau25. Les 16 modèles (GCM) utilisés dans l'étude	103
- Estimation des besoins en eau des cultures 2050-2080 selon les trois hypothèses de changement climatique	113

- Tableau26.Variations des températures minimales et maximales mensuelles et des précipitations (1950-2002) station d'Annaba (Année de référence).	118
- Tableau 27. Coefficients culturaux appliques dans la zone d'étude	119
- Tableau 28. Variations des minimas et des maxims des températures minimales et maximales et des précipitations projetées en fonction des scenarios climatiques et des modèles correspondants pour 2050 et 2080.	120
Tableau 29. Variation des minimas et des maxims des températures minimales et maximales et des précipitations selon les trois scenarios de changements climatiques pour le milieu et la fin du siècle d'après les 16 modèles climatiques.	121
Tableau 30: Evaluation annuelle des besoins en eau future 2050 (A) et 2080 (B) selon l'assolement recommande par le PNE 1999-2005 à partir du CROPWAT 8.0 et selon les trois scénarios de GIES (B1-A1B-A2) et cinq modèles de simulations climatiques.	122
Tableau 31. Evaluation des besoins en eau globaux futur de la zone d'étude en mm selon les trois scenarios climatiques (B1, A1B, A2) et cinq modèles climatiques.	124
Tableau32 : Variations mensuelle projetées (2050 et 2080) des paramètres climatiques selon les scenarios des changements climatiques estimes à partir du modèle GFDL-CM2.0.	126
Tableau33 : Variations mensuelles projetées (2050 et 2080) des paramètres climatiques selon les scenarios des changements climatiques estimes à partir du modèle CSIRO-MK3.0.	126
Tableau34 : Variations mensuelles projetées (2050 et 2080) des paramètres climatiques selon les scenarios des changements climatiques estimes à partir du modèle ECHAM5/MPI-OM.	127
Tableau35: Variations mensuelles projetées (2050 et 2080) des paramètres climatiques selon les scenarios des changements climatiques estimes à partir du modèle MRI-CGCM2.3.2.	128
Tableau36 : Variations mensuelles projetées (2050 et 2080) des paramètres climatiques selon les scenarios des changements climatiques estimes à partir du modèle UKMO-HADCM3.	129

Tableau 37: Données climatiques mensuelles moyennes interannuelles utilisées comme référence pour l'estimation d'ETo et des besoins en eau future de la zone d'étude (moyenne 1950-2002).	130
Tableau38: Variation des paramètres climatiques projetés 2050 selon le scénario GES B1 et selon les modèles de changements climatiques.	131
Tableau39 : Variation des paramètres climatiques projetés 2050 selon le scénario GES A1B et selon les modèles de changements climatiques.	132
Tableau40 : Variation des paramètres climatiques projetés 2050 selon le scénario GES A2 et selon les modèles de changements climatiques.	133
Tableau41 : Variation des paramètres climatiques projetés 2080 selon le scénario GES B1 et selon les modèles de changements climatiques.	134
Tableau42 : Variation des paramètres climatiques projetés 2080 selon le scénario GES A1B et selon les modèles de changements climatiques.	135
Tableau43: Variation des paramètres climatiques projetés(2080) selon le scénario G E S A2 et selon les modèles de changements climatiques.	136
Tableau44 : Variations mensuelles projetées (2050 et 2080) des paramètres climatiques sans changements climatiques estimés à partir du modèle DSSAT 4.5 durant le cycle végétatif de la culture de pomme de terre.	137
Tableau 45. Caractéristiques pédologiques des sols de la zone d'étude.	143
Tableau46. Effets des paramètres climatiques sur le stress hydrique et la croissance des pommes de terre déterminés par le modèle SUBSTOR.	148
Table 47.Paramètres climatiques, stress hydrique et rendements de la pomme de terre dans la zone d'étude pour les périodes projetées 2020-2050-2080.	150

LISTE DES FIGURES, DES SCHEMAS ET DES CARTES

- Figure 01 : Schéma représentatif du réseau d'irrigation de la parcelle	24
- Figure 02 : Stades du cycle végétatif observés de la tomate	31
- Figure 03 : Variation du coefficient Kc au cours du cycle végétatif de la tomate	32
- Figure 04. Longueur des plants de tomate en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation	43
- Figure 05. Nombre d'entre nœuds par plants de tomate en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation	44
- Figure 06. Nombre de bouquets formés par plants de tomates en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation	45
- Figure 07. Nombre de fleurs par plants de tomate en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation	46
Figure 08. Nombre de fruits produits par plants de tomate en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation	47
- Figure 09. Nombre d'entre nœuds par plants de poivron en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation	48
Figure 10. Longueur des plants de poivron en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation	49
Figure 11. Nombre de fleurs émises par plants de poivron en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation.	50
- Figure 12. Nombre de fruits produits par plants de poivron en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation	51
- Figure 13. Longueur des plants d'aubergine en fonction des débits des goutteurs sur deux périodes d'observation	52
- Figure 14. Nombre de fleurs par plants d'aubergine en fonction des débits des goutteurs sur deux périodes d'observation	53
- Figure 15. Nombre de fruits produits par plants d'aubergine en fonction des débits des goutteurs sur deux périodes d'observation	54
- Figure 16. Zone d'étude	64
- Figure 17 : Analyse de régression : ETo FAO en fonction d'ETo Blaney-Criddle (Annaba)	90
- Figure 18 : Analyse de régression : ETo FAO en fonction d'ETo Blaney-Criddle	90

(Guelma)	
- Figure 19 : Analyse de régression : ETo FAO en fonction d'ETo Priestley-Taylor (Annaba)	91
- Figure 20 : Analyse de régression : ETo FAO en fonction d'ETo Priestley-Taylor (Guelma)	91
-Figure 21: Analyse de régression ETo FAO en fonction d'ETo Hargreaves (Annaba)	92
- Figure 22 : Analyse de régression ETo FAO en fonction d'ETo Hargreaves (Guelma)	92
- Figure 23: Analyse de régression ETo FAO en fonction d'ETo Turc (Annaba)	93
- Figure 24. Analyse de régression : ETo FAO en fonction d'ETo Turc (Guelma)	93
Figure 25. Exemple de résultats de climate wizard	107
Carte 01. Zone d'étude	140
Figure 26. Variation journalières des précipitations et des températures minimales et maximales des stations d'Annaba et Guelma (2006-2011)	142
Figure27. Calibration du modèle entre les rendements simulés et observés	145
Figure 28. Poids optimal des tubercules simulés par le modèle	147
Figure 29. LAI simulé par le modèle durant le cycle végétatif	147
Figure 30. Validation du modèle entre les rendements simulés et observés pour l'année 2010	149
Figure31. Précipitations et températures maximales et minimales générées par weatherman pour les stations d'Annaba et Guelma	151

Liste des abréviations

AGID : Agence de Gestion de l'Irrigation et du Drainage

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

BNE : Bounamoussa Est

CIID : Commission International des Irrigations et de Drainage

CU : Coefficient d'uniformité d'arrosage

ET0 : Evapotranspiration de la Culture de Référence

ETP : Evapotranspiration potentielle

ETM : Evapotranspiration maximale

EAC: Exploitation Agricole Collective

ENPC : Entreprise Nationale des Plastiques et Caoutchoucs

EC(CE): Conductivité électrique

FAO : Food and Agriculture Organisation (organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)

GCM (MCG) : Modèles Climatiques Globaux

GEC : Gaz à Effets de Serre

GIEC : Groupe Intergouvernemental Experts sur l'évolution du Climat

Hmt: Hauteur manométrique totale

Kc: Coefficient cultural

NGA : Nivellement Général Algérien

OCDE : Organisation de Coopération et de développements économiques

ONID: Office National de l'Irrigation et du Drainage

PE : Polyéthylène

PNE : Plan National de l'Eau

Pmot : Puissance moteur

SAR: Sodium Adsorption Ration

USDA: United States Department of Agricultural

USCS : Unified Soil Classification System

SOMMAIRE

Remerciements	I
Dédicaces	II
Liste des tableaux	III
Liste des figures, cartes et schémas	IV
Liste des abréviations	V

INTRODUCTION GENERALE	1
-----------------------	---

Chapitre 1. LE FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

1. 1.Introduction	5
1.2. MATERIELS ET METHODES	5
1.2.1. Système goutte à goutte	5
1.2.1.1. Présentation de l'exploitation	5
1.2.1.1.1. Qualité de l'eau d'irrigation	6
1.2.1.1.2. Caractéristiques climatiques	7
1.2.1.1.3. Caractéristiques pédologiques	10
1.2.1.2. Présentation du matériel végétal	11
1.2.1.3. Le réseau d'irrigation goutte à goutte	12
1.2.1.4. Performance de fonctionnement du réseau goutte à goutte	16
1.2.1.4.1. Coefficient d'uniformité	17
1.2.1.4.2. Besoins en eau des cultures	18
1.2.1.4.3. Calcul des pertes de charge	19
1.2.1.4.4. Le calcul des pertes de charge au niveau de la rampe	21
1.2.2. Système d'irrigation par aspersion	21
1.2.2.1. Site d'expérimentation	21

1.2.2.2. Les caractéristiques pédologiques de la zone d'étude	21
1.2.2.3. Les ressources en eau d'irrigation de la zone	22
1.2.2.4. Fonctionnement du système d'irrigation	22
1.2.2.4.1-Description du réseau de distribution de l'eau	22
1.2.3. Méthodologie de travail	23
1.2.3.1. Irrigation par aspersion	23
1.2.3.1.1. Détermination de la dose apportée par les asperseurs	24
1.2.3.1.2. Pluviométrie des asperseurs	25
1.2.3.1.3. La dose d'irrigation	26
1.2.3.1.4. Besoin en eau de la culture de tomate industrielle	26
1.2.3.2. Présentation du matériel végétal	28
1.2.3.2.1. Installation de la culture	28
1.3. RESULTATS ET DISCUSSIONS	32
1.3.1. Système par aspersion	32
1.3.2. Système goutte à goutte.	33
1.3.2.1. Le calcul des paramètres de fonctionnement du réseau	33
1.3.2.1.1. Calcul des besoins en eau des cultures	33
1.3.2.1.2. La dose quotidienne	34
1.3.2.1.3. Fréquence d'arrosage	34
1.3.2.1.4. La pluviométrie	35
1.3.2.1.5. Le temps maximum de fonctionnement journalier	35
1.3.2.1.6. Calcul de la dose quotidienne	35
1.3.2.1.7. Fréquence d'arrosage	35
1.3.2.1.8. Le nombre de secteur	36
1.3.2.1.9. Le débit horaire	36
1.3.2.1.10. Calcul de l'uniformité des débits	36
1.3.2.2. Le calcul des pertes de charge au niveau de la rampe	37
1.3.2.3. Le calcul des pertes de charge au niveau des conduites	39
1.3.2.4. Calcul de la vitesse moyenne	40
1.3.2.5. Hauteur manométrique totale	40

1.3.3. Suivi agronomique de certaines cultures maraichères	41
1.3.3.1. Suivi agronomique de la culture de la tomate industrielle	42
1.3.3.2. Suivi agronomique de la culture de poivron	47
1.3.3.3. Suivi agronomique de la culture d'aubergine	51
1.4. CONCLUSION	55

Références bibliographiques

Annexes

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCULS DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

2.1. INTRODUCTION	62
2.2. MATERIELS ET METHODES	63
2.2.1. Zone de l'étude	63
2.2.1.1. Le périmètre de la Bounamoussa	64
2.2.1.2. Le périmètre de Guelma	65
2.2.2. Méthodologie de travail	65
2.2.2.1. Collecte des données	65
2.2.2.2. Formules et modèle de détermination de l'évapotranspiration de référence	67
2.2.2.2.1. Formule de Thornthwaite (1948)	69
2.2.2.2.2. Formule de Blaney-Criddle (1950)	70
2.2.2.2.3. Formule de Blaney-Criddle "Soils Conservation Service" (USDA, 1962)	70
2.2.2.2.4. Formule de Turc (1953)	71
2.2.2.2.5. Formule de Priestley-Taylor (Priestley & Taylor, 1972)	71
2.2.2.2.6. Formule de Hargreaves (1982)	72
2.2.2.2.7. Formule de Penman-Monteith FAO (Allen et al. 1998)	73
2.2.3. Importance de l'évapotranspiration de référence dans l'agronomie	76
2.2.3.1. Facteurs influant sur l'évapotranspiration d'une culture	76
2.2.4. Choix de la formule a utilisée	77
2.3. RESULTATS, ANALYSES ET INTERPRETATIONS	78
2.3.1. Variations de l'ET _o calculés par les cinq méthodes	78

2.3.1.1. Formule de Penman-Monteith FAO (Allen et al. 1998)	80
2.3.1.2. Formule de Blaney-Criddle	81
2.3.1.3. Formule de Priestley-Taylor	82
2.3.1.4. Formule de Hargreaves	82
2.3.1.5. Formule de Turc	82
2.3.2. Analyse statistique de la répartition d'ETo	83
2.4. Conclusion	94
Références bibliographiques	

Chapitre 3 : Impact des changements climatiques sur le fonctionnement des systèmes d'irrigation du périmètre Bounamoussa-Guelma dans le Nord Est de l'Algérie

3.1. INTRODUCTION	99
3.2. MATERIELS ET METHODES	99
3.2.1. Présentation de la zone d'étude	100
3.2.2. Les changements climatiques en Algérie	100
3.2.3. Besoin en eau des cultures	101
3.2.3.1. Besoin futurs annuels et mensuels en eau d'irrigation	100
3.2.4. Modèles de cultures	104
3.2.4.1. Cropwat 8.0	104
3.2.4.2. Le modèle DSSAT 4.5	105
3.2.4.3. Description de l'outil climatique	106
3.3. RESULTATS ET DISCUSSIONS	109
3.4. CONCLUSION	113
Références Bibliographiques	
Annexes	

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : étude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

4.1. INTRODUCTION	138
4.2. MATERIELS ET METHODES	139
4.2.1. Description de la zone d'étude	139

4.2.2. Description du modèle	141
4.2.3. Données nécessaires pour le fonctionnement du modèle	142
4.2.4. Calibration et Validation du modèle	144
4.2.5. Scenarios des changements climatiques	145
4.3. RESULTATS ET DISCUSSIONS	145
4.3.1. Evaluation du modèle	145
4.3.2. Scenarios des changements climatiques	149
4.4. CONCLUSION	152
Références Bibliographiques	
Annexes	
CONCLUSION GENERALE	156

INTRODUCTION GENERALE

L'irrigation des plaines d'Annaba, d'El Tarf et de Guelma a un caractère complémentaire du fait que les pluies couvrent une partie du déficit en eau due à l'évapotranspiration des cultures. La pluviométrie annuelle moyenne voisine de 600 mm couvre en partie les besoins des plantes. Toutefois en raison d'une répartition défavorable et irrégulière de pluies et d'un caractère d'averses, leur degré d'utilisation reste relativement faible.

Les études de diagnostic des périmètres de l'Algérie réalisées par l'Office National d'Irrigation et Drainage y compris Bounamoussa et Guelma ont montré que pendant la période allant d'octobre à mars, la quantité de pluies tombée atteint environ 80%, soit 475 mm, favorable essentiellement aux cultures hivernales telles que le blé, le seigle, l'orge, le bersim, la vesce avoine etc..... Par contre, pendant la période de croissance la pluviométrie est d'environ 140 mm en moyenne qui n'arrive pas à couvrir les besoins touchant les mois critiques de mai, juin, juillet, août et septembre pour lesquels la quantité de pluie tombée est négligeable (5 à 10 mm/mois).

Ceci amène à déduire que sans irrigation, seules les cultures résistantes aux stress hydriques peuvent subsister avec des rendements minimums non rentables (melons, céréales, etc...).

Ce dernier, par une bonne gestion des systèmes irrigués est appelé à produire plus avec moins d'eau et, la consommation moyenne à l'hectare est appelée à passer de 5000 m³/ha en l'an 2010 à 4500 m³/ha en l'an 2030 (ONID, 2009). Toutefois, le secteur irrigué souffre de plusieurs contraintes peu favorables pour lever de tels défis comme la faible intensification agricole, l'état des réseaux collectifs d'irrigation peu satisfaisant qui engendrent des pertes

INTRODUCTION GENERALE

importantes en eau ainsi que les réseaux tertiaires en terre dans de nombreux périmètres qui provoquent un gaspillage énorme lors du transport de l'eau. De ce fait, le suivi et l'évaluation du fonctionnement des périmètres publics irrigues méritent d'être entrepris dans une optique d'amélioration des performances hydrauliques et économiques des systèmes irrigues pour garantir une meilleure gestion de l'eau et un bon développement agricole.

Les performances d'un système d'irrigation sont généralement évaluées à l'aide de l'uniformité de l'application, calculée à partir du coefficient d'uniformité (CU) développé par Christiansen (1942) puis ajusté par Merriam et Keller (1978). Les résultats obtenus à partir de ce paramètre d'évaluation ont permis d'identifier trois causes possibles d'une répartition hétérogène lors d'une irrigation par aspersion : la vitesse du vent, le type de matériel et la technicité des agriculteurs irrigants en plus des paramètres hydrauliques tels que la pression et les variations de débit. Alors que pour l'irrigation goutte à goutte ce sont les pertes en tête du réseau qui perturbent le bon fonctionnement du système, pour le système par aspersion ce sont plutôt les chutes de pression et la diversité des asperseurs qui constituent les paramètres perturbateur du bon fonctionnement du système. Le suivi agronomique effectué durant une campagne sur des cultures maraichères, a confirmé la non homogénéité d'alimentation de ces cultures.

L'estimation des besoins en eau des cultures nécessite la détermination de l'évapotranspiration qui dépend des données climatiques et de la formule à adopter. La plus recommandée par les experts de la FAO est la formule de Penman Montheit (Allen et al, 1998). Cette formule a été comparée à cinq autres pour faciliter le choix de celle qui permet d'obtenir sensiblement le même résultat avec le minimum de données climatiques possible. Ces besoins en eau sont soumises aussi aux variations climatiques notamment les précipitations et les températures. Les résultats présentés dans le dernier rapport du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat créé en 1988 par

INTRODUCTION GENERALE

l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et le Programme pour l'Environnement des Nations Unies (PNUE)) (2007) suggèrent de fortes évolutions climatiques et un réchauffement important sur le nord de l'Afrique au cours du XXI^e siècle. Dans la première communication nationale de l'Algérie, une augmentation de température de 1.5°C et une chute des pluies d'environ 10% projetées en l'an 2020 ont été signalées.

Le domaine de l'eau serait, selon le PNUE, le premier à subir les impacts du changement climatique. Le paramètre qui semble jouer le plus un rôle important dans le volet offre est la modification des précipitations tandis que la température semblerait plus influencer la demande. Dans un contexte de paramètres climatiques modifiés il apparaît nécessaire de réviser les modes de gestions de l'eau tant au niveau des quantités disponibles (offre) que des besoins (demande). Jusqu'à présent, le changement climatique n'a pas été pris en compte dans le dimensionnement des infrastructures hydrauliques. Dans un contexte de variations des précipitations c'est-à-dire des apports d'eau, on devrait redimensionner ces infrastructures.

Plusieurs modèles de prédictions du climat sont utilisés à travers le monde (Chourghal et al, 2015 ; GIEC, 2007). L'absence de modèle régional pour le Maghreb nous a obligés d'utiliser les résultats des paramètres climatiques projetés 2050 et 2080 de l'approche «moyenne d'ensemble" du programme basé sur le Web "ClimateWizard" (climatewizard.org, 2009) nécessaire pour l'estimation des besoins en eaux des cultures futures en appliquant le modèle CROPWAT 8.0 (Smith, 1998). Le modèle DSSAT 4.5 (Hoogenboom et al, 2003) a été aussi testé pour générer les données climatiques futures et simuler les rendements projetés d'une culture stratégique qui est la pomme de terre.

Ce travail de thèse vise à déterminer l'impact des changements climatiques futurs sur un secteur vital de l'activité humaine qui est l'agriculture et précisément sur le fonctionnement

INTRODUCTION GENERALE

des systèmes d'irrigation adoptés dans les grands périmètres d'irrigation (Bounamoussa et Guelma) situés dans le Nord Est de l'Algérie. Il a été scindé en quatre chapitres qui traitent respectivement :

- le fonctionnement des systèmes d'irrigation dans la zone d'étude qui est en relation directe avec la performance du matériel et De la technique d'irrigation utilisée;
- la comparaison et la critique de l'application des formules de calculs de 'évapotranspiration de référence pour la zone d'étude pour en choisir la mieux adaptée ;
- l'impact des changements climatiques sur le fonctionnement des systèmes d'irrigation des périmètres de la zone d'étude, l'effet des paramètres les plus importants, sur les besoins en eau des cultures notamment la température et les précipitations;
- application du modèle DSSAT4.5 au cas de la culture de pomme de terre irriguée par aspersion : l'étude portera alors sur l'analyse de l'effet des variations climatiques sur les rendements de la variété *Désirée* de cette culture.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

1. INTRODUCTION

Un système d'irrigation non uniforme entraîne automatiquement des surplus et des insuffisances d'eau pour certaines plantes, d'où une croissance inégale et un gaspillage d'eau. Tout agriculteur doit connaître la quantité d'eau dont chaque zone a besoin et celle qu'elle reçoit effectivement. Il doit s'assurer que la distribution de l'eau à l'échelle parcellaire est uniforme.

L'objectif de ce travail est de procéder à un diagnostic de fonctionnement des deux systèmes d'irrigation les plus employés au niveau de la zone d'étude. Ce diagnostic est basé sur la détermination du coefficient d'uniformité, les pertes de charges des rampes et la variation de certains paramètres morphologiques de quelques cultures maraîchères en fonction des débits apportés. Le niveau de performance actuel du système est comparé aux normes d'arrosage permettant ainsi d'identifier les possibilités d'amélioration de la gestion de l'eau d'irrigation au niveau des périmètres concernés.

2. MATERIELS ET METHODES

Deux exploitations ont été choisies, l'une pratiquant l'aspersion et l'autre le goutte à goutte pour vérifier le fonctionnement des deux systèmes. Selon notre enquête on a remarqué que le système d'irrigation par aspersion est le plus dominant avec 80% suivi du gravitaire avec 19.9% et enfin du système goutte à goutte avec 0.1%. Le choix de la technique de goutte à goutte est dicté par la tendance actuelle des agriculteurs vers son utilisation.

2.1. SYSTEME GOUTTE A GOUTTE

2.1.1. Présentation de l'exploitation

L'exploitation se trouve au sein du périmètre irrigué de Bounamoussa et plus précisément dans le secteur d'irrigation BNE (BouNamoussa Est). Elle s'étend sur une surface de 17ha.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

La vocation principale de l'exploitation est la production des cultures maraichères sous serres. Ces cultures sont : la tomate, le poivron, l'aubergine, le melon et le fraisier.

L'irrigation de ces cultures est effectuée à partir d'une prise d'eau sur l'oued Bounamoussa limitant l'exploitation au sud et reçoit l'eau à partir des lâchés du barrage de cheffia situé à une distance d'environ 20km

2.1.2. Qualité de l'eau d'irrigation :

Sur la base des analyses effectuées par le laboratoire de l'ANRH, sur les eaux brutes du barrage de la Cheffia sans aucun traitement, la classification de ces eaux est faite selon les méthodes de Wilcox, (1954) et d'Ayers, (1976) (Doorenbos et Pruitt, 1977). Ainsi la méthode Wilcox, permet de classer les eaux selon deux paramètres ; la conductivité et le SAR ; le tableau 01 expose cette classification.

Tableau 01. Classification des eaux d'irrigation selon la méthode de Wilcox

Risques salins		Risques alcalins	
Classe C1	$CE \leq 250 \mu\text{s/cm} \rightarrow$ risque faible	Classe S1	$SAR \leq 10 \rightarrow$ risque faible
Classe C2	$250 < CE \leq 750 \mu\text{s/cm} \rightarrow$ risque moyen	Classe S2	$10 < SAR \leq 18 \rightarrow$ risque moyen
Classe C3	$750 < CE \leq 2250 \mu\text{s/cm} \rightarrow$ risque élevé	Classe S3	$18 < SAR \leq 26 \rightarrow$ risque élevé
Classe C4	$2250 < CE \leq 5000 \mu\text{s/cm} \rightarrow$ risque très élevé	Classe S4	$26 < SAR$ risque très élevé

Selon cette classification et les données du tableau 02, la qualité de l'eau de l'irrigation fluctue entre C2 et C3, c'est-à-dire que l'eau présente une teneur moyenne à élevée en sels ; tandis que le SAR est uniforme, l'eau appartient à la classe S1, ce qui signifie que le risque alcalin est faible.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

La méthode d'Ayers a été aussi utilisée. Cette méthode est basée sur la connaissance de plusieurs paramètres tels que : la salinité, la perméabilité, le SAR ajusté et des teneurs en Na^+ , Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- , HCO_3^- et le pH. En utilisant cette méthode trois catégories sont dégagées : pas de problèmes, problèmes croissants et problèmes graves. Les eaux utilisées pour l'irrigation du périmètre de Bounamoussa sont classées dans la catégorie problème croissants. La conductivité électrique de l'eau varie de 600 à 1200 $\mu\text{s}/\text{cm}$, ces valeurs sont relativement faibles et ne présentent aucun danger pour les cultures mises en place au niveau de l'exploitation. De même, la teneur de l'eau en sodium est tolérable pour les cultures et n'aura aucun effet nocif (Tableau 02).

2.1.1.1. Caractéristiques climatiques

Le périmètre de Bounamoussa connaît un climat tempéré humide ou la pluviométrie annuelle est de 600 à 700mm. L'humidité relative moyenne de l'air varie entre 70 à 80%, avec un minimum de 71% et un maximum de 82%. Le nombre d'heures d'insolation atteint le minimum en mois de Janvier avec 4,2 h/j et le maximum en mois de Juillet avec 11,8 h/j. La vitesse du vent est très uniforme, elle varie de 2,9 à 5,4m/s.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Tableau 02 : Résultats des analyses de l'eau lâchée par le barrage de Cheffia dans l'oued Bounamoussa pour l'irrigation pendant l'année 2006.

mois	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺⁺	SAR	CE	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	SAR	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	N0 ₃ ⁻	pH	WILCOX	AYERS
	mg/l	mg/l	mg/l		µs/cm			Adj						
1	160	19	98	1,95	1200	165	0,0	4,29	140	0,00	10,0	8,20	C3S1	A-P
2	120	28	86	1,84	1200	152	0,0	3,86	165	0,52	1,0	8,20	C3S1	A-P
3	104	24	66	1,52	1000	140	0,0	3,24	75	0,00	12,0	8,30	C3S1	A-P
4	64	38	54	1,6	800	139	0,0	2,98	70	0,01	2,00	8,30	C3S1	A-P
5	68	8	38	1,16	300	128	-	2,05	30	0,00	5,00	8,60	C2S1	A-P
6	48	14	58	1,89	600	122	6,0	3,35	85	0,00	4,00	8,50	C2S1	A-P
7	-	-	-	-	-	-	3,0	-	-	-	-	-	-	-
8	110	40	120	2,49	1300	139	-	5,23	185	0,00	0,00	8,20	-	-
9	120	38	66	1,34	1200	207	0,0	3,24	110	0,00	6,00	7,90	C3S1	A-P
10	84	24	75	1,88	900	140	0,0	3,82	115	0,00	0,00	8,40	C3S1	A-P

A-P= Apparition des Problèmes, 1 à 10= mois de janvier à octobre, - analyses non effectuées

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Tableau 03: Températures moyennes mensuelles (période 1982-2009).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T°C	10,7	11,0	12,5	15,5	18,7	22,2	25,2	25,2	23	19,7	15,1	11,9

Source : (ONM, 2010)

Les données du Tableau 03 montrent que la température la plus basse est observée le mois de Janvier (10,7°C) alors que la température la plus élevée est observée au mois de Juillet (25,2°C)

Tableau 04: Précipitations moyennes mensuelles (période 1982-2009).

mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pluie mm	104,1	80,7	92,5	60,5	35,9	12,5	2,7	9,5	48,6	54,0	66,5	118,6

Source : ONM, 2010

1 à 12 : représentent les mois de l'année

Selon les données du Tableau 04, la pluviométrie la plus élevée est enregistrée durant le mois de Décembre (118,6mm) tandis que la plus faible est observée pendant le mois de Juillet (2,7mm).

A partir de ces données on distingue deux saisons distinctes ; l'une humide marquée par une forte pluviosité et de faibles températures, allant du mois d'Octobre au mois d'Avril, et l'autre sèche et chaude avec de fortes températures atteignant leur maximum au mois de juillet, et qui débute au mois de Mai jusqu'au mois de Septembre. L'irrigation durant cette période s'impose.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

2.1.1.2. Caractéristiques pédologiques

Des analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire agronomique de FERTIAL sur un échantillon prélevé sur une profondeur de 30cm dans la parcelle d'expérimentation. Les résultats obtenus sont mentionnés dans le Tableau suivant.

Tableau 05 : Caractéristiques chimiques du sol de l'exploitation

Paramètres chimiques			T.Faible	Faible	Normal	Elevé	T. élevé
Conductivité (1/5ms/cm)	0,18	Non salé	-----				
pH eau (1/2,5)	8,15	Alcalin	-----				
C/N	7,4	Faible	-----				
Calcaire total	0,23%	2300ppm	-----				
Matière organique	1,54%	15400ppm	-----				
Azote total	0,12%	1200ppm	-----				
Phosphore assimilable (Olsen)		27ppm	-----				
Potassium assimilable	0,82 mé/100gr	321,1ppm	-----				
Magnésium échangeable	1,53 mé/100gr	185,89ppm	-----				
Calcium échangeable	29,29 mé/100gr	5872,64ppm	-----				
Sodium échangeable	0,44 mé/100gr	101,2ppm	-----				

Source : (Fertial, 2008)

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Les analyses de la granulométrie donnent pour l'Argile = 40% ; Limon = 32% et le Sable = 28%. A partir de ces résultats mentionnés ci-dessus, on remarque que :

- la texture du sol est argileuse, non salée et que le pH est alcalin atteignant 8,15.
- Le rapport C/N indique une minéralisation rapide de la matière organique du sol.
- Le taux de calcaire total est jugé très faible.
- Le taux de matière organique dans le sol reste insuffisant, cela se répercute négativement sur ces caractéristiques physico-chimiques.
- La teneur en phosphore assimilable, en potassium et en magnésium échangeable est jugée faible.

2.1.2. Présentation du matériel végétal

La parcelle d'expérimentation s'étend sur une surface de 0,92ha, elle est occupée par les cultures maraichères sous serres. Les cultures pratiquées sont :

- La tomate : à croissance indéterminée, les variétés utilisées sont : Mondial ; d'origine Hollandaise et Elcudia d'origine Française.
- Le fraisier : avec la variété d'origine Espagnole : Camarosa.
- L'aubergine : les variétés utilisées sont : Galine et IRM Glose, toutes les deux d'origine Française.
- Le melon : les variétés cultivées sont : Star+, d'origine Hollandaise et Gold mine d'origine Américaine.
- Le poivron : avec la variété EstolaF1 d'origine Hollandaise.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

La parcelle comporte 23 modules de serres, divisés en 03 rangées parallèles qui sont orientés vers le Nord-Sud, cette orientation est très intéressante, car elle permet aux végétaux se trouvant à l'intérieur des serres de bénéficier du maximum d'énergie solaire et d'insolation. Les modules de serre sont des tunnels constitués par une armature métallique galvanisée présentant les dimensions suivantes : Longueur : 55m ; Largeur : 8m ; hauteur : 3m. Chaque serre occupe une surface de 400m². Elles sont recouvertes d'un film plastique simple en PE, stabilisé anti-ultra-violet, portant la marque : ENPC Sétif. Le film présente une largeur de 4 m et une épaisseur de 180 micromètre, il est relativement résistant avec une longévité de 3 ans. Il faut signaler que la parcelle est protégée des vents dominants grâce à un brise-vent constitué d'une rangée semi-dense de prunier (*Prunus Domestica*), qui attire beaucoup d'abeilles pendant la saison de floraison.

2.1.3. Le réseau d'irrigation goutte à goutte

Au niveau de l'exploitation collective des frères Boudjemâa, le réseau d'irrigation goutte à goutte comporte de l'amont à l'aval les composants suivants :

➤ **Le point d'eau**

Au niveau de l'oued, une crépine immergée assure la prise de l'eau. L'eau est ensuite acheminée vers une électropompe placée sur la berge gauche de l'oued à travers la conduite d'aspiration. La pompe se trouve à une hauteur d'environ 3 à 4 mètres par rapport au plan d'eau. Elle est de type 100 NVA 65-10, avec un numéro de fabrication de 258 00 16.

La plaque signalétique de la pompe indique qu'elle véhicule un débit de 57,6 m³/h et une hauteur manométrique totale de 20 m. La pompe exécute 1450 tours/min avec une puissance du moteur P_{mot} de 7,5Kw.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

L'eau pompée arrive dans un bassin qui sert de décantation à travers une conduite de refoulement en PVC. Le volume du bassin est de 63 m³ avec 90 cm de profondeur, 10 m de longueur, 7 m de largeur. Le bassin est utilisé pour l'emmagasinement de l'eau et pour remédier aux problèmes liés à la présence de matière en suspension et du fer soluble dans l'eau. Le bassin est nettoyé fréquemment avec de l'eau de Javel afin d'éliminer les précipités de fer et les éléments sédimentés au fond du bassin.

➤ Une électropompe :

Elle est placée à coté du bassin de décantation, afin de pomper l'eau du bassin à l'intérieur vers la station de tête. Le moteur porte la marque Algérienne ENEL et un numéro de série de 91-246-15 IP54 CI ISOL. Le moteur effectue 2940 tours/min avec une puissance de 18,5 Kw. la pompe est de type 00-NVA-230 et porte un numéro de fabrication de 348 00 72. La plaque signalétique de la pompe indique un débit $Q=47$ m³/heure et une hauteur manométrique totale H_{tm} de 34 m. L'eau est pompée du bassin jusqu'à la station en passant par une conduite de refoulement en PVC.

➤ La station de tête :

La station de tête est composée de :

- Les filtres à sable

Ils portent la marque LAMA et possèdent chacun une capacité de filtration de 35 m³/heure. Les filtres à sable sont connus pour leur efficacité de filtration contre les particules organiques et minérales de tailles supérieures à 110 micromètres. L'épaisseur du sable à l'intérieur du filtre varie de 40 à 60cm, généralement les particules sont retenues dans les 10 premiers centimètres. Deux manomètres sont placés respectivement à l'amont et à l'aval de chaque filtre. La pression maximale de filtration est de 4 bars. A l'aide des manomètres, on contrôle la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre, si celle-ci est supérieure

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

à 0,3 bars il faut procéder au nettoyage du filtre. Le nettoyage du filtre à sable se fait par contre-lavage déclenché manuellement ou automatiquement, permettant d'inverser le sens d'écoulement de l'eau grâce à un jeu de vanne et d'évacuer ainsi les impuretés. L'agriculteur procède au nettoyage des filtres avant et après le déclenchement de l'irrigation lorsque l'eau de l'oued est de bonne qualité (généralement l'hiver) mais quand celle-ci est médiocre (surtout en été), les filtres sont nettoyés jusqu'à quatre fois pendant l'irrigation.

- Les filtres à tamis

Ils portent également la marque LAMA et ont aussi une capacité de filtration de 35m³/heure. Le cylindre est constitué d'une toile filtrante en matière plastique, et l'eau est filtrée en circulant de l'intérieur vers l'extérieur du cylindre. Les filtres à tamis sont placés derrière les filtres à sable, car ils assurent une filtration de complément et arrêtent les particules fines qui ont échappés à la filtration précédente. Comme pour le filtre à sable, le filtre à tamis possède 02 manomètres, celui de l'amont est celui de l'aval du filtre à sable et un à l'aval du filtre.

- Une cuve

Il s'agit du bac de préparation de la solution nutritive concentrée dite solution mère. La cuve est en matière plastique et porte la marque AGROS, il est surélevé du sol d'environ 40 cm et présente une capacité de 2000 litres. Généralement ce sont seulement 370 litres de solution qui sont préparés pour les besoins des cultures. C'est au niveau de la cuve où les engrais sont dissous dans l'eau, la cuve comporte un agitateur qui permet une dissolution facile et efficace des engrais. Seul les engrais compatibles peuvent être mélangés ensemble dans la cuve. La cuve doit être nettoyée à l'eau claire après chaque préparation de solution nutritive.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

- La pompe doseuse

Elle pompe la solution fertilisante de la cuve pour l'injecter dans la conduite principale. Elle est installée après un filtre de sécurité qui empêche les précipités d'engrais de passer vers le réseau. Elle est montée en dérivation sur la conduite principale. La fertigation est réalisée à raison d'une fois par semaine.

- Les accessoires de la station de tête

La station est dotée d'un clapet anti-retour et d'une soupape de décharge.

➤ **Le réseau de distribution**

- La conduite principale

C'est la conduite qui transporte le débit total du réseau, elle est en PE. Elle part de la station de tête et se termine par une vanne dans la parcelle.

- Les conduites secondaires

Trois conduites en PE partent de la conduite principale, chacune d'elles est posée parallèlement à une rangée de serre, ces conduites sont contrôlées par une électrovanne

- Les conduites tertiaires (les porte-rampes)

Elles partent des conduites secondaires et vont tout le long de la largeur des serres, elles portent généralement entre 7 à 8 rampes selon les cultures. Beaucoup de fuites sont remarquées au niveau des jonctions ou raccords entre les porte-rampes et les conduites secondaires. Chaque conduite tertiaire est contrôlée par une vanne qui permet de démarrer l'irrigation pour un module de serre sans pour autant la déclencher pour les autres modules.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

- Les rampes

Ce sont des conduites à faible diamètre, qui sont disposées le long des rangées des cultures. Elles portent les goutteurs à des distances variant entre 40 et 120 cm. Elles sont espacées entre elles de 85 à 100 cm et ont une longueur de 50m. Elles aussi sont en PE. Le diamètre des différentes conduites qui constituent le réseau sont mentionnés dans le Tableau 06.

Tableau 06. Diamètres des différentes canalisations.

Les conduites	Diamètre (mm)
La conduite de refoulement	110
La conduite principale	90
Les conduites secondaires	60
Les conduites tertiaires (porte-rampes)	40
Les rampes	16

- Les goutteurs

Il s'agit de goutteurs intégrés, non auto régulent et donc moins sensibles à l'arrachage et au bouchage et ont une durée de vie plus longue. Ils portent la marque : GR16 et présentent les caractéristiques suivantes :

- Débit : 4l/h, Pression de service : 1bar, Circuit : Type : chicane et Type classique : X=

Perte de charge tolérée :

Ces goutteurs ont deux sorties avec 5 cm de distance entre les deux orifices.

2.1.4. Performance de fonctionnement du réseau goutte à goutte

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

2.1.4.1. Coefficient d'uniformité

Afin d'apprécier l'homogénéité des débits des goutteurs, on doit déterminer le coefficient d'uniformité du réseau. Pour cela, on procède de la manière suivante :

Au niveau de la parcelle, on place un récipient gradué en millimètre sous les goutteurs et on mesure le volume d'eau livré par ceux-ci par unité de temps (généralement par minutes) grâce à un chronomètre. Les mesures sont faites sur au moins 16 goutteurs soit 4 goutteurs par rampe, le premier et le dernier et ceux situés au 1/3 et au 2/3 sur la longueur de la rampe et sur au moins 4 rampes (la première et la dernière et celles situées au 1/3 et au 2/3 sur la longueur du porte-rampe). Après avoir pris les mesures, on ramène le débit des goutteurs à litre /heure en divisant les débits par 1000 et en les multipliant par 60.

Ensuite, on calcule le débit moyen des 16 goutteurs (q) :

$$q = \text{la somme des 16 mesures} / 16 \quad (1)$$

Et le débit moyen des quatre goutteurs ayant le débit le plus faible (q_{\min}) :

$$q_{\min} = \text{la somme des 4 valeurs des débits les plus faibles} / 4$$

Enfin, on déduit le coefficient d'uniformité grâce à la formule suivante :

$$CU = (q_{\min} / q) \cdot 100 \quad (2)$$

Selon la valeur du CU, on apprécie l'état du réseau (Merriam et Keller, 1978):

- CU est supérieur à 90%, il y a une bonne filtration et donc pas d'intervention sur le réseau.
- CU est compris entre 90 et 70%, le réseau nécessite un nettoyage.
- CU est inférieur à 70%, on doit chercher les causes du colmatage et les éliminer.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

2.1.4.2. Besoins en eau des cultures

Les besoins en eau des cultures correspondent à la quantité d'eau maximale dont la culture a besoin pour une croissance optimale et est définie par le produit de l'ETP et du K_c . Ce besoin est appelé Evapotranspiration maximale (ETM), exprimée en mm.

$$ETM = ETP \times K_c \times r \quad (3)$$

ETP : l'évapotranspiration potentielle exprimée en mm/jour.

K_c : le coefficient cultural.

r : est un taux de rationnement égal ou inférieur à 1, il est fonction de la technique d'apport, sa détermination est évaluée expérimentalement «pour cultures maraichères sous serre $r = 0,75$ ».

Le taux de rationnement r est lié à la technique de micro-irrigation. En pratique il varie de 0,7 à 0,9.

L'ETP sous serre est fonction d'un seul paramètre climatologique, il s'agit du rayonnement global. Le rayonnement global peut être défini comme étant l'énergie rayonnante totale du soleil qui atteint une surface horizontale à la surface de la terre au cours d'une unité de temps précise. Pour l'estimation de l'ETPs, on a utilisé la méthode de pilotage de l'irrigation par le rayonnement global. Cette méthode a fait l'objet d'une étude de l'office régional de mise en valeur agricole du Sous Massa au Maroc (Bellouch et al, 2008) et a donné de très bons résultats d'où son adoption pour notre cas.

L'ETPs est donné par la formule suivante (Bellouch et al, 2008):

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

ETPs = $R_g \times t$, Avec :

$$t = (0,67 \times K_p / L) \quad (4)$$

R_g : rayonnement global en (Joules/cm²) mesuré par solarimètre,

0,67 : est l'énergie active pour l'évapotranspiration par rapport au total reçu (environ 67%).

K_p : est le coefficient de transformation de la paroi (exemple pour un plastique simple ce K_p est de 70%, pour une double paroi ce K_p est de 65%),

L : est égale à 251 joules/cm² correspond à la chaleur latente de vaporisation de l'eau.

2.1.4.3. Calcul des pertes de charge

Le calcul des pertes de charge est fondamental en mécanique des fluides et en hydraulique. Son utilisation dans le dimensionnement des conduites et des réseaux est très sollicitée (Zella et Smadhi, 2005). Ce calcul est beaucoup plus important dans le dimensionnement d'un réseau d'irrigation goutte à goutte car celui-ci est très sensible aux faibles variations de pression et de débit. Il faut noter que la perte de charge est définie comme étant la chute de pression résultant du passage d'un fluide à travers un corps poreux ou par frottement le long d'une paroi.

Différentes relations ont été établies pour calculer avec précision les pertes de charges pour le dimensionnement d'un réseau d'irrigation. Celles utilisées pour les réseaux de micro-irrigation sont :

La relation de Christiansen :

$$\Sigma \Delta H = 2,8 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 / D^5 \cdot L \quad (5)$$

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

La relation utilisée en France :

$$\Sigma\Delta H = K \cdot Q^{1,75} / 2,75 \cdot L \quad (6) \quad \text{avec : } K = 8 \cdot 10^{-4} / D^{4,75}$$

La relation utilisée en Pologne :

$$\Sigma\Delta H = 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 / D^5 \cdot L \quad (7)$$

La relation de Tison :

$$J = 1/2,75 \times 8 \cdot 10^{-4} \times Q^{1,75} \times D^{-4,75} \times L \quad (8)$$

Toutes ces relations peuvent s'écrire sous une forme commune de :

$$\Sigma\Delta H = K \times Q^x / D^m \times L \quad (9)$$

Elles permettent de déterminer la somme des pertes de charge linéaire en régime turbulent dans le branchement. En application, elles donnent environ les mêmes résultats.

A partir de la forme commune des relations, on constate que les pertes de charge dépendent des éléments suivants :

- la perte de charge est directement proportionnelle à la longueur de la canalisation ; elle augmente quand la longueur de la canalisation augmente.

- quand le diamètre diminue, la perte de charge augmente considérablement, le liquide a plus de difficulté à s'écouler donc les frottements augmenteront pour un débit identique.

- plus le débit augmente (vitesse plus élevée), plus les faces de frottements augmentent pour un diamètre identique.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Pour diminuer l'ensemble des pertes de charge dans une canalisation afin d'assurer plus d'homogénéité de répartition de l'eau et de diminuer les couts de fonctionnement dues aux pompes ; il faut songer à diminuer la longueur des canalisations, réduire le nombre d'accidents sur la canalisation, diminuer le débit de circulation et augmenter le diamètre des canalisations (Anonyme, 2004).

D'autres paramètres influent aussi sur l'importance des pertes de charge ; il s'agit de la rugosité des conduites et de la viscosité du liquide c'est-à-dire de la température de l'eau.

2.1.4.4. Le calcul des pertes de charge au niveau de la rampe

Afin de réussir le dimensionnement du réseau de micro-irrigation et de l'opération d'irrigation, il est impératif de calculer les pertes de charge dans les rampes de distribution.

2.2. Système d'irrigation par aspersion

2.2.1. Site d'expérimentation

Notre étude s'est déroulée sur la parcelle N°161 du secteur Boukhmira-Bouhalallah (BKA) du périmètre irrigué de Bounamoussa. Les coordonnées sont mentionnées dans le tableau 07. La parcelle a une superficie de huit hectares (336m*240m). La culture pratiquée sur cette parcelle est la tomate, variété Nanhems 6108 d'origine hollandaise.

2.2.2. Les caractéristiques pédologiques de la zone d'étude

C'est un secteur caractérisé par un sol lourd de type limoneux à limono-argileux

2.2.3. Les ressources en eau d'irrigation de la zone

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Notre parcelle faisant parti du secteur Boukhmira-Bouhllalah, donc dans la zone des secteurs de bas service du périmètre de Bounamoussa, elle est alimentée par le réservoir de brise -charge située à 85 NGA. Ce dernier est rempli par la station du pompage principale de Bounamoussa à partir des lâchers du barrage de Cheffia dans l'oued Bounamoussa.

2.2.4. Fonctionnement du système d'irrigation

2.2.4.1-Description du réseau de distribution de l'eau

- **La borne d'irrigation**

L'eau destinée à l'irrigation de notre parcelle d'étude provient de la borne N°161 du secteur Boukhmira-Bouhllalah. La borne se situe exactement au niveau de la parcelle ce qui exclut tout équipement relatif au transport externe de l'eau jusqu' à la parcelle (canalisation d'approche). Et comme le réseau du périmètre de Bounamoussa est gravitaire, et que l'agriculteur ne possède pas de château d'eau pour pouvoir créer une pression au niveau des asperseurs, il utilise des moteurs pour pouvoir refouler l'eau avec une pression qui servira à arroser la culture. Il utilise deux moteurs identiques de type 00-NVA-230 qui refoulent un débit de 10,67l/s. La technique d'irrigation utilisée est l'aspersion avec couverture partielle.

- **Equipements à la parcelle**

- **Les portes rampes**

Nous avons deux portes rampes alimentés chacune par un moteur qui refoule l'eau à partir de la borne N°161 avec un débit en tête de 10,67l/s.

- **Les rampes**

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

La parcelle est équipée par deux conduites rampes superficielles, démontables à accouplement rapides. Elles ont un diamètre de 50mm

- Deux rampes de longueur 168m portant chacune 14 asperseurs.
- Le dispositif de l'installation est 12m× 12m : donc il y a 12m entre les postes et 12m entre les asperseurs
- **Les asperseurs** Il y a une hétérogénéité des asperseurs sur les rampes, nous avons dénombrés les types suivants : VYR 35 : rotatif à double buse ayant une pression de 2,4 bars, ANABIB A60, RIEGOS RC160 : arroseurs rotatifs à doubles buses (diamètre ; 4,2mm ; 2,4m) et IRRITOL CR 500. La portée de jet de ces asperseurs se situe entre 9,5 à 11 m.

Pour irriguer la totalité de la parcelle et effectuer un arrosage complet, l'ensemble des rampes occupe plusieurs postes successifs avec déplacement des rampes poste par poste.

2.3. Méthodologie de travail

2.3.1. Irrigation par aspersion

Notre méthodologie de travail repose sur la détermination des besoins en eau de la culture de tomate en utilisant le logiciel CROPWAT (édité par la FAO) et la détermination du coefficient d'uniformité de l'arrosage par aspersion en procédant la façon suivante.

Pour irriguer la totalité de la parcelle et effectuer un arrosage complet, l'ensemble des rampes occupe plusieurs postes successifs avec déplacement des rampes poste par poste. Dans notre cas chaque rampe occupe 20 postes pour un tour complet qui dure 5 jours à raison de 4 poste par jour. Les canalisations d'approche, par contre, ne sont pas déplacées, elles sont semi-fixes (Figure 01).

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

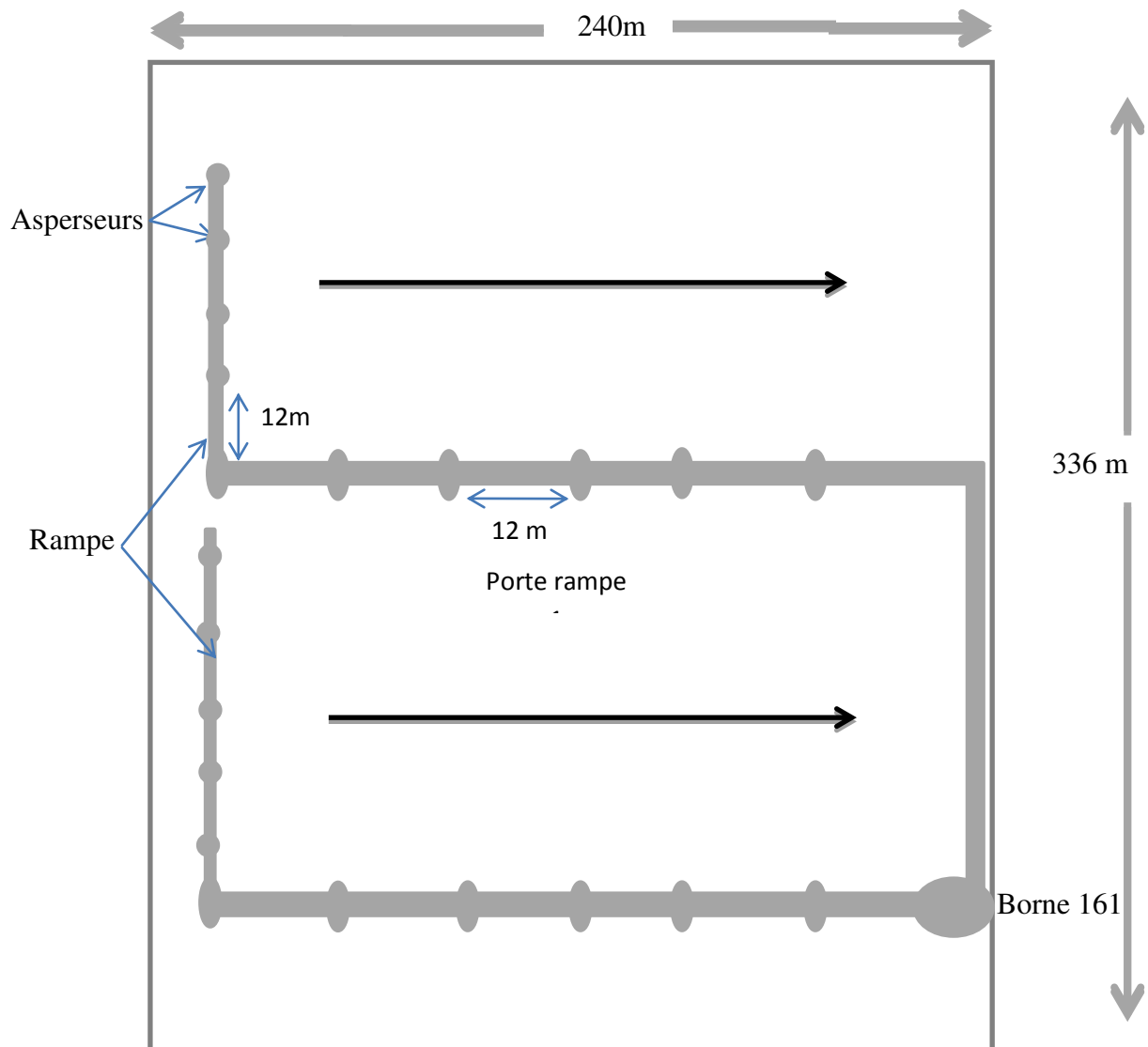


Figure 01 : Schéma représentatif du réseau d'irrigation de la parcelle

2.3.1.1. Détermination de la dose apportée par les aspersion

Pour estimer la dose apportée par chaque irrigation, nous avons mesuré la pluviométrie horaire d'un certain nombre d'aspersion à chaque fois que l'irrigation ait lieu. Cela nous permettra aussi de calculer le coefficient d'uniformité par la règle de Christiansen pour

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

estimer l'homogénéité de l'arrosage. La formule utilisée pour la détermination de ce coefficient est la suivante

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum(P_i - P_m)}{n \times P_m} \right) \quad (9)$$

- P_i = pluviométrie correspondant à chaque pluviomètre.
- P_m = pluviométrie moyenne
- N = nombre de pluviomètre

Le CUC varie de 100 pour une uniformité parfaite, à 55-60 pour une mauvaise uniformité. Le CUC recherché devant se situer autour de 85, tout en tenant compte de l'influence néfaste du vent.

2.3.1.2. Pluviométrie des asperseurs

Afin de mesurer la pluviométrie horaire des asperseurs au niveau de la parcelle, nous avons utilisé 10 récipients comme pluviomètre dont la section est de 0,0307m². Nous avons effectué deux essais, une fois on place les récipients à 4 m et une autre fois à 6 m par rapport aux asperseurs.

La pluviométrie horaire des asperseurs est calculée par le rapport entre le volume recueilli dans le récipient et la durée d'arrosage. Les mesures ont été effectuées à chaque irrigation pour pouvoir déterminer la dose réelle apportée à la culture pendant son cycle.

La pluviométrie est finalement le résultat du débit mesuré divisé par la surface irriguée.

$$P = Q/S \quad (10)$$

Avec : P : pluviométrie horaire en mm/h

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

-Q : débit mesuré (mm³/h)

-S : surface du récipient (mm²)

2.3.1.3. La dose d'irrigation

On détermine la dose apportée par ce système durant le cycle de la tomate en mesurant chaque apport par irrigation par le résultat du produit : pluviométrie horaire du système × durée de fonctionnement.

$$D = P \times T \quad (11)$$

Avec : - D : Dose d'irrigation (mm)

-P: pluviométrie horaire du système (mm/h)

-T : durée de fonctionnement du système (h)

2.3.1.4. Besoin en eau de la culture de tomate industrielle

Le modèle CROPWAT 8.0 est un logiciel d'aide à la gestion de l'irrigation. Il permet le calcul des besoins en eau des cultures et des quantités d'eau d'irrigation ; basés sur les Bulletins d'irrigation et de drainage FAO-24 et 56. Il offre également la possibilité de développer un calendrier d'irrigation en fonction de diverses pratiques culturales, et d'évaluer les effets du manque d'eau sur les cultures et l'efficacité de différentes pratiques d'irrigation.

L'entrée des données climatiques, le nom de la station et ses coordonnées géographiques dans le logiciel nous donne les résultats du calcul automatique de l'ETo et la pluie efficace (Tableau 06).

- ✓ les paramètres pédologiques permettront d'estimer la réserve en eau utile du sol ;

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

L'entrée des paramètres pédologiques à savoir l'humidité à la capacité au champ et au point de flétrissement ainsi que la profondeur racinaire. Le modèle CROPWAT estimera les réserves utiles (RU) et des réserves facilement utilisables (RFU).

- ✓ les données culturales préciseront la réserve en eau facilement utilisable par la plante.

L'entrée des données relatives à la culture : date de semis; durée du cycle, les différents stades et leur coefficient cultural.

Les besoins en eau et calendrier d'irrigation seront automatiquement donnés suivant les options choisies.

Tableau 07 : Données climatiques utilisées par le CROPWAT.

mois	T° _{Min}	T° _{Max}	Humidité	Vent	Insolation	Pluie
	°C	°C	%	m/s	heures	mm
Janvier	7,0	16,3	80	3,7	4,8	97,0
février	7,0	16,8	76	3,9	5,2	74,5
Mars	7,9	18,4	76	3,8	7,0	67,5
Avril	9,7	20,4	79	3,6	7,3	57,2
Mai	12,7	23,8	77	3,5	9,1	37,1
Juin	16,2	27,2	75	3,6	10,6	13,8
Juillet	18,2	30,7	72	4,1	12,0	3,0
Août	19,9	31,4	73	3,9	11,0	9,0
Septembre	17,9	29,2	75	3,6	8,1	37,8
Octobre	14,5	25,6	77	3,5	7,1	65,2
Novembre	10,6	21,1	75	3,4	6,0	84,8
Décembre	7,9	17,6	78	3,6	4,6	106,6

En considérant les données pédologiques du secteur, les caractéristiques générales de ce sol données par le modèle CROPWAT sont :

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

- Eau disponible totale (CC-Pf) est de 60mm/mètre ;
- Taux d'infiltration maximum de l'eau 40mm/jour ;
- Profondeur maximum d'enracinement 900cm ;
- Epuisement de la teneur en eau initial 0% ;
- Eau disponible initial 60mm/mètre.

2.3.2. Présentation du matériel végétal

La culture utilisée durant notre expérimentation est « la tomate industrielle » variété « Nanhems 6108 » d'origine Hollandaise. C'est une variété qui présente une bonne vigueur, une bonne qualité du fruit et une résistance acceptable aux principales maladies et nématodes. Dans les terres favorables recevant normalement la fumure organique, la tomate vient en tête d'assolement. La rotation normale ne doit faire revenir la culture de la tomate sur la même parcelle que tous les quatre ans. (I.T.C.M.I, 2012)

2.3.2.1. Installation de la culture

▪ Préparation du sol

Les façons culturales effectuées sur notre parcelle d'expérimentation est le labour qui a été fait au mois de septembre à une profondeur de 40cm. La machine agricole utilisée est la charrue à soc. Ainsi lors de la préparation du lit de semences par la reprise superficielle la herse a été utilisée. L'objectif était d'obtenir, au moment de la mise en place de culture une terre profondément ameublie et aérée.

▪ Fertilisation de fond

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Cette dernière a été effectuée pendant la reprise superficielle avant le semis. Le composé apporté est le NPK (15.15.15) à une dose de 08Qx/ha. Et à la reprise du plant pour la couverture on a apporté l'ammonitrate à 33,5% équivalent à de 1Ql/ha.

▪ **Date de semis et plantation**

Le semis a été fait le 09 mars. Elevée et entretenue dans la serre jusqu'au moment du repiquage. Le semis a été effectué sur des couches désinfectées, en lignes espacées de 10 cm et 3cm entre plants. Le repiquage sur notre parcelle d'étude a été fait manuellement du 06 au 15 Avril avec une estimation de 22000 plants/Ha. Soit 1,20 m entre les lignes et 35cm entre plants

▪ **Entretien de la culture**

Durant son cycle, la culture a subi divers entretient pour favoriser une bonne production en quantité et en qualité qui répondent aux normes. Les opérations suivantes ont été effectuées :

▪ **Le désherbage**

Le traitement chimique à base de « sencor » est réalisé 15 jours après repiquage à la dose de 600 g/Ha. Et durant le reste du temps, elle effectuait à la main à chaque fois que c'était nécessaire.

▪ **Le scarifiage**

Réalisé entre les lignes, sans pour cela briser le film du « sencor » entre les plants, afin d'assurer l'aération et la suppression des fissures du sol provoquées par la sécheresse.

▪ **Traitements phytosanitaires**

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Des traitements préventifs et curatifs ont été effectués durant tout le cycle végétatif de la tomate afin de protéger la culture. Les différents traitements effectués sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 08. Traitements phytosanitaires effectués.

parasite	Produit et dose appliquée	Méthode de lutte
Mildiou Alternariose	-organocuprique -Manèbe 80% -propinèbe	Traitement préventif
Oïdium	-soufre mouillable -soufre 20kg/ha	Pour stimuler la végétation
Noctuelle puceron	-traitement à base de cyperméthrine.	Dès l'apparition des chenilles.

▪ **Durée du cycle végétatif et coefficient cultural(Kc) choisis**

La durée des différents stades du cycle végétatif de la culture ont été déterminés sur terrain.

Les résultats obtenus sont (Figure 02) :

- Stade initial : So du semis à la plantation qui dure 30 jours
- Stades de croissance : S1 plantation à la floraison qui dure 42 jours (plus de 50% des plants ont atteint le stade de floraison)
- Stade de mi- saison : S2 qui dure 50 jours (plus de 50% des plants ont atteint le stade de formation de fruits)
- Stade d'arrière-saison : S3 qui dure 30 jours (plus de 50% des plants ont atteint le stade de maturation)

La durée totale du cycle est de 152 jours. Comparée à celle fournie par la FAO qui est de 145, elle est légèrement supérieure de 5 jours.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Semis

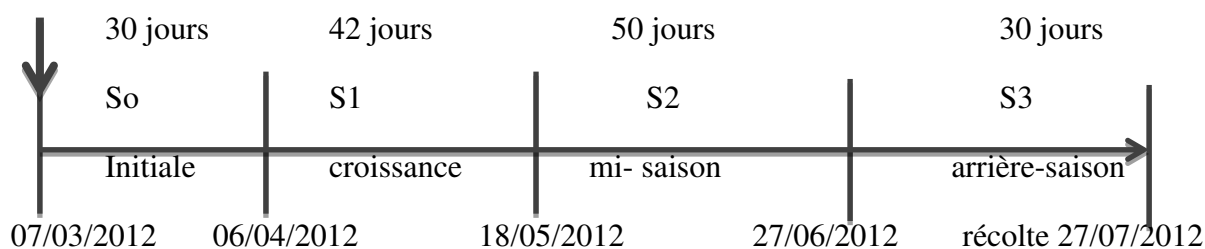


Figure 02 : Stades du cycle végétatif de la tomate observés pendant l'année de suivi expérimental à El Tarf

- **Evolution de coefficient cultural de la tomate**

Le coefficient cultural, K_c , est utilisé pour calculer l'évapotranspiration maximale de la culture. Il est fonction de la plante et de son état végétatif.

Pour notre travail, faute des valeurs exactes, nous avons utilisé celle recommandées par la FAO. Les valeurs ont été données par décade tout au long du cycle de la culture, comme le montre le Tableau 09 et Figure 03. Nous remarquons que les valeurs étaient constantes (0,6) durant le stade initial, ensuite elles augmentent durant le stade de croissance et pendant la première décade du stade de mi- saison où elle reste constantes jusqu'à la première décade du stade arrière-saison à 1.17 et chutent enfin à 0,89 à la fin de ce dernier.

Tableau 09 : les valeurs du K_c de la tomate en fonction de son évolution

stade initial			stade de croissance				stade de mi- saison				stade d'arrière-saison				
0,6	0,6	0,6	0,62	0,75	0,89	1,04	1,16	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,1	0,99	0,89

Source : FAO. 1999

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

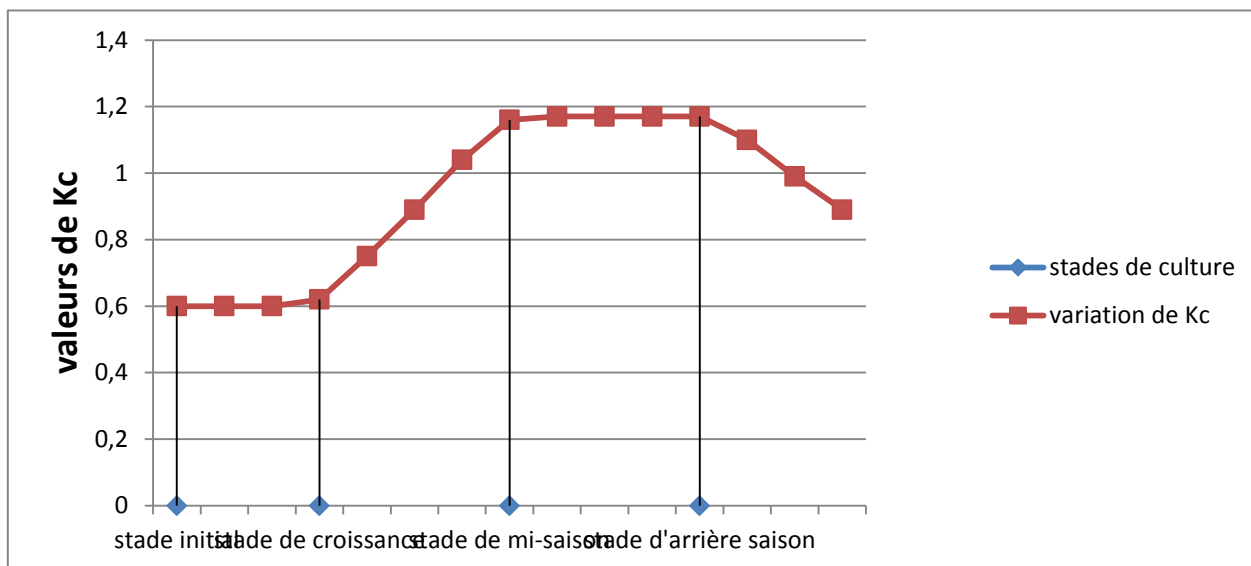


Figure 03 : Variation du coefficient Kc au cours du cycle végétatif de la tomate

1.3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

1.3.1. Système par aspersion

Les résultats de calculs des doses réelles apportées pendant la campagne d'irrigation sont consignés dans le tableau 10. Les doses d'irrigation ayant été calculées à partir de la pluviométrie des asperseurs et de la durée d'arrosage. La culture a reçu au totale 12 irrigations avec une fréquence de 4 jours, la dose totale apportée durant la campagne est de 300,71mm pour les pluviomètres déposés à 4m de la rampe, et 300,08 mm pour ceux déposés à 6 m.

Les résultats obtenus montrent que la pluviométrie horaire mesurée de chaque poste d'irrigation est hétérogène. Ainsi, on remarque une grande variation de la pluviométrie horaire d'un asperseur à l'autre ce qui fait qu'il y a des endroits de la parcelle qui reçoivent 2 à 3 fois plus d'eau, cela s'explique par la variation fréquente de pression à la sortie de la pompe et l'état des asperseurs qui sont hétérogènes et possédant des pressions de services

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

différentes et en raison aussi du nombre important de fuites d'eau au niveau des raccordements des conduites.

Tableau 10 : Calendrier et doses d'irrigations appliquées au niveau du secteur

Boukhmira-Bouhlalla du périmètre de Bounamoussa en 2009

	Date d'irrigation	Pluviométrie horaire moyenne (mm)		Temps d'arrosage (h)	Dose d'irrigation (mm)	
		Essai à 4m	Essai à 6m		Essai à 4m	Essai à 6m
1	15/03/2009	5,8	5,8	2	11,6	11,6
2	19/03/2009	6,3	7,3	2,5	15,75	18,25
3	24/03/2009	8,2	8,1	3	24,6	24,3
4	29/03/2009	8,2	8,1	3	24,6	24,3
5	03/04/2009	7,9	7,8	3,5	27,65	27,3
6	08/04/2009	7,9	7,8	3,5	27,65	27,3
7	13/04/2009	7,9	7,8	3,5	27,65	27,3
8	22/04/2009	7,9	7,8	3,5	27,65	27,3
9	28/04/2009	7,2	7,0	4	28,8	28,0
10	05/05/2009	7,2	7,0	3,5	28,8	28,0
11	15/05/2009	7,9	7,8	3,5	27,65	27,3
12	20/05/2009	7,9	7,8	3,5	27,65	27,3
Nombre d'irrigations : 12					300,05	298,25
Dose totale apportée						

Le coefficient d'uniformité de Christiansen calculé selon la formule (9) citée ci-dessus est de 92,02% pour les essais à 4 mètres et de 93,49% pour celui de 6 mètres.

1.3.2. Système goutte à goutte.

1.3.2.1. Le calcul des paramètres de fonctionnement du réseau

1.3.2.1.1. Calcul des besoins en eau des cultures

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Les besoins en eau des cultures pour le mois de pointe sont de 20,24 mm/j représentant les besoins de toutes les cultures sous serre. Les résultats des besoins en eau des cultures sont mentionnés en annexe.

1.3.2.1.2. Dose journalière

C'est la quantité d'eau réclamée chaque jour par la plante ou en d'autres termes, c'est la quantité apportée en mm de hauteur d'eau à chaque arrosage en goutte à goutte, cette quantité est égale aux besoins en eau d'irrigation quotidiens ou biquotidiens. Elle se calcule, selon la formule suivante :

$$\text{Dose} = \text{débit goutteur} \times \text{temps arrosage/maille} \quad (12)$$

La maille : la maille caractérise les écartements existants entre les distributeurs d'eau.

Elle s'exprime de la manière suivante :

-le premier terme indique l'espacement des distributeurs sur la même rampe.

-le second terme indique la distance qui sépare deux rampes.

La dose quotidienne varie seulement selon l'évolution des besoins en eau des cultures.

1.3.2.1.3. Fréquence d'arrosage

C'est le temps maximal, tolérable pour la plante qui doit séparer deux arrosages sur le même poste. Elle se calcule de la manière suivante :

$$\text{Fréquence} = \text{dose/besoins en eau d'irrigation} \quad (13)$$

En général, la fréquence en goutte à goutte est quotidienne mais elle peut être portée à 2 ou 3 jours si les caractéristiques hydriques du sol le permettent.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

1.3.2.1.4. Pluviométrie

C'est la hauteur d'eau qu'un distributeur apporte en une heure sur le sol. La pluviométrie doit être inférieure à la perméabilité du sol. La maille caractérise les écartements existants entre les distributeurs d'eau. Elle s'écrit Pluviométrie (mm/h)= débit du distributeur (l/h)/surface de la maille (m²). (14)

Le résultat obtenu est de 10 mm/h

1.3.2.1.5. Le temps maximum de fonctionnement journalier

Il s'exprime de la façon suivante :

$$T_{\max} = \text{Besoins en eau des cultures} / \text{pluviométrie} \quad (15)$$

Dans notre cas $T_{\max} = 20,24/10 = 2$ heures

En effet l'agriculteur irrigue les modules de serre généralement en 2 heures.

1.3.2.1.6. Calcul de la dose quotidienne

Elle se calcul selon la formule suivante

$$\text{Dose} = (\text{Debit goutteur (l/h)} \times \text{temps d'arrosage(h)}) / \text{Maille(m}^2) \quad (16)$$

$$\text{Dose} = 4 \times 2 / 0,4 = 20 \text{ mm}$$

Il est à signaler que cette dose varie en fonction de l'évolution des besoins en eau des cultures. Elle peut être ajustée efficacement par un pilotage tensiométrique adéquat.

1.3.2.1.7. Fréquence d'arrosage

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Elle représente le temps maximal tolérable qui doit séparer deux arrosages sur le même poste. Généralement elle est quotidienne mais elle peut être de 2 à 3 jours en fonction de l'évolution hydrique du sol.

$$\text{Fréquence} = \text{dose (mm)} / \text{besoins en eau d'irrigation (mm/j)} \quad (17)$$

Elle est de 1 jour

1.3.2.1.8. Le nombre de secteur

Un secteur ou bien un poste représente la surface couverte à un moment donné par des distributeurs fonctionnant en même temps. Le nombre maximal de secteurs est déterminé pour un temps maximal de fonctionnement égal à 18 heures. Sa formule s'écrit :

$$\text{Nombre de secteurs} = 18 / \text{temps maximal} \quad (18)$$

$$N = 18/2=9 \text{ (la parcelle doit être divisée en 9 secteurs)}$$

Lors de notre enquête sur le terrain nous avons remarqué que l'agriculteur ignore ces notions. Il considère par exemple tout la parcelle comme étant un seul secteur.

1.3.2.1.9. Le débit horaire

Il s'agit du produit de débit du goutteur par le nombre de goutteur par secteur

$$D_s = N_{tg} \times D_g \quad (19)$$

$$N_{tg} : N_g \times N_{tr} \quad (20)$$

Le débit par hectare : Il s'agit de la quantité d'eau livrée à l'hectare.

1.3.2.1.10. Calcul de l'uniformité des débits

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Lors de notre expérimentation, nous avons effectué l'opération sur 07 serres, les tableaux en annexes présentent les 16 mesures effectués sur les serres. Les résultats obtenus sont les suivants.

N° Serre	1	2	3	4	5	6	7
CU(%)	91,82	91,42	84,05	93,49	85,17	88,75	90,79

A partir de ces calculs, on constate que la majorité des CU sont compris entre 84% et 91%. Nous déduisons que le réseau fonctionne correctement mais il nécessite un nettoyage.

On s'aperçoit qu'il existe une perturbation et une irrégularité dans la distribution de l'eau au niveau des serres, ce qui nécessite la détection des causes de colmatage affectant quelques serres et de procéder au nettoyage du réseau.

On estime qu'un réseau d'irrigation est parfaitement dimensionné lorsque les variations de débit entre le distributeur le plus favorisé en pression et le moins avantage soit inférieure à 10% (Anonyme, 2004. El Attir, H. 2005). Ainsi lorsqu'on prévoit d'installer des goutteurs de 4l/h, la différence de débit constatée sur l'ensemble du réseau doit être inférieure à 0,4l/h.

1.3.2.4. Le calcul des pertes de charge au niveau de la rampe

Afin de réussir le dimensionnement du réseau de micro-irrigation et de l'opération d'irrigation, il est impératif de calculer les pertes de charge dans les rampes de distribution.

Pour le calcul des pertes de charge présentent au niveau des rampes, on a utilisé les trois relations citées précédemment. Les données nécessaires pour le calcul sont :

$$Q = Dg \text{ (l/h)} \times Ngr \text{ Avec } Dg=4 \text{ l/h et } Ngr= 125$$

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Q = 500 l/h ou Dg : debit du goutteur et Ngr : nombre de goutteur par rampe

D (diamètre des goutteurs)= 16 mm et L (longueur de la rampe) = 50 m

Les résultats obtenus sont :

Formules utilisées	Pertes de charges (m)
Relation de Christiansen	2,66
Relation française	1,22
Relation polonaise	2,94

On remarque une différence nette entre les résultats. La relation appliquée en France sous estime les pertes de charges alors celle utilisée en Pologne les surestime. La relation de Christiansen semble donnée des relations acceptables.

La pression de l'eau diminue tout le long de la canalisation dans laquelle elle s'écoule, même si la conduite est horizontale et de section uniforme. En réalité, le régime d'écoulement dans la rampe change d'un tronçon à l'autre, et on constate qu'il existe deux types d'écoulements dans le même branchement. Dans les premiers tronçons, l'écoulement est généralement turbulent, contrairement aux derniers tronçons, dans lesquels l'écoulement est laminaire, c'est-à-dire à faible vitesse.

Zella et al (2003) ont proposé une méthode plus simple pour le calcul des pertes de charge pour chaque type d'écoulement dans la rampe. Ceci va faciliter la localisation des tronçons vulnérables aux dépôts des matières en suspension et d'impuretés à l'échelle des rampes de micro-irrigation. La relation proposée par Zella (Zella et al, 2003) s'écrit :

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Dans les tronçons où l'écoulement est de régime laminaire, la relation proposée par les deux auteurs s'écrit :

$$\Sigma\Delta H = 4,15 \cdot y \cdot \Delta L / D^4 \cdot q \cdot \Sigma N^2 \quad (21)$$

Y : coefficient de viscosité cinématique selon la température (Ancy.C, 2016)

Quand le régime est turbulent, ils proposent la relation suivante :

$$\Sigma\Delta H = 2,33 \cdot 10^{-3} \cdot Q^2 / D^5 \cdot L \quad (22)$$

N : nombre de goutteurs sur la rampe

q : débit spécifique de chaque goutteur

ΔL : intervalle entre deux goutteurs successifs sur la rampe

L : longueur de la rampe

L1 : longueur de la rampe à régime turbulent

L2 : longueur de la rampe à régime laminaire

L1 = N1 ΔL , N1 : nombre de goutteurs dans les tronçons à écoulement turbulent

L2 = N2 ΔL , N2 : nombre de goutteurs dans les tronçons à écoulement laminaire

D'autres méthodes ont été élaborées comme celle de la méthode de Gitlen (1973), mais elles restent beaucoup plus délicates à manipuler et surtout posent des problèmes à l'échelle pratique (diamètre différent pour une même rampe).

1.3.2.5. Le calcul des pertes de charge au niveau des conduites

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Nous avons opté pour l'utilisation de la formule utilisée en France pour le calcul des pertes de charge : $\Sigma\Delta H = K \times Q^{1,75} / 2,75 \cdot L$ avec : $K = 8,10 \cdot 4 / D^{4,75}$

Les résultats sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 11: pertes des charges au niveau des conduites.

conduites	Diamètres (mm)	Longueurs (m)	Pertes de charges (m)
cp	90	123	$\Sigma\Delta H = 1,65$ m
Cs1	60	84	$\Sigma\Delta H = 0,77$ m
Cs2	60	98	$\Sigma\Delta H = 9,05$ m
Cs3	60	95	$\Sigma\Delta H = 8,77$ m
ct	40	84	$\Sigma\Delta H = 5,32$ m
total			$\Sigma\Delta H_{\text{totale}} = 25,56$ m

1.3.2.6. Calcul de la vitesse moyenne

Calculée à partir de la relation suivante $Q = V \cdot S$ pour un débit de $Q = 47$ m³/h et un diamètre $D = 110$ mm, la vitesse d'écoulement est de 1,037 m/s. cette valeur est inférieure à celle admise (3 à 4 m/s) pour permettre la filtration de l'eau.

1.3.2.7. Hauteur manométrique totale

Dans notre cas la pompe est directement raccordée à la canalisation ceci nous oblige à déterminer la hauteur d'élévation manométrique totale représentée par la somme des pertes de charges totales dans les conduites et la différence d'altitude entre l'entrée de l'eau et sa sortie dans l'atmosphère.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

$H_{mt} = H_g$ (Hauteur géométrique en mètre) + pertes de charges totales en mètre) (23)

$H_{mt} = 25,98 = 2,6$ bars

L' H_{mt} calculée est faible par rapport à celle indiquée sur la plaque signalétique de la pompe qui est de 34 m. la présence de fuites au niveau du réseau d'irrigation contribue largement à cette diminution de pression.

On peut déduire donc que comme disait Azougagh (2001), le choix d'un matériel d'irrigation adéquat conditionne en grande partie la réussite de l'irrigation.

1.3.3. SUIVI AGRONOMIQUE DE CERTAINES CULTURES MARAICHERES

Le suivi agronomique régulier des cultures a pour but de maintenir un équilibre permanent entre les fonctions végétatives (tiges, feuilles, racines) et génératives (fleurs, fruits), pour assurer une production de qualité tout au long du cycle. Il permet également de contrôler la fécondation et d'identifier les défauts sur fruits et d'observer l'état du système racinaire. Toutes ces observations permettent d'identifier sur les facteurs limitants sur lesquelles il convient d'intervenir : irrigation, climat, ferti-irrigation, protection phytosanitaire, opérations culturales...

Comme nous l'avons énoncé précédemment, l'irrigation goutte à goutte présente de nombreux avantages parmi ceux qui nous intéressent dans ce chapitre : le raccourcissement du cycle de développement des cultures et l'augmentation du rendement. Lorsque la plante reçoit la juste quantité d'eau et d'éléments minéraux qui lui faut, elle se développe normalement et donne de bons rendements, mais si cette quantité devient inférieure ou supérieure à ses besoins cela se traduirait par une mauvaise croissance et rendement médiocre (El Attir et al, 2003).

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Afin d'apporter la quantité d'eau et d'éléments minéraux relatives aux besoins des cultures, un bon dimensionnement et un bon calcul des paramètres de fonctionnement du réseau est indispensable (Vermeiren and Jobling, 1983).

Afin de mieux approuver l'importance des calculs de pertes de charges dans les rampes et les conduites ainsi que les coefficients d'uniformité, nous avons jugé utile de faire un suivi agronomique des plants ayant été arrosés par les goutteurs qui ont fait l'objet de mesure de leur débit nécessaires aux calculs cités précédemment.

Le suivi a fait l'objet de plusieurs paramètres tel que : la longueur des plants, le nombre d'entre-nœuds, le nombre de fleurs, le nombre de fruits. Il a été fait sur 03 cultures qui sont : la tomate, le poivron et l'aubergine, sur 03 périodes.

Nous avons considéré le débit des goutteurs comme étant la seul variable, tous les autres paramètres tels que : les traitements phytosanitaires, ainsi que la température, la lumière et l'hygrométrie comme constante et que tous le plant au niveau de la serre bénéficié des mêmes quantités d'intrants.

1.3.3.1. Suivi agronomique de la culture de la tomate industrielle

La Figure 04 indique l'évolution de la longueur des plants de tomate durant 03 périodes d'observation en fonction du débit des goutteurs. On constate qu'il existe une évolution de la longueur au fil du temps mais avec un net avantage pour le 1^{er} et le 2^{ème} plant.

Il s'agit des plants les mieux alimentés en eau par rapport aux deux derniers et qui présentent les plus grandes longueurs durant les 03 périodes.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Le plant qui présente la longueur la plus petite durant les 03 périodes d'observation correspond à celui alimenté par le goutteur 03 qui fourni le plus faible débit sur la rampe.

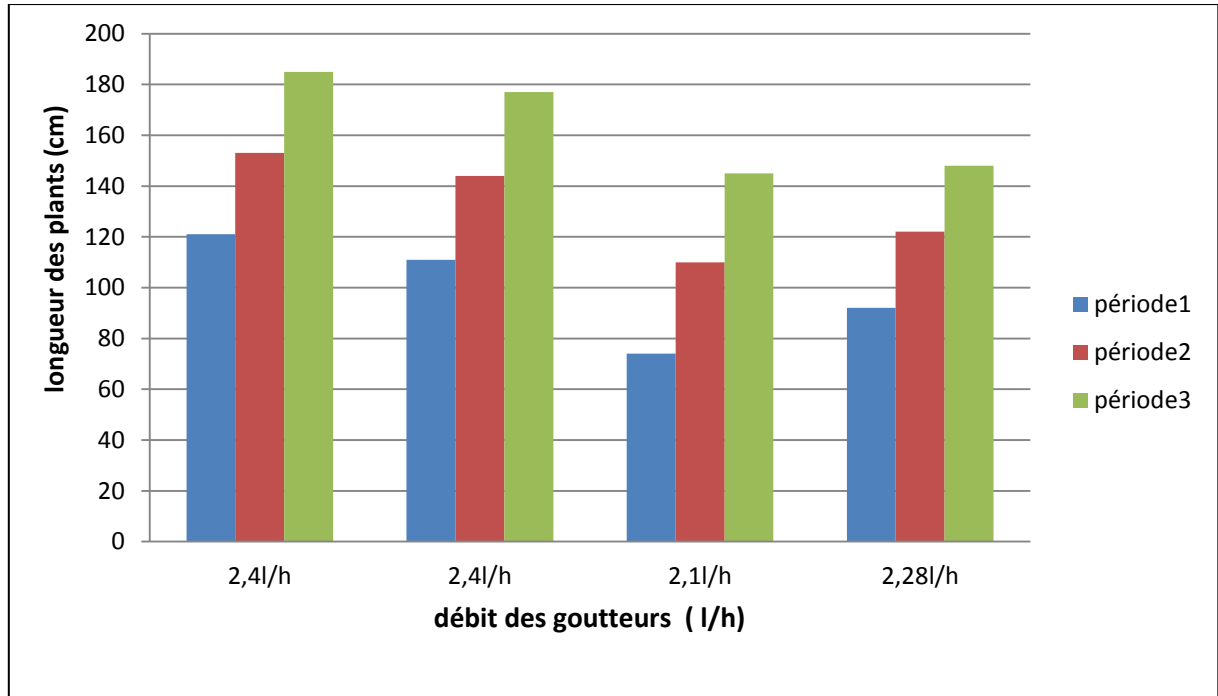


Figure 04. Longueur des plants de tomate en fonction des débits des goutteurs sur 03 périodes d'observation.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

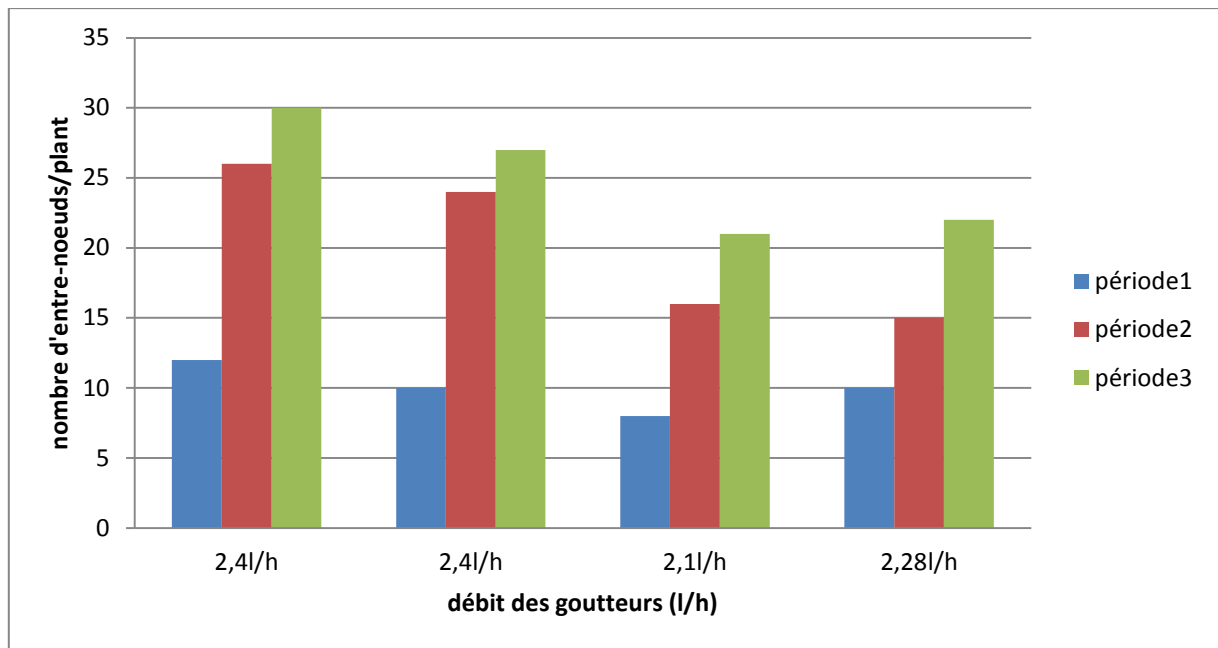


Figure 05. Nombre d'entre-nœuds par plant de tomate en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation.

On remarque une évolution dans la formation d'entre-nœuds chez tous les plants au fil du temps, mais ce sont toujours les plants 01 et 02 de tomate qui ont le nombre le plus élevé d'entre-nœuds (30 et 27 en 3ème période). Le 3ème et le 4ème plant présentent un nombre inférieur (20 et 22 en 3ème période).

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

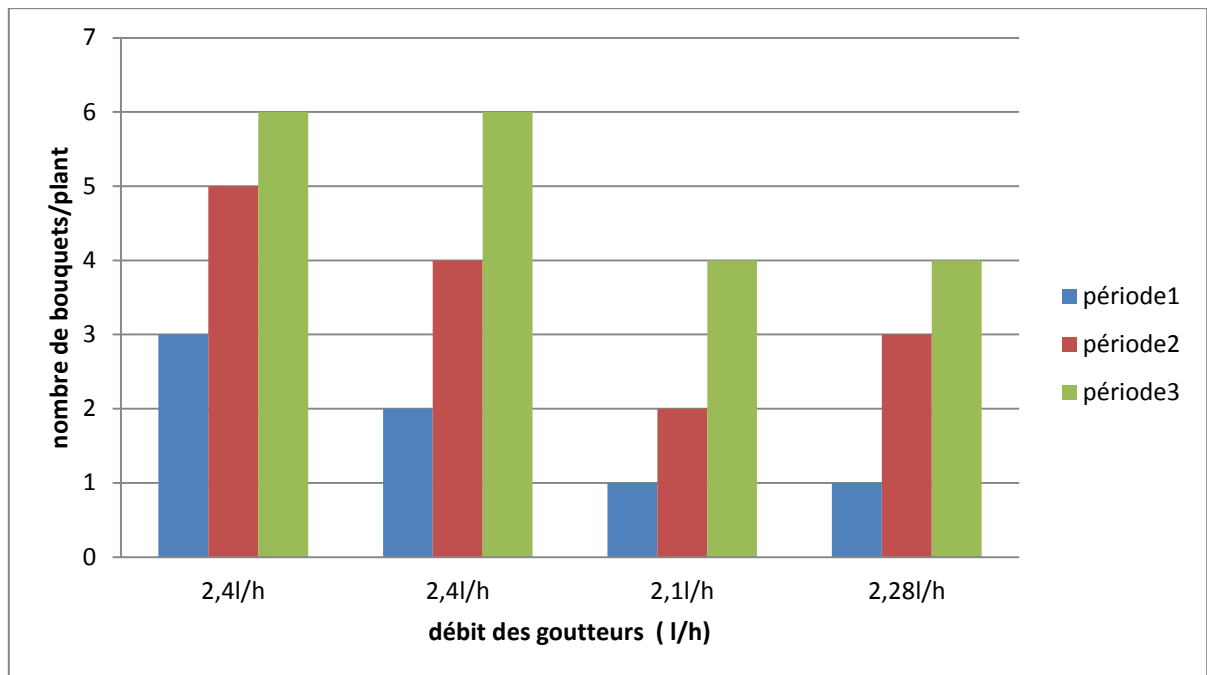


Figure 06. Nombre de bouquets formés par plant de tomate en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation.

On remarque au niveau de ce diagramme qu'il existe une évolution dans la production de bouquets floraux durant les 03 périodes, mais ce sont les plants 1 et 2 qui ont produit le plus de bouquets floraux durant toutes les périodes. Par rapport à ceux-ci, les plants 3 et 4 ont produit moins de bouquets. Chez les deux premiers plants la formation des bouquets était plus précoce par rapport aux deux derniers.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

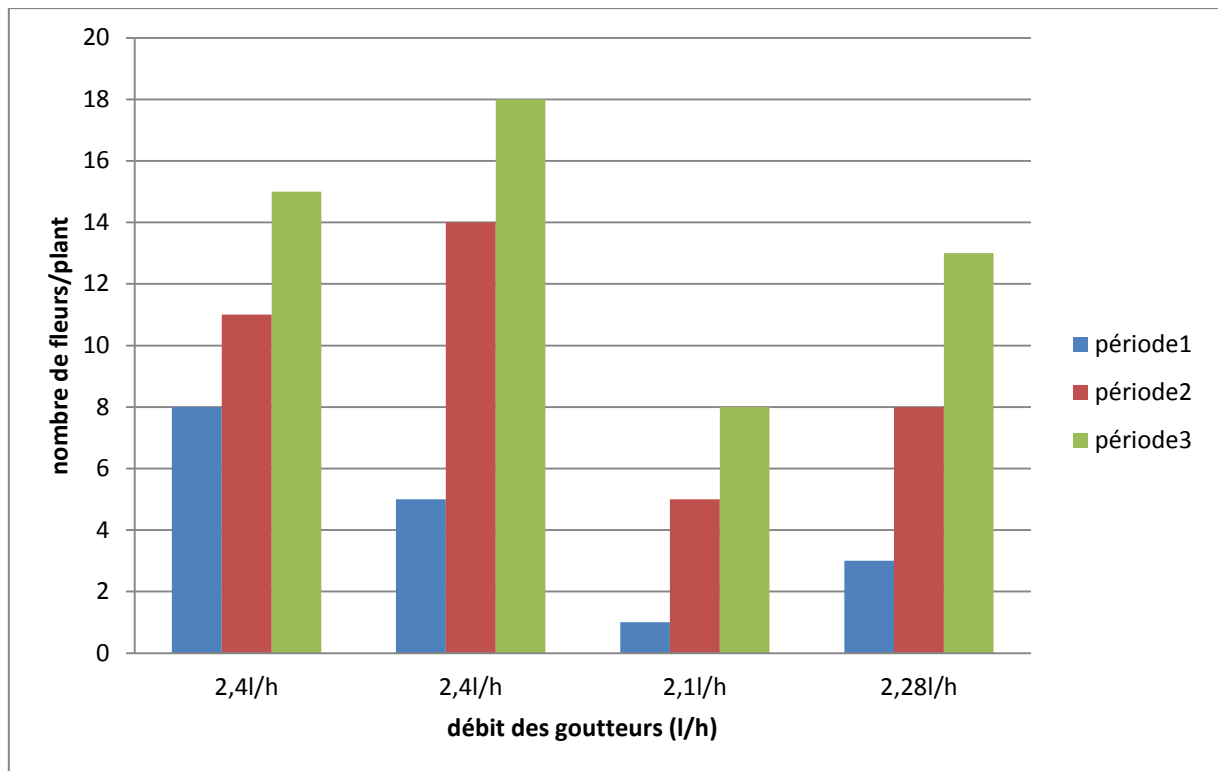


Figure 07. Nombre de fleurs par plant de tomate en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation.

On constate dans la figure ci-dessus, que la floraison est plus précoce chez les 02 premiers plants de même que le nombre de fleurs émises est plus important durant les 03 périodes. On remarque que durant la 1ère période le 3ème plant a émis 1 fleur seulement, tandis que le 4ème plant a émis 03 fleurs contre 08 et 05 fleurs émises par les deux premiers plants.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

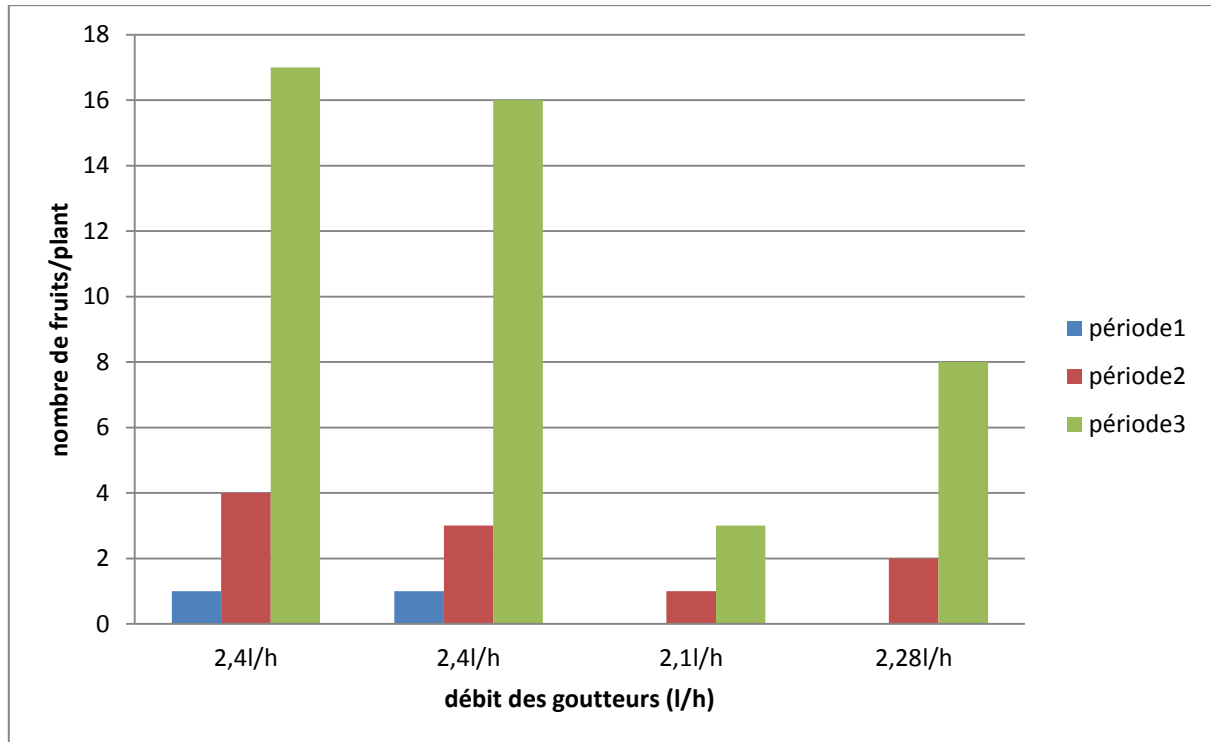


Figure 08. Nombre de fruits produits par plant de tomate en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation.

On remarque ci-dessus que la fructification durant la 1^{ère} période était plus précoce chez les 02 premiers plants de tomate ; il y avait déjà formation de 02 fruits, tandis qu'elle était nulle chez les 02 autres. La fructification avait commencée chez le 3^{ème} et le 4^{ème} plant durant la 2^{ème} période.

On remarque aussi que le nombre de fruits produit chez les plants 1 et 2 est plus important, avec une production de 17 et 16 fruits respectivement par rapport aux deux derniers avec une production de 2 et 8 fruits respectivement, (étant donné que le 4^{ème} goutteur présente un débit plus élevé que le 3^{ème} goutteur).

1.4.1.2. Suivi agronomique de la culture de poivron

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

On remarque que la formation d'entre-nœuds évolue dans le temps pour les 04 plants de poivron. Ainsi, on remarque que le premier plant arrosé par le premier goutteur qui fournit le débit le plus élevé (2,7l/h) a produit le nombre le plus élevé d'entre-nœuds durant toutes les périodes (12 entre-nœuds), suivie du 2^{ème} plant (10 entre-nœuds), puis le 3^{ème} (9 entre-nœuds) et enfin le 4^{ème} plant (7 entre-nœuds) qui est arrosé par le dernier goutteur qui fournit le plus faible débit (2,1l/h).

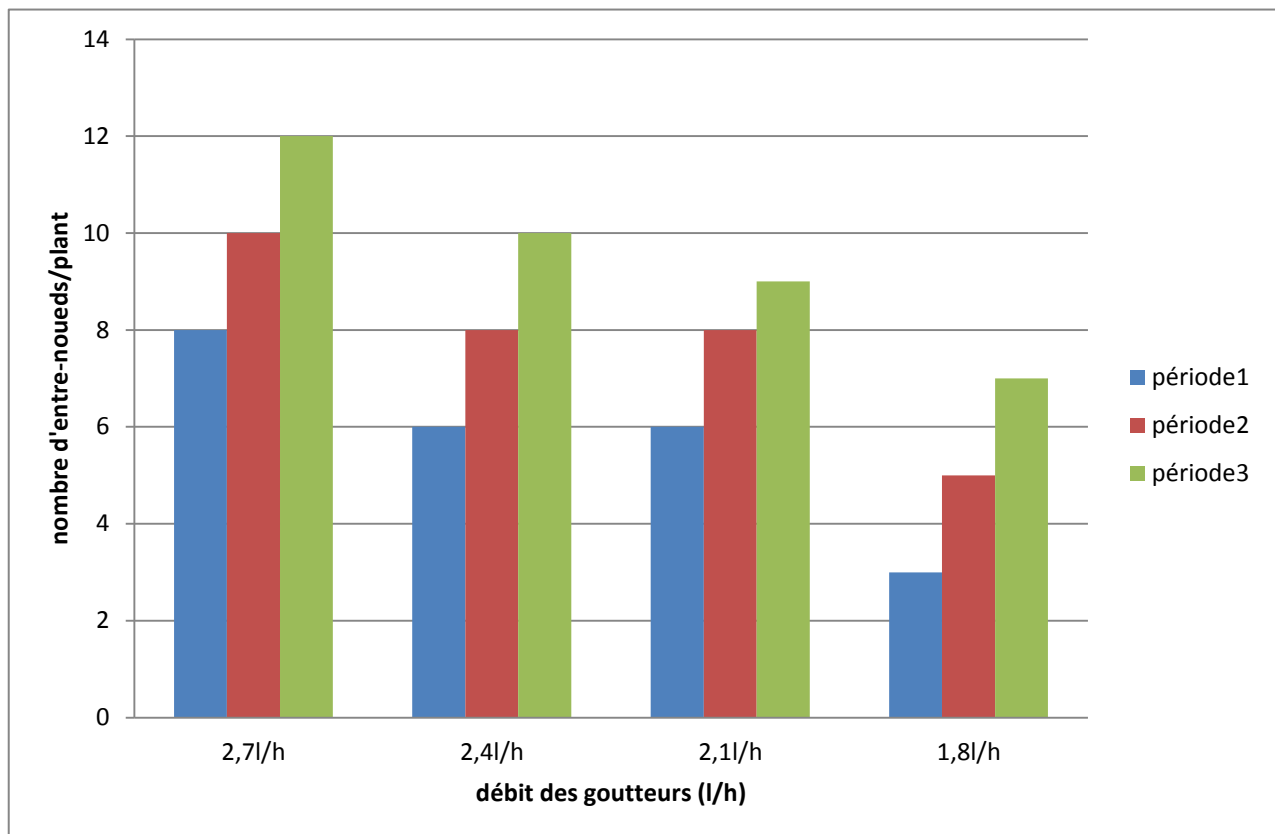


Figure 09. Nombre d'entre-nœuds par plants de poivron en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

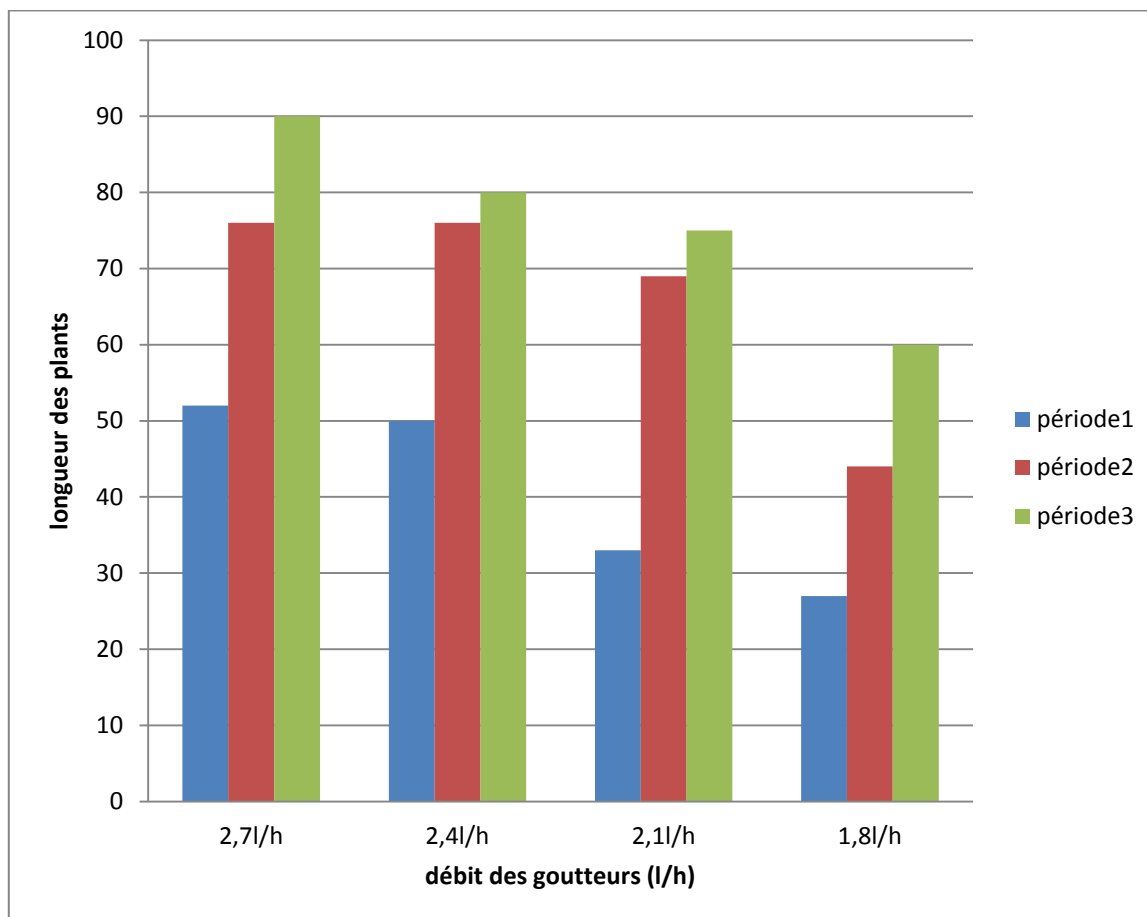


Figure 10. Longueur des plants de poivron en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation.

La longueur des plants évolue durant les 03 périodes d'observation. On remarque que le 1^{er} plant présente la longueur la plus élevée durant toutes les périodes (90cm en 3^{ème} période), suivi du 2^{ème} plant (80cm), puis le 3^{ème} plant (70cm). Le dernier plant présente la longueur la plus faible (60cm) étant donné qu'il est le moins alimenté en eau et en fertilisants par rapport aux autres.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

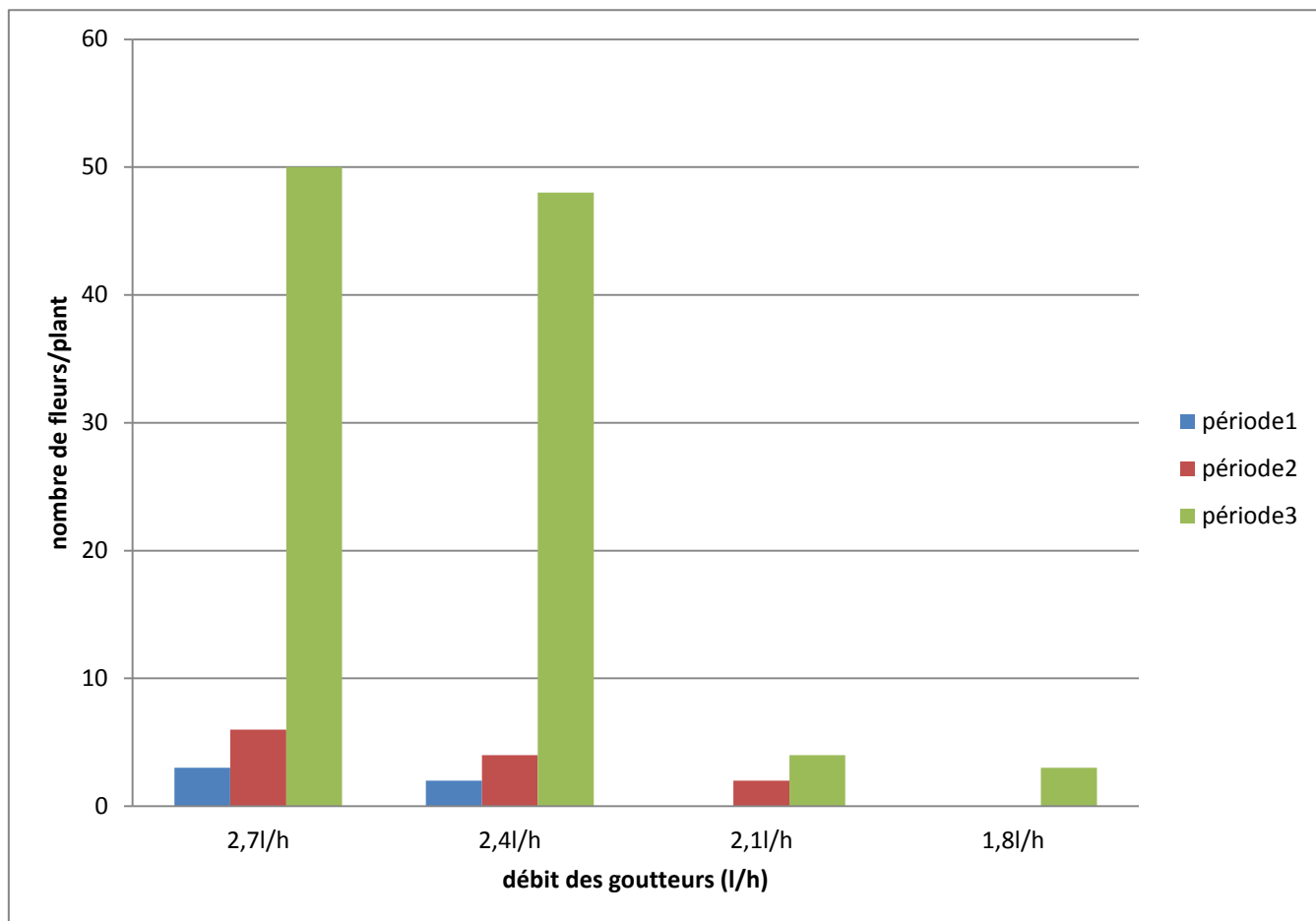


Figure 11. Nombre de fleurs émises par plants de poivron en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation.

Selon la figure, on remarque que la floraison était plus précoce chez le 1^{er} plant ainsi que le deuxième plant. Durant la première période le nombre de fleur émise par le 1^{er} et le 2^{ème} plant de poivron était 03 et 02 respectivement. Chez les deux derniers plants la floraison était nulle. En deuxième période, on remarque une petite augmentation dans le nombre de fleurs émises par les deux premiers plants (06 et 04 fleurs) et le début de floraison chez le 3^{ème} plant (02 fleurs). En 3^{ème} période, l'émission des fleurs reprend de plus belle pour les 2

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

premiers plants, le nombre de fleur atteint 50, alors qu'elle reste très timide pour les deux derniers plants avec l'émission de 4 fleurs seulement.

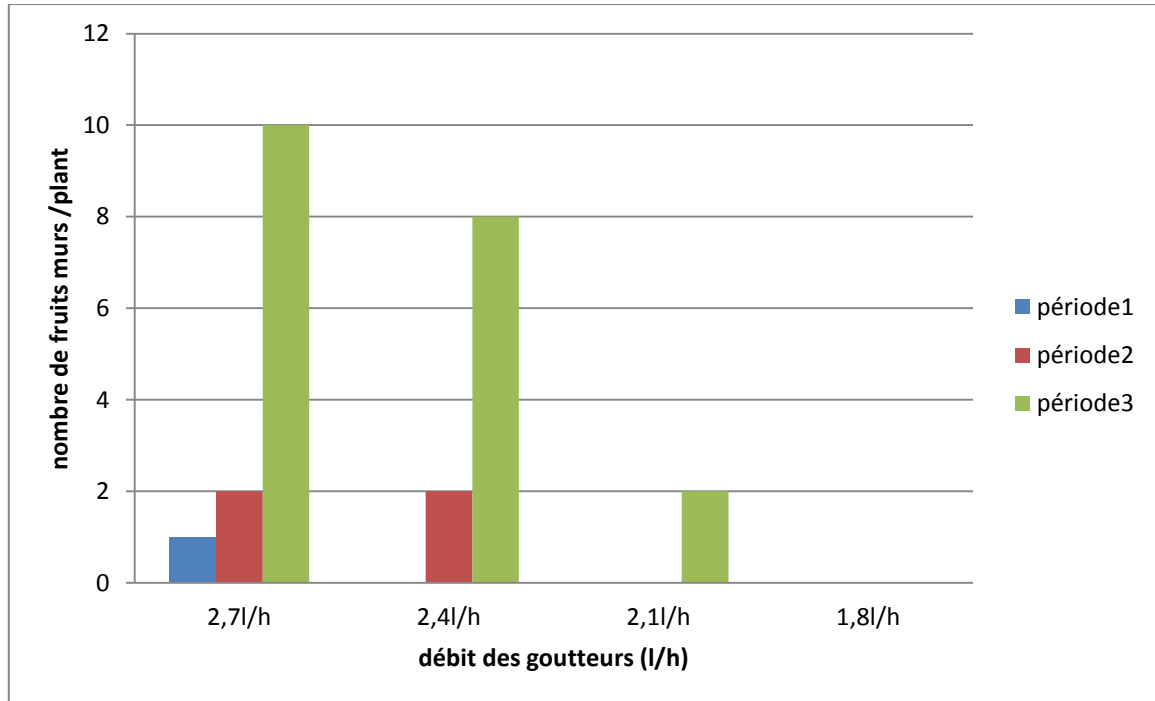


Figure 12. Nombre de fruits produits par plants de poivron en fonction des débits des goutteurs sur trois périodes d'observation.

Etant donné que la floraison était plus précoce chez le premier plant par rapport aux autres, on remarque que la mise à fruit était aussi plus précoce, il y a formation d'un fruit en 1^{ère} période tandis que la fructification était nulle chez les autres. Elle ne commence qu'à la 2^{ème} période chez la 2^{ème} période et en 3^{ème} période chez la 3^{ème} plante alors qu'elle est nulle durant toutes les périodes pour le dernier plant. De plus les deux premiers plants de poivron ont produit le nombre le plus élevé de fruit avec une production de 10 et 08 fruits respectivement, contre seulement 02 fruits pour le 3^{ème} plant.

1.4.1.3. Suivi agronomique de la culture d'aubergine

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

On remarque que les deux premiers plants présentent une longueur plus élevée comparativement à celle des deux derniers plants et ceux durant 02 périodes d'observation. Ce sont celles qui sont arrosées par les goutteurs ayant le plus grand débit sur la rampe qui

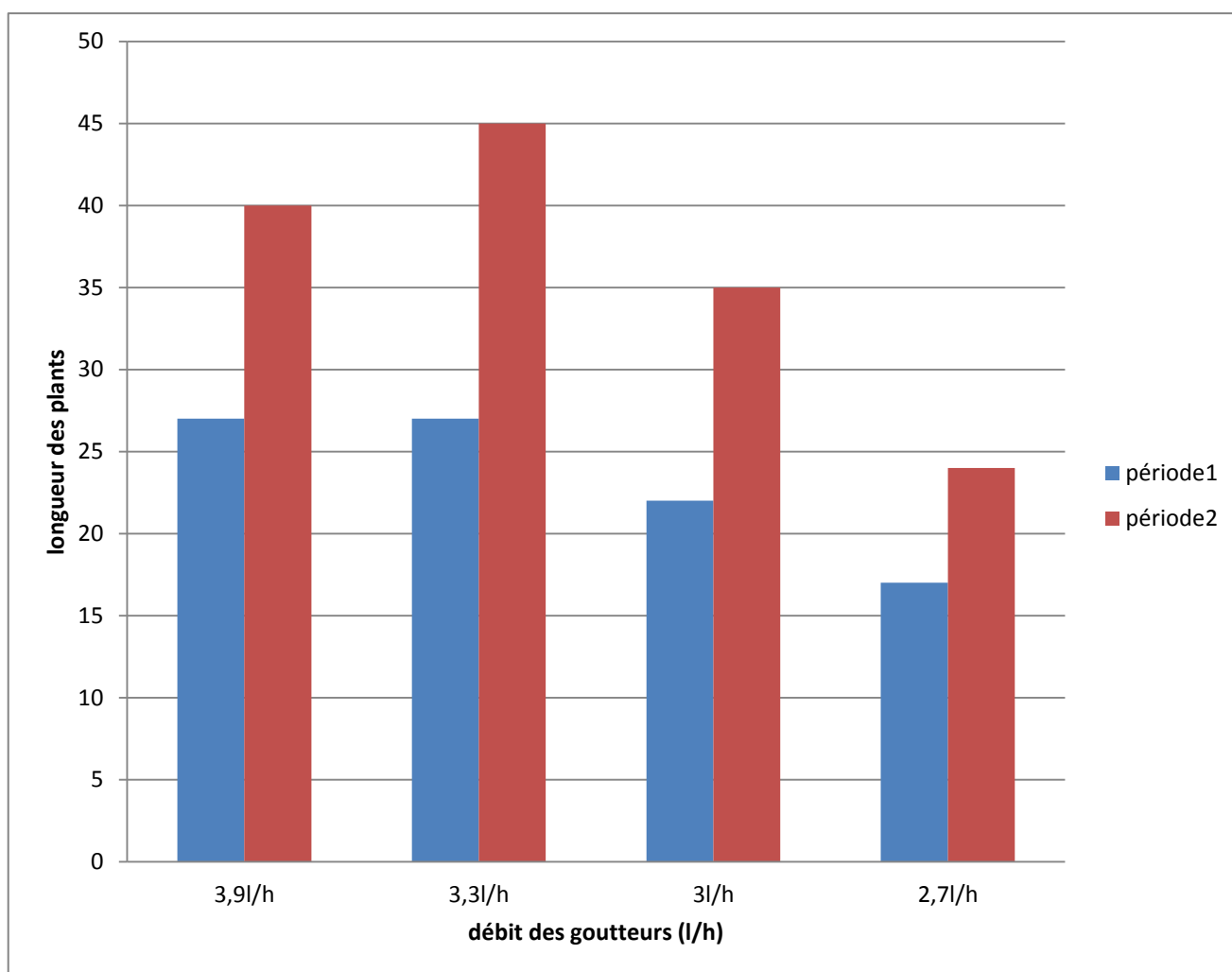


Figure 13. Longueur des plants d'aubergine en fonction des débits des goutteurs sur deux périodes d'observation.

présentent les plus grandes hauteurs.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

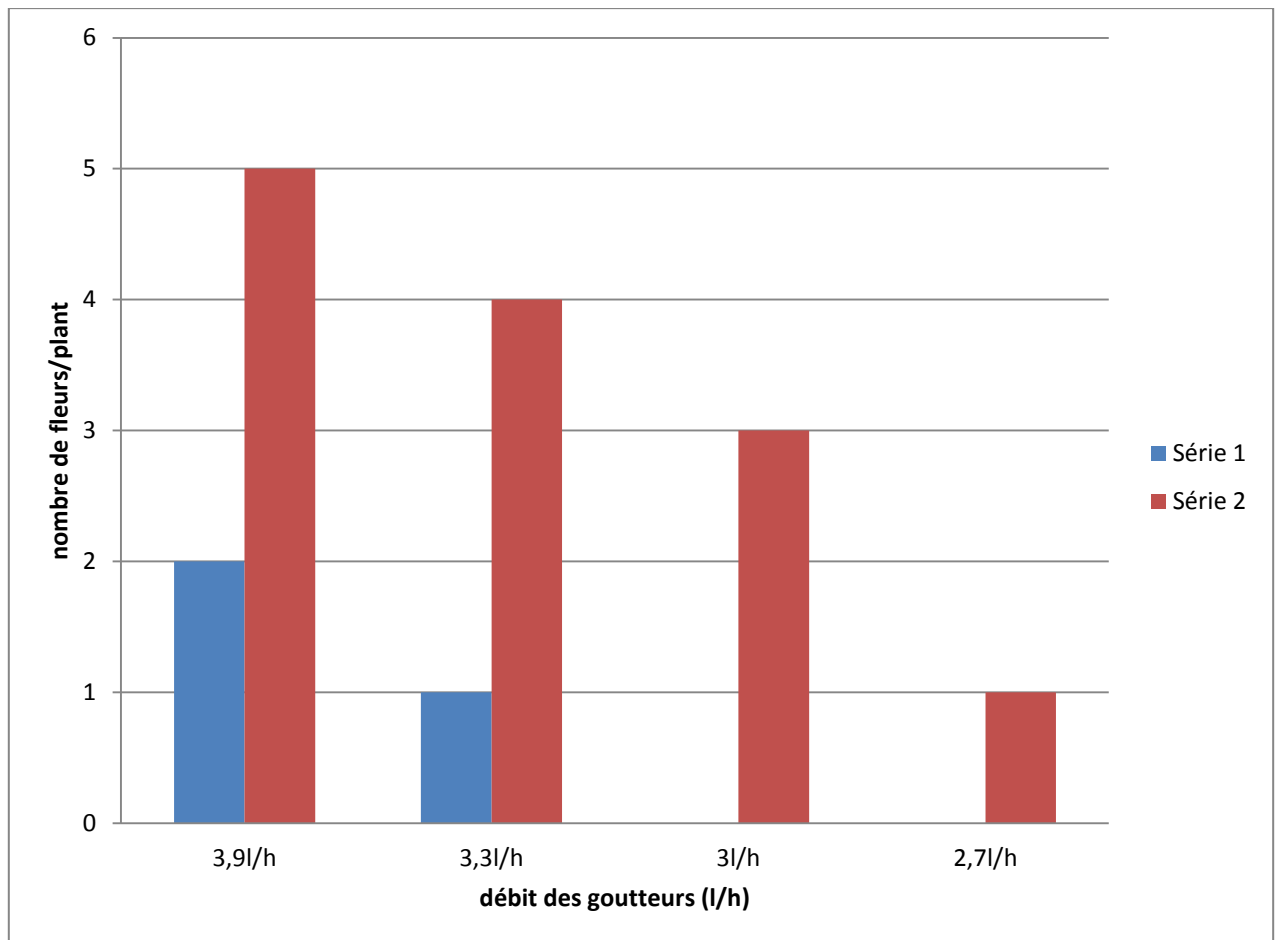


Figure 14. Nombre de fleurs émises par plants d'aubergine en fonction des débits des goutteurs sur deux périodes d'observation.

La floraison est nettement plus précoce chez les deux premiers plants, il y a émission de 02 fleurs pour le 1^{er} plant et 01 fleur pour le 2^{ème} plant durant la première période tandis qu'elle est nulle chez les deux derniers plants.

En deuxième période, on remarque que le nombre de fleurs émises a augmenté pour les 04 plants, mais avec un net avantage pour le 1^{er} et le 2^{ème} plant.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

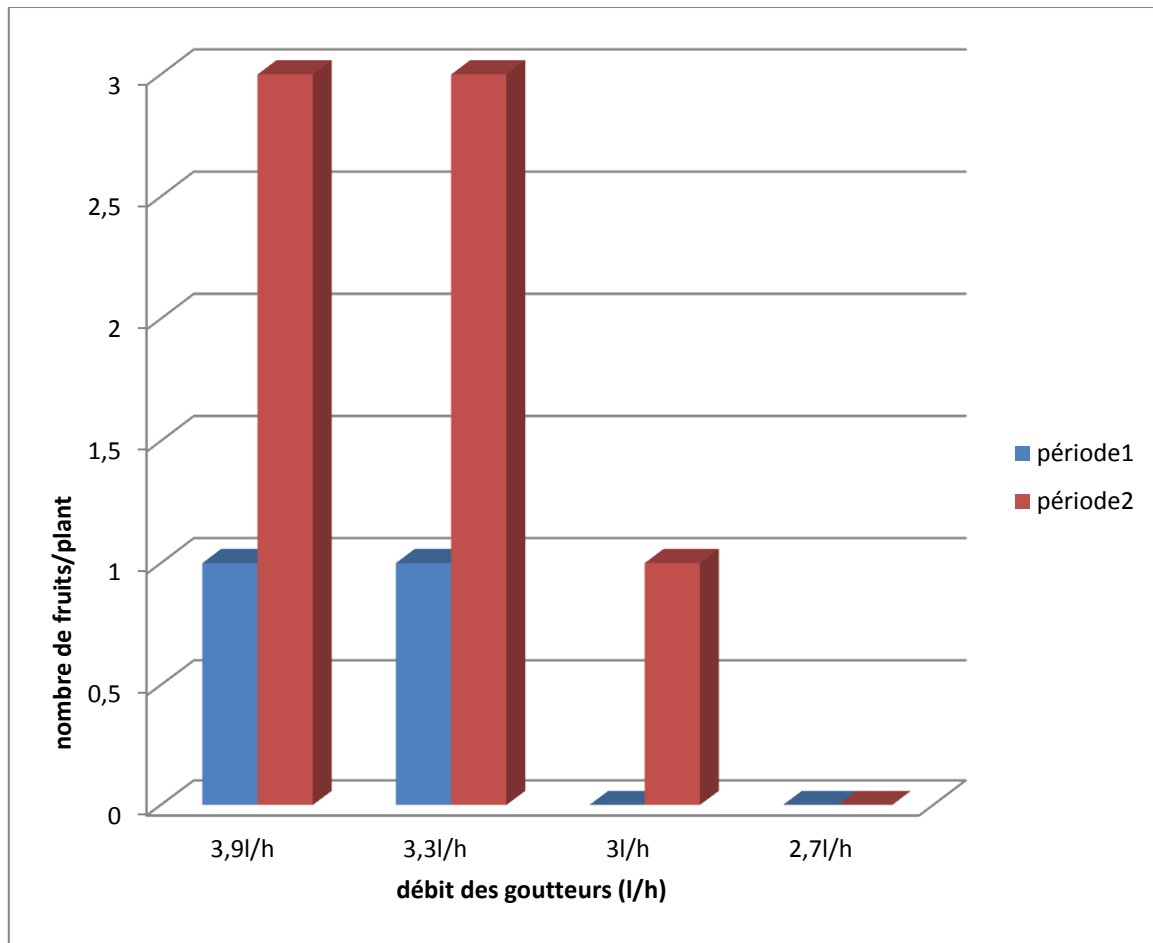


Figure 15. Nombre de fruits produits par plants d'aubergine en fonction des débits des goutteurs sur deux périodes d'observation.

Etant donné que la floraison était plus précoce chez les deux premiers plants, on remarque que la mise à fruit est aussi précoce pour ces plants (un fruit pour chaque plante durant la 1^{ère} période), alors qu'elle est nulle chez les 02 derniers plants.

Durant la 2^{ème} période, le 3^{ème} plant a produit 01 fruit, tandis que le dernier plant n'a rien produit. Les deux 1^{er} plants ont produit 03 fruits chacun.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

D'après les observations faites sur ces 03 cultures, nous avons remarqué que les plants bien alimentés en eau et en éléments fertilisants correspondant aux goutteurs ayant un fort débit présentaient les plus grandes hauteurs, le plus grand nombre d'entre-nœuds, une floraison précoce, un plus grand nombre de fleurs, un plus grand nombre de fruits et des fruits de grands calibres alors que les plants les moins alimentés correspondant aux goutteurs ayant le plus faible débit présentaient des caractères inférieurs.

1.5.Conclusion

Le matériel d'irrigation à la parcelle aussi bien pour la technique d'aspersion que le goutte à goutte présente des coefficients d'uniformité avoisinant les 90% ce qui explique l'efficacité de l'irrigation néanmoins des anomalies sont à signaler notamment en matière de répartition des débits pour le goutte à goutte au niveau des plants ce qui induit une baisse des rendements. Les pertes de charges au niveau des rampes sont importantes ce qui a entraîné une variation importante de la pression. Ces contraintes perturbent le fonctionnement des deux systèmes d'irrigation.

Le suivi agronomique de certaines cultures maraichères nous a révélé que les plants en tête de réseau sont mieux alimentés que ceux situés en fin de réseau eux-mêmes qui sont moins alimentés que ceux situés au milieu de la parcelle et par conséquent une alimentation uniforme en eau en l'absence d'autres contraintes favorise une croissance végétative , une bonne floraison, une bonne nouaison et une bonne production en qualité et en quantité.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Références bibliographiques

- Allen R. et al, (1998). Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements- FAO Irrigation and drainage paper 56 – Food Agricultural Organization of the United Nations. Rome, 1998.
- Ancey C, Notes de cours. Mécanique des fluides. Ecole polytechniques fédérale de Lausanne, 2016.
- Anonyme, (1988). Cultures protégées en climat méditerranéen, FAO.
- ONM, (2010). Données climatiques de la station météorologique de l'aéroport les salines d'Annaba.
- Azougagh. M., (2001). Matériel d'irrigation, choix, utilisation et entretien, transfert de technologie en agriculture, Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA N° 81, ministère de l'agriculture et du développement rural et de la pêche maritime, royaume du Maroc.
- Bellouch. H. et al, (2008). Pilotage de l'irrigation par la méthode du rayonnement global, office régional de mise en valeur agricole du Souss Massa (ORMVA/SM), Agadir, Maroc.
- Doorenbos, J. et Pruitt, W. O. (1977). Les Besoins en Eau des Cultures. F.A.O, Bulletin d'Irrigation et de Drainage N° 24. Rome.
- El Attir. H. (2005). La conduite et le pilotage de l'irrigation goutte à goutte en maraichage, transfert de technologie en agriculture, bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA N°124, ministère de l'agriculture et du développement rural et de la pêche maritime, royaume du Maroc.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

- El attir. H et al, (2003). Fiches techniques V : la tomate, l'aubergine, le poivron, le gombo, transfert de technologie en agriculture, bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA N°100, ministère de l'agriculture et du développement rural et de la pêche maritime, royaume du Maroc.
- FERTIAL, (2010). Rapport d'analyses du sol de la parcelle située à Bounamouss.
- ITCMI, 2012. Itinéraire technique de la culture de tomate
- Merriam J.L., Keller J., 1978. Farm Irrigation System Evaluation: A guide for Management. Dept. Agri. Irrig. Eng. Utah st. University. Logan. Etats-Unis.
- Vermeiren et Jobling. L. (1983). L'irrigation localisée : calcul, mise en place, exploitation et contrôle de fonctionnement, FAO.
- Zella et Smadhi. D. (2005). L'intérêt du calcul des pertes de charges en micro irrigation, laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface, Larhyss journal, n°04, juin, pp : 251-68.
- Zella et al (2003). La micro irrigation : Obstruction des goutteurs. EDIL.Inf-Eau, N°26.
- Zella, Kettab, Chasseriaux. (2003). Simulation hydraulique d'une rampe de micro-irrigation par la méthode dite des volumes de contrôle, Revue Agronomie, 3(1):37-44.

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

Annexes

A/ Besoins en eau des cultures

1. Calcul des besoins en eau de la culture de tomate

mois	Rg (j/cm ²)	T= 0,67 Kp/L Kp=70% , L= 251j/cm ²	ETPs Mm/j	r	Kc	ETM Mm/jour
Janvier	847,73	0,00186	1,57	0,75	0,45	0,52
Février	1186,4	0,00186	2,20	0,75	0,45	0,74
Mars	1563,41	0,00186	2,9	0,75	0,75	1,63
Avril	1781,63	0,00186	3,31	0,75	0,75	1,86
Mai	2211,87	0,00186	4,11	0,75	1,15	3,54
Juin	2629,56	0,00186	4,89	0,75	1,15	4,21
Juillet	3026,33	0,00186	5,62	0,75	0,80	3,37
Aout	2461	0,00186	4,57	0,75	0,80	2,74
total						18,61

2. Calcul des besoins en eau de la culture du poivron

mois	Rg (j/cm ²)	T= 0,67 Kp/L Kp=70% , L= 251j/cm ²	ETPs Mm/j	r	Kc	ETM Mm/jour
jan	847,73	0,00186	1,57	0,75	0,35	0,41
février	1186,4	0,00186	2,20	0,75	0,35	0,57
mars	1563,41	0,00186	2,9	0,75	0,75	1,63
avril	1781,63	0,00186	3,31	0,75	0,75	1,86
mai	2211,87	0,00186	4,11	0,75	1,05	3,23
juin	2629,56	0,00186	4,89	0,75	1,05	3,85
juillet	3026,33	0,00186	5,62	0,75	0,05	4,42
aout	2461	0,00186	4,57	0,75	0,9	3,08
total						19,05

3. Calcul des besoins en eau de la culture de l'aubergine

mois	Rg (j/cm ²)	T= 0,67 Kp/L Kp=70% , L= 251j/cm ²	ETPs Mm/j	r	Kc	ETM Mm/jour
jan	847,73	0,00186	1,57	0,75	0,45	0,52
février	1186,4	0,00186	2,20	0,75	0,45	0,74
mars	1563,41	0,00186	2,9	0,75	0,45	0,97
avril	1781,63	0,00186	3,31	0,75	0,75	1,86
mai	2211,87	0,00186	4,11	0,75	0,75	2,31
juin	2629,56	0,00186	4,89	0,75	1,75	4,21
juillet	3026,33	0,00186	5,62	0,75	1,15	4,84
aout	2461	0,00186	4,57	0,75	0,80	2,74
total						18,19

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

4. Calcul des besoins en eau de la culture du fraisier

mois	Rg (j/cm ²)	T= 0,67 Kp/L Kp=70% , L= 251j/cm ²	ETPs Mm/j	r	Kc	ETM Mm/jour
jan	847,73	0,00186	1,57	0,75	0,50	0,58
février	1186,4	0,00186	2,20	0,75	0,50	0,82
mars	1563,41	0,00186	2,9	0,75	0,50	1,08
avril	1781,63	0,00186	3,31	0,75	0,60	1,48
mai	2211,87	0,00186	4,11	0,75	0,70	2,15
juin	2629,56	0,00186	4,89	0,75	0,70	2,56
juillet	3026,33	0,00186	5,62	0,75	0,50	2,10
août	2461	0,00186	4,57	0,75	0,40	1,37
total						12,14

5. Calcul des besoins en eau de la culture du melon

mois	Rg (j/cm ²)	T= 0,67 Kp/L Kp=70% , L= 251j/cm ²	ETPs Mm/j	r	Kc	ETM Mm/jour
jan						
février						
mars	1563,41	0,00186	2,9	0,75	0,45	0,97
avril	1781,63	0,00186	3,31	0,75	0,75	1,86
mai	2211,87	0,00186	4,11	0,75	0,75	2,31
juin	2629,56	0,00186	4,89	0,75	1,00	3,66
juillet	3026,33	0,00186	5,62	0,75	1,00	4,21
août	2461	0,00186	4,57	0,75	0,75	2,57
total						15,58

B/ Mesures des débits des goutteurs

- Mesures des débits au niveau de la 1ere serre

	Q moyen 1ere Rampe (l/h)	Q moyen Rampe à 1/3(l/h)	Q moyen Rampe à 2/3(l/h)	Q moyen Dernière Rampe (l/h)
1 er Goutteur	2,4	2,68	2,7	1,94
Goutteur situé à 1/3	2,4	2,4	2,4	1,84
Goutteur situé à 2/3	2,1	2,16	2,14	1,8
Dernier Goutteur	2,28	2,38	2,43	1,67

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

- Mesures des débits au niveau de la 2^{eme} serre

	Q moyen 1ere Rampe (l/h)	Q moyen Rampe à 1/3(l/h)	Q moyen Rampe à 2/3(l/h)	Q moyen Dernière Rampe (l/h)
1 ^{er} Goutteur	3,3	3,98	3,1	3,04
Goutteur situé à 1/3	3,01	3,48	2,36	3,02
Goutteur situé à 2/3	2,7	3,3	2,4	3,26
Dernier Goutteur	2,68	3,02	2,66	3,14

- Mesures des débits au niveau de la 3^{eme} serre

	Q moyen 1ere Rampe (l/h)	Q moyen Rampe à 1/3(l/h)	Q moyen Rampe à 2/3(l/h)	Q moyen Dernière Rampe (l/h)
1 ^{er} Goutteur	2,42	1,92	2,24	2,44
Goutteur situé à 1/3	2,11	1,82	2,12	2,38
Goutteur situé à 2/3	1,52	2,46	1,84	2,06
Dernier Goutteur	1,38	2,32	2,34	1,93

- Mesures des débits au niveau de la 4^{eme} serre

	Q moyen 1ere Rampe (l/h)	Q moyen Rampe à 1/3(l/h)	Q moyen Rampe à 2/3(l/h)	Q moyen Dernière Rampe (l/h)
1 ^{er} Goutteur	2,7	2,72	2,72	2,48
Goutteur situé à 1/3	2,4	2,44	2,68	2,21
Goutteur situé à 2/3	2,4	2,4	2,39	2,1
Dernier Goutteur	2,38	2,36	2,374	2,7

CHAPITRE 1 : FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION DANS LA ZONE D'ETUDE

- Mesures des débits au niveau de la 5 eme serre

	Q moyen 1ere Rampe (l/h)	Q moyen Rampe à 1/3(l/h)	Q moyen Rampe à 2/3(l/h)	Q moyen Dernière Rampe (l/h)
1 er Goutteur	2,44	2,7	2,71	2,69
Goutteur situé à 1/3	2,41	2,42	1,97	2,61
Goutteur situé à 2/3	1,81	1,86	2,41	2,69
Dernier Goutteur	2,08	2,38	2,38	2,40

- Mesures des débits au niveau de la 6 eme serre

	Q moyen 1ere Rampe (l/h)	Q moyen Rampe à 1/3(l/h)	Q moyen Rampe à 2/3(l/h)	Q moyen Dernière Rampe (l/h)
1 er Goutteur	3,32	3,16	2,53	1,30
Goutteur situé à 1/3	3,1	3,0	2,41	0,60
Goutteur situé à 2/3	3,0	3,26	2,11	1,48
Dernier Goutteur	2,97	3,26	1,98	0,89

- Mesures des débits au niveau de la 7 eme serre

	Q moyen 1ere Rampe (l/h)	Q moyen Rampe à 1/3(l/h)	Q moyen Rampe à 2/3(l/h)	Q moyen Dernière Rampe (l/h)
1 er Goutteur	2,42	2,42	2,70	2,51
Goutteur situé à 1/3	1,94	2,4	2,40	2,4
Goutteur situé à 2/3	2,07	2,39	2,38	2,09
Dernier Goutteur	1,81	2,36	2,09	2,01

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

1. Introduction

L'Algérie comme tous les pays méditerranéens est confrontée de plus en plus au problème du manque d'eau. D'après la Banque Mondiale (Zella et Smadhi, 2006), l'Algérie se classe parmi les pays les plus pauvres en potentialités hydriques, en raison de la mauvaise gestion des ressources en eau dont l'élément le plus important de point de vue pertes est représenté par l'évapotranspiration qui n'est pas prise convenablement en considération par les bureaux d'études. Sa détermination est donc capitale pour une gestion maîtrisée de la ressource en eau, dont en particulier l'estimation des besoins en eau des cultures. L'évapotranspiration représente un terme climatique majeur dans l'estimation de ces besoins et devrait donc jouer un rôle essentiel dans tout aménagement hydro agricole. L'existence de plusieurs formules de calcul de l'évapotranspiration a rendu le choix très difficiles quant à celle qui donne des résultats les plus proches de la réalité notamment dans les zones humides comme la notre.

Un autre défi souvent rencontré dans l'application de ces méthodes réside dans la projection d'ET_o due au changement climatique. Par exemple, les modèles de circulation générale (GCM) ne prévoient comme changements futurs que la température moyenne et les précipitations. Mais, étant donné que certaines méthodes de calcul ont besoin de beaucoup d'autres données (rayonnement, vitesse du vent, rayonnement, humidité relative de l'air, etc...) à côté de la température moyenne et de la pluie pour estimer ET_o, nous avons souvent besoin d'utiliser des modèles de régionalisation à forte intensité de calcul pour prédire ces paramètres. Tous ces problèmes peuvent être surmontés en utilisant des méthodes ET_o simples qui peuvent estimer ET_o à partir de quelques données météorologiques facilement

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

disponibles. Cependant, la préoccupation majeure liée à ces méthodes simples de calcul d'ETo est leur précision et leur fiabilité. Il a été constaté que la précision et la fiabilité de ces méthodes simples sont inégales et dépendent fortement des conditions climatiques d'une région. Par conséquent, l'étude de la performance des méthodes simples est essentielle pour sélectionner la méthode ETo appropriée conformément au climat régional et la disponibilité des données météorologiques

Une estimation précise de l'ETo et ses variations possibles dues au changement climatique sont très cruciales pour la planification et la gestion des ressources en eau des systèmes d'irrigation dans les grands périmètres. L'objectif de cet article est de comparer les performances des cinq méthodes de calculs d'ETo les plus largement utilisés, au niveau des périmètres de Bounamoussa et de Guelma dans le Nord Est de l'Algérie. Ces deux zones présentent des potentialités agricoles importantes et sont spécialisées essentiellement dans l'arboriculture et le maraichage.

2.2. MATERIELS ET METHODES

2.2.1. Zone de l'étude

Les deux zones d'étude se situent dans la région Est de l'Algérie. Elles sont représentées par les périmètres de Bounamoussa et de Guelma d'une superficie respective de 16500 et 9000 hectares (Figure 16).

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

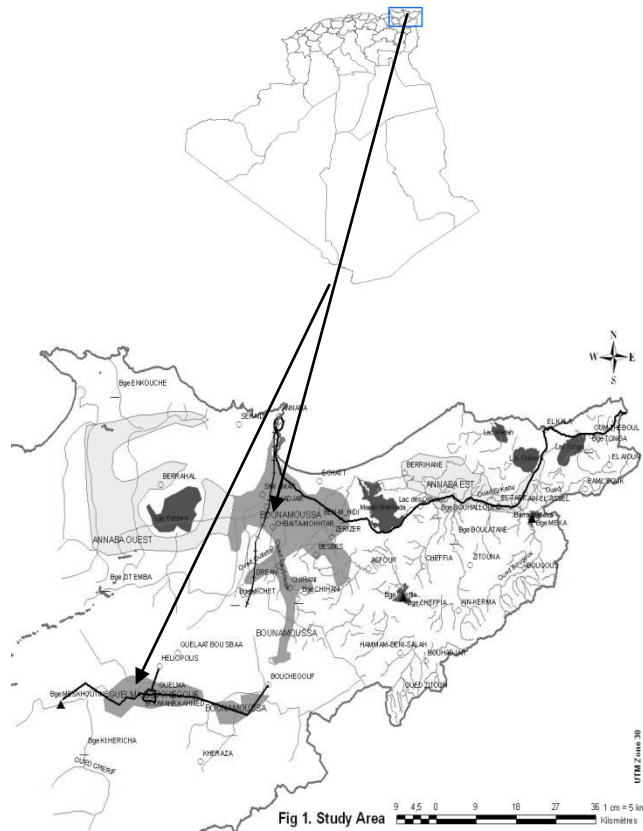


Figure 16. Zone d'étude

Les coordonnées des deux stations sont représentées dans le Tableau 12.

Tableau 12. Coordonnées des deux stations

Paramètres	Annaba	Guelma
Périmètres	Bounamoussa	Guelma
Latitude	36°49'	36°28'
Longitude	7°49'	7°28'
Altitude (m)	4	227

2.2.1.1. Le périmètre de la Bounamoussa

Ce périmètre Occupe la partie Sud-est de la plaine d'Annaba. Il appartient à la série des plaines côtières de l'Est Algérien. Non loin de la mer, le périmètre de la Bounamoussa

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

connaît un climat tempéré humide où la pluviométrie moyenne annuelle est de 680 mm. La température moyenne est de l'ordre de 18,2 C°, la vitesse du vent est très uniforme elle varie de 3,1 à 3,5 m/s. L'humidité relative moyenne varie entre 71 et 79%. Le nombre d'heures d'insolation atteint le minimum moyen en décembre avec 4,5 heures/jour et le maximum en Juillet avec 11,4 heures/jour. Le nombre moyen de jour de sirocco est de 14 jours par an environ, Il est plus fréquent en juillet et en août et dure respectivement 2 à 3 jours/mois (ONM ,2010).

2.2.1.2. Le périmètre de Guelma

Le périmètre s'étend sur 80 Km environ depuis la confluence des oueds Bouhamdane et Cherf donnant naissance à l'oued Seybouse jusqu'au nord de la ville de Dreaan. Le périmètre de Guelma connaît un climat tempéré peu humide où la pluviométrie moyenne annuelle est de 630 mm. La température moyenne est de l'ordre de 18,2 °C, la vitesse du vent est de 1,87 m/s. L'humidité relative moyenne est de 68 %. Le nombre d'heures d'insolation atteint le minimum moyen 4,6 h/j en décembre et le maximum en Juillet avec 11,4 h/j (ONM, 2010). Notons une manifestation très variable du sirocco, il est en général de direction sud- Est très fréquent au niveau de la zone d'étude entraînant une augmentation de l'évapotranspiration.

2.2.2. Méthodologie de travail

2.2.2-1- Collecte des données

La détermination de l'ET_o par les différentes méthodes se base sur un réseau de deux stations agro météorologiques qui fournissent les six données nécessaires (T°max, T°min, Humidité relative, vitesse de vent, insolation et pluie). Le choix de ces deux stations est dicté

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

par la disponibilité de toutes les données sur une période de 20 ans (1995-2011) pour les deux stations (Tableau 13).

Tableau 13. Moyennes annuelles des données climatiques des deux stations sur 20 ans (1992-2012)

station	Tmax	Tmin	Tmoy	H	V	I	R	ETo	P
Annaba	23,6	12,9	18,2	75	333	7,6	16,9	3,63	680,1
Guelma	25,2	11,3	18,2	68	155	7,6	16,9	3,51	630,2

T= Temperature °C , H= Humidité de l'air en %, V= Vent en Km/jour, I= Insolation en heure, R= Rayonnement en MJ/m²/jour, ETo= Evapotranspiration de référence en mm/jour, P= Pluie en mm.

L'appréciation de l'évapotranspiration potentielle est nécessaire notamment pour estimer les besoins en eau d'irrigation (Fuhrer et Jasper, 2009). Elle est considérée comme l'indicateur du développement optimal de la végétation et joue un rôle capital pour l'évaluation des aptitudes climatiques d'une région pour l'agriculture (Calanca et Holzkämper, 2010). Or, il n'est pas si simple de définir précisément l'évapotranspiration potentielle (Brutsaert, 1982), car elle dépend non seulement des conditions de l'atmosphère et du sol, mais aussi des caractéristiques de la végétation. C'est la raison pour laquelle la FAO a introduit dans son rapport 56 sur l'irrigation et le drainage (Allen et al, 1998) le concept d'évapotranspiration de référence (ETo), c'est-à-dire l'évapotranspiration d'un couvert végétal idéal, disposant d'eau à volonté.

Le concept d'évapotranspiration potentielle a probablement été introduit par Thornthwaite (1948) et Brutsaert (1982). Compte tenu des données disponibles à l'époque, il

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

a établi une formule purement empirique, utilisée aujourd'hui encore aux Etats-Unis pour surveiller les cas de sécheresse. Mais ce sont Penman (1948) et plus tard Monteith (1965), qui ont défini les principes théoriques conduisant au développement d'une méthode de calcul physique.

2.2.2.2. Formules et modèle de détermination de l'évapotranspiration de référence

Thornthwaite définit l'ETP comme suit «Elle correspond aux pertes par évaporation directe de l'eau du sol et par transpiration du couvert végétal dense, bien développé, en pleine croissance et surtout bien alimenté en eau ».

Van Bavel (1966) cité par Parré en 2006, définit l'ETP comme suit «l'ETP a lieu lorsque la pression de vapeur au niveau de la surface évaporante est au point de saturation ».

Ces différentes définitions de l'ETP restent vagues et se prêtent à diverses interprétations car le flux d'évaporation est largement dépendant de la surface évaporante. Par conséquent, l'ETP doit se référer à une surface standard donnée. D'où l'introduction de l'évapotranspiration de référence (ET_o). Les problèmes liés au choix de la culture de référence ont été discutés par Allen *et al.* (1998). Certains auteurs utilisent le gazon (Doorenbos et Pruitt, 1977 ; Hargreaves, 1977) et d'autres la luzerne (Penman, 1955 ; Jensen, 1974).

Faouzi en 1999, définit l'ET_o comme suit «Elle correspond à l'évaporation qui serait observée sur une vaste étendue de terrain naturel ou cultivé, adéquatement alimenté en eau, lorsqu'il est exposé aux conditions climatiques spécifiques qui ne sont pas altérées par l'évapotranspiration elle-même ».

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

Pour Smith et al.,(1991) l'évapotranspiration de référence représente le « degré d'évapotranspiration d'une culture de référence ayant une hauteur de 0,12 m, une résistance de couvert de 70 s/m et un albédo de 0,23 identique à l'évapotranspiration d'une surface recouverte d'herbe verte, d'une hauteur uniforme en pleine croissance, recouvrant totalement le sol et ayant de l'eau en suffisance » .

Suite à ces diverses recherches, diverses méthodes ont été établies pour mesurer l'évaporation et l'évapotranspiration. Nous pouvons les classer en trois grandes catégories :

- mesures directes à l'aide des lysimètres ou par l'intermédiaire des bacs évaporants,
- méthodes empiriques,
- méthodes analytiques du bilan hydrique.

L'évapotranspiration de référence est estimée par un ensemble de méthodes physiques et empiriques basées sur les données climatiques et météorologiques. Les méthodes de Thornthwaite, Kutch, Blaney-Criddle et Blaney-Criddle "Soil Conservation Service" sont essentiellement basées sur le paramètre température. Celles de Jensen-Haise, Jensen -Haise modifiée, Priestley-Taylor et Hargreaves s'appuient sur la température et l'insolation. La méthode de Penman-Monteith-FAO qui intègre la température minimale et maximale, l'humidité relative, l'insolation et la vitesse du vent reflèterait, probablement la réalité mieux que les autres méthodes.

Nous exposons ci-dessous certaines de ces méthodes empiriques qui ont été mises en œuvre dans ce travail. Elles ont été choisies d'une part en fonction de la disponibilité des paramètres climatiques qu'elles utilisent, de la fréquence de leur emploi dans les conditions

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

climatiques de l'Algérie, et dans le but d'une comparaison de leurs résultats pour la région du Nord-Est de l'Algérie.

Les méthodes de calcul empiriques sont moins exigeantes que l'équation Penman-Monteith en ce qui concerne les variables d'entrée et peuvent très bien fournir de bons résultats.

2.2.2.2.1. Formule de Thornthwaite (1948)

Entre 1948 et 1957, Thornthwaite a mené des essais sur des sols cultivés et largement approvisionnés en eau durant toute la période de végétation active. Utilisant par la suite les données de bassins versants et les ajustements statistiques des mesures expérimentales de l'ETP obtenues sur des cases lysimétriques, il a abouti à l'équation suivante :

$$Et_o = 16 * N_m ((10 * T_m) / I)^a \quad (23)$$

Avec

Eto : Evapotranspiration de référence en mm/mois.

Tm : Température moyenne journalière du mois en °C.

Nm : Facteur d'ajustement relatif aux heures diurnes (valeurs données dans les tables).

$$a = 6.75 * 10^{-7} * I^3 - 7.71 * 10^{-5} * I^2 + 1.792 * 10^{-2} * I + 0.49239$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1.514} \quad (24)$$

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

Cette méthode a l'avantage de ne faire appel qu'à la température, paramètre beaucoup plus accessible dans les différentes stations. Cependant elle néglige les autres facteurs climatiques et physiques importants dans le processus de l'évapotranspiration.

2.2.2.2.2. Formule de Blaney-Criddle (1950)

Sur la base de mesures effectuées à New Mexico et au Texas. En 1950, Blaney et ses collaborateurs ont mis au point une formule empirique liant l'évaporation à la température, à l'humidité relative et au pourcentage d'éclairement, cependant ils excluent l'humidité relative et adoptent la formule originale de Blaney-Criddle suivante :

$$E_{to} = P (0,46 * T + 8,13) \quad (25)$$

Avec

E_{to} : Evapotranspiration de référence en mm/j.

P : Pourcentage journalier moyen des heures annuelles de lumière diurne.

T : Température moyenne en °C.

2.2.2.2.3. Formule de Blaney-Criddle "Soils Conservation Service" (USDA, 1962)

En 1962, le Département de l'Agriculture des Etats Unis (USDA) fait intervenir le facteur K_t dans l'équation précédente.

$$E_{to} = (0,48T + 8,13) * P * K_t \quad (26)$$

Avec

K_t : Facteur dépendant de la température tel que : $K_t = (0,031 * T + 0,24)$.

Blaney-Criddle (Blaney et Criddle, 1950) et Blaney-Criddle « Soil Conservation Service » (Blaney et Criddle, 1962) ont été recommandées pour des régions où les données climatiques sont insuffisantes (Doorenbos et Pruitt, 1997).

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

2.2.2.2.4. Formule de Turc (1953)

Après plusieurs années de recherches sur les cases lysimétriques, Turc aboutit à une formule plus complexe que les précédentes donnant l'ET_o en fonction de l'insolation et de la température.

***A/ Humidité relative > 50 %** (moyenne du mois) :

$$ET_o \text{ mm/mois} = (0.40 T / T+15) (I_g+50) \quad (27)$$

(Pour le mois de février, le coefficient 0,40 doit être remplacé par 0,37)

ET_o = évapotranspiration de référence en mm/mois

t = température moyenne du mois en °C

I_g = radiation globale réelle en petites calories par cm² de surface horizontale et par jour, pendant la période considérée.

$$I_g = I_gA (0,18 + 0,62 n/N) \quad (28)$$

I_{gA} : radiation globale théorique, sans nuage à la latitude considérée, elle est donnée par les tables.

***B/ Humidité relative < 50 % :**

$$ET_o/\text{mm/mois} = (0.40 T / T+15) (I_g+50) (1+[50-H\% / 70]) \quad (29)$$

(Pour le mois de février, 0,40 doit être remplacé par 0,37)

2.2.2.2.7. Formule de Priestley-Taylor (Priestley & Taylor, 1972)

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

La formule ci-dessous mentionnée a été développée par Priestley et Taylor en 1972 suite à des essais sur des cuves lysimétriques dans des régions humides et semi-humides. Elle a par la suite été testée avec succès dans différentes régions arides (Monteith, 1981 ; Hess, 1997).

$$E_{to} = \alpha * \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} * \frac{R_n}{\lambda} \quad (30)$$

Avec :

E_{to} : Evapotranspiration de référence (mm/j).

Δ : Pente de la courbe de pression de vapeur saturante-température (Kpa/°C)

γ : Constante psychrométrique (Kpa/°C).

R_n : Radiation nette (Mj/m²/j).

α : Coefficient de Priestley-Taylor (1.26).

λ : Chaleur latente de vaporisation (Mj/Kg).

2.2.2.2.8. Formule de Hargreaves (1982)

Elle est le fruit de huit (8) années d'étude sur des données de lysimètre de David dans la région froide d'Alta en Californie. Les données de radiation solaire R_s n'étant pas toujours fiables et disponibles, Hargreaves et Samani (1982) proposèrent d'estimer R_s à partir de R_a et d'utiliser la différence entre les moyennes maximale et minimale des températures mensuelles.

$$E_{to} = 0,0023 * R_a * (T_m + 17,8) * (T_{max} - T_{min})^{0,5} \quad (31)$$

Avec :

E_{to} : Evapotranspiration de référence (mm/j) ;

R_a : La radiation extraterrestre pour le mois et à une latitude donnée (mm/j).

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

T_m : température moyenne journalière du mois en °C.

T_{max} : température maximale journalière du mois en °C.

T_{min} : température minimale journalière du mois en °C.

2.2.2.2.10. Formule de Penman-Monteith FAO (Allen et al. 1998)

L'équation originale de Penman établie en 1948 sur une nappe d'eau libre, combinait l'équation du bilan d'énergie et l'équation aérodynamique de transfert de la vapeur d'eau pour donner une formulation physique au mécanisme d'évaporation. Elle fut étendue à un couvert végétal par Monteith (1965).

À partir de l'équation originale de Penman-Monteith et des équations de la résistance aérodynamique et de surface, la méthode FAO Penman-Monteith pour estimer E_{To} peut être exprimée :

$$E_{to} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (32)$$

E_{to} : évapotranspiration de référence (mm / jour).

R_n : radiation nette à la surface de la culture (MJ / m².j).

G : flux de chaleur du sol (MJ / m².jour).

T : température moyenne à 2 m au dessus du sol (°C).

U₂ : vitesse du vent mesurée à 2m (m/s).

(e_a-e_d) : déficit pression de vapeur (kPa).

Δ: Pente de la courbe de tension de vapeur (kPa/°C).

γ: Constante psychrométrique (kPa/°C).

0.34 : coefficient de vitesse du vent (s/m).

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

ea : pression de vapeur saturante de l'air (kPa).

ed : pression de vapeur actuelle de l'air (kPa).

L'équation utilise des mesures climatologiques standard de rayonnement solaire (insolation), température de l'air, humidité et vitesse du vent. Pour assurer la précision des calculs, les mesures climatiques doivent être faites à 2 m (ou converties à cette hauteur) au-dessus d'une surface vaste de gazon couvrant le sol et non limitée en eau.

- **Importance de la formule de Penman-Monteith**

En effet, des études au Sahel (Monteith, 1981) et dans d'autres régions arides (Hess, 1998; Jensen et Haise, 1963; Jones et al. 1981) ont montré que l'équation de Penman-Monteith-FAO était la plus adaptée pour l'estimation de l'Eto dans les environnements arides et semi-arides. La FAO en collaboration avec le Comité International d'irrigation et de Drainage (C.I.I.D), lors d'un colloque à Rome du 28 au 31 mai 1990, ont également recommandé la méthode de Penman-Monteith-FAO, avec des paramètres de rugosité et de résistance de surface normalisés, comme moyen de détermination de l'Eto. Ils concluent que la sélection de cette méthode de calcul appropriée contribue à éliminer les problèmes liés à la mesure de l'Eto sur une culture de référence vivante, et permet l'obtention des valeurs d'Eto consistantes dans toutes les régions du globe. Selon FAO et CIID (1990), les données agro météorologiques enregistrées par les stations dont la température de l'air, la vitesse du vent, l'humidité, le rayonnement global sont les paramètres nécessaires et suffisants pour calculer l'évapotranspiration de référence selon l'équation de Penman-Monteith-FAO.

- **Description du logiciel CROPWAT8.0**

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

Pour la détermination d'ET_o nous avons utilisé le modèle CROPWAT 8.0 mis au point par la FAO en 1992 qui est disponible gratuitement sur le site de la FAO. Le fonctionnement du modèle nécessite l'utilisation des données suivantes :

- Températures moyennes mensuelles min et max (°C),
- Précipitation moyenne mensuelle (mm),
- Humidité relative moyenne mensuelle (%),
- Vitesse du vent moyenne mensuelle (m/s),
- Durée d'insolation moyenne mensuelle (heure/j).

L'entrée des données (les 5 données climatiques) permet au modèle de calculer automatiquement les paramètres suivants : ET_o ; Rayonnement ; pluie efficace.

Le logiciel CROPWAT8.0 exige 5 données climatiques d'une station météorologique normalisée, il requiert des informations de la station (pays, nom, altitude, latitude et longitude). Pour que cette dernière soit représentative elle doit être la plus proche de la zone agricole (Doorenbos et Kassam, 1987). Dans le cas où la station la plus représentative ne donne pas les 5 données climatiques il est conseillé de les estimer, la FAO propose les méthodes d'estimation de l'humidité relative, rayonnement, et la vitesse de vent dans son Bulletin-56 de l'année 1998.

- **Paramètres ne pouvant pas être modifiés et incohérence du logiciel**

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

Le logiciel a également quelques incohérences ; pour de faibles vitesses de vent, de petites variations de l'humidité entraînent des variations anormales de l'ET_o ; en effet, pour une vitesse de vent inférieure à 50km/h en moyenne et en faisant augmenter l'humidité de 10%, nous provoquons une augmentation de l'ET_o, alors qu'une augmentation de l'humidité devrait entraîner une diminution de l'ET_o.

Pour les différents calculs exécutés par le logiciel CROPWA8.0, certains paramètres sont plus sensibles que d'autres. Ainsi, une variation même de 0,1 mm de l'ET_o entraîne une variation du rendement. Sachant que l'ET_o est calculée à partir des températures max, min, de l'humidité de l'air, de la vitesse du vent et de la durée d'ensoleillement, de petites variations de ces paramètres peuvent entraîner des modifications de l'ET_o. Ainsi, tous les paramètres climatiques ont une sensibilité plus ou moins élevée, et il serait bon de collecter les données avec beaucoup de précision. De plus pour obtenir une meilleure précision pour le calcul de l'ET_o, il est préférable d'avoir toutes les données.

2.2.3. Importance de l'évapotranspiration de référence dans l'agronomie

La notion d'évapotranspiration de référence est, au point de vue agronomique, d'importance primordiale puisqu'elle correspond dans le cas le plus général, au régime hydrique optimal des plantes. Par ailleurs, intégrant plusieurs facteurs tels que la température, l'insolation, le vent, l'humidité de l'air. L'évapotranspiration potentielle, surtout comparée à la pluviométrie, permet de caractériser fiablement un climat.

2.2.3.1. Facteurs influant sur l'évapotranspiration d'une culture

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

Les principaux facteurs déterminant l'évapotranspiration de référence sont les paramètres climatiques, les caractéristiques culturales, les pratiques d'exploitation et les aspects environnementaux. Sur le plan climatique, l'évapotranspiration est principalement influencée par le rayonnement solaire, la température et l'humidité de l'air et la vitesse du vent. Le type de culture, la variété cultivée et les stades de développement de la plante interviennent également. Selon le degré de résistance de la culture à la transpiration, sa hauteur, sa rugosité, sa réflectivité, l'étendue du couvert végétal et les caractéristiques de l'enracinement, les niveaux d'évapotranspiration diffèrent dans des conditions environnementales identiques.

Des éléments tels que la salinité du sol, le manque de fertilité des terres, l'utilisation réduite d'engrais et de produits chimiques, une protection inadéquate contre les ravageurs et les maladies, une mauvaise gestion des sols ou la faible disponibilité en eau dans la zone racinaire peuvent freiner le développement de la culture et limiter l'évapotranspiration. La couverture du sol et la densité de plantation jouent également un rôle. Les pratiques culturales et le type de système d'irrigation utilisés peuvent modifier le microclimat, les caractéristiques de la culture ou l'humidification de la surface du sol et de la culture. Tous ces paramètres ont une incidence sur l'évapotranspiration.

2.2.4. Choix de la formule à adopter

Les formules mises au point pour calculer l'évapotranspiration de référence sont nombreuses, trop nombreuses même, plus d'une centaine en référence à la bibliographie spécialisée. Mais seules quinze à vingt d'entre elles ont acquis une indiscutable notoriété. Le

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

calcul se fait habituellement en prenant le mois comme unité de temps. Nous avons opté pour le choix de cinq formules dont celle de Penman-Monteith-FAO.

L'évapotranspiration de référence est toujours exprimée en hauteur d'eau et très généralement en mm ce qui facilite la comparaison avec d'une part les précipitations et d'autre part la réserve en eau du sol. Le choix de l'outil CROPWAT a été fait après analyse de différents modèles. Le critère de sélection adopté a été la disponibilité de données exigées par chacun des modèles. Les contraintes de temps ne permettent pas de faire recours à un autre outil plus compliqué et plus exigeant nécessitant le recours à l'expérimentation in-situ. Le modèle CROPWAT bien que reconnu comme étant un excellent outil pour la simulation et la réduction de rendement reste cependant incomplet pour la modélisation complète du processus de développement et de croissance des cultures.

2.3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

2.3.1. Variations de l'ET_o calculées par les cinq formules

Nous avons calculé l'évapotranspiration de référence avec les cinq formules empiriques présentées ci-dessus. Les résultats obtenus par les différentes méthodes ont été par la suite comparés à ceux obtenus par celle de Penman-Monteith pour les deux stations. Cette formule est considérée par tous les chercheurs comme la plus fiable et celle qui reflète le mieux la réalité.

Les résultats obtenus (Tableau 14) montrent que l'ET_o varie d'une formule à l'autre dans les deux stations. Cette variation est due à plusieurs raisons telles que la différence qui existe entre ces formules entre elles relativement aux données utilisées, le climat dans lequel elles

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

ont été appliquées, les concepteurs de ces formules et de la position géographique des régions d'étude, ce qui explique l'impact des paramètres climatiques sur les variations de l'ET_o.

Tableau 14. Evapotranspiration de référence mensuelle calculée par différentes formules pour les deux zones Annaba et Guelma

	FAO		Blaney-Criddle		Priestley-Taylor		Hargreaves		Turc		T moy (°C)	
	Ann	Gue	Ann	Gue	Ann	Gue	Ann	Gue	Ann	Gue	Ann	Gue
Jan	1,7	1,31	1,95	1,71	2,62	2,55	3,73	3,78	10,43	9,66	11,9	10,4
Fev	2,1	1,76	2,13	1,92	3,56	3,5	4,99	5,21	10,21	9,62	12,0	10,8
Mar	2,78	2,56	2,62	2,46	4,93	4,87	6,97	7,6	12,55	12,15	13,6	12,8
Avr	3,46	3,34	3,31	3,18	6,38	6,24	9,2	10,15	14,27	13,96	15,7	15,1
Mai	4,33	4,41	4,43	4,66	7,91	7,92	11,34	13,59	16,29	16,48	18,9	19,7
Juin	5,35	5,75	5,64	6,26	9,18	9,5	13,22	16,72	18,04	18,57	22,3	24,2
Juill	6,11	6,58	6,58	7,18	10,12	10,37	13,96	17,73	19,16	19,55	25,1	26,6
Aou	5,83	5,99	6,46	7,18	9,12	9,24	13,02	16,14	18,66	19,18	25,9	28,0
Sep	4,46	4,21	5,29	5,45	6,64	6,82	9,9	11,43	16,58	16,79	23,6	24,1
Oct	3,31	2,93	3,97	3,92	4,75	4,91	7,34	8	14,67	14,69	20,6	20,4
Nov	2,34	1,88	2,69	2,45	3,1	3,11	4,69	4,79	12,31	11,86	16,0	14,8
Dec	1,79	1,39	2,04	1,82	2,36	2,33	3,55	3,57	10,73	10,13	13,0	11,7

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

2.3.1.1. Formule de Penman-Monteith FAO (Allen et al. 1998)

Les résultats des calculs par le logiciel CROPWAT 8.0 sont présentés dans les Tableaux 15 et 16).

Tableau 15. Détermination d'ET_o en fonction des données climatiques moyenne mensuelle de la station Annaba sur 20 ans

The screenshot shows the 'ETo Penman-Monteith par mois' software interface. The title bar indicates the file path: 'D:\Documents and Settings\All Users\Application Da...'. The input fields are: Pays: Algerie, Station: Annaba, Altitude: 3 m., Latitude: 36.50 °N, and Longitude: 7.48 °E. Below the inputs is a table with 8 columns: Mois, Temp Min (°C), Temp Max (°C), Humidité (%), Vent (km/jour), Insolation (heures), Ray. (MJ/m²/jour), and ET_o (mm/jour). The table contains monthly data from January to December, plus a 'Moyenne' (Average) row at the bottom. The 'Ray.' and 'ET_o' columns are highlighted in yellow.

Mois	Temp Min °C	Temp Max °C	Humidité %	Vent km/jour	Insolation heures	Ray. MJ/m ² /jour	ET _o mm/jour
Janvier	7.1	16.6	78	324	5.1	8.9	1.70
Février	7.0	17.1	77	338	6.1	12.0	2.10
Mars	8.2	19.0	76	346	7.1	16.0	2.78
Avril	10.2	21.1	76	331	7.9	19.7	3.46
Mai	13.5	24.4	75	321	9.0	22.8	4.33
Juin	16.6	28.1	73	340	10.4	25.4	5.35
Juillet	19.2	30.9	71	351	11.4	26.5	6.11
Août	20.1	31.8	71	340	10.3	23.5	5.83
Septembre	18.2	28.9	73	332	7.9	17.8	4.46
Octobre	15.0	26.1	74	305	6.7	13.4	3.31
Novembre	11.0	21.1	75	330	5.3	9.5	2.34
Décembre	8.3	17.7	77	341	4.5	7.7	1.79
Moyenne	12.9	23.6	75	333	7.6	16.9	3.63

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

Tableau 16. Détermination d'ET_o en fonction des données climatiques moyennes mensuelles de la station Guelma sur 20 ans

The screenshot shows the 'ETo Penman-Monteith par mois' application window. The title bar reads 'ETo Penman-Monteith par mois - D:\Documents and Settings\All Users\Application Da...'. The interface includes input fields for 'Pays' (Algerie), 'Station' (Guelma), 'Altitude' (227 m), 'Latitude' (36.28 °N), and 'Longitude' (7.28 °E). Below these fields is a table with 8 columns: Mois, Temp Min, Temp Max, Humidité, Vent, Insolation, Ray., and ETo. The table contains monthly data from January to December, plus a 'Moyenne' (Average) row. The 'Ray.' and 'ETo' columns are highlighted in yellow.

Mois	Temp Min	Temp Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ETo
	°C	°C	%	km/jour	heures	MJ/m ² /jour	mm/jour
Janvier	4.9	15.9	76	144	5.1	8.9	1.31
Février	4.7	16.8	75	153	6.2	12.1	1.76
Mars	5.9	19.6	73	161	7.1	16.0	2.56
Avril	8.2	22.1	72	168	7.6	19.3	3.34
Mai	12.1	27.3	68	154	8.7	22.4	4.41
Juin	15.7	32.6	60	166	10.2	25.1	5.75
Juillet	18.4	36.2	55	165	11.4	26.5	6.58
Août	19.7	36.2	57	158	10.0	23.1	5.99
Septembre	17.1	31.1	67	144	8.0	18.0	4.21
Octobre	13.6	27.1	69	131	7.0	13.8	2.93
Novembre	9.0	20.5	72	154	5.5	9.7	1.88
Décembre	6.4	16.9	75	167	4.6	7.9	1.39
Moyenne	11.3	25.2	68	155	7.6	16.9	3.51

2.3.1.1. Formule de Blaney-Criddle

De toutes les méthodes utilisées pour calculer l'évapotranspiration de référence ET_o, seule la formule de Blaney-Criddle « Soil Conservation Service » donne des résultats similaires à ceux de Penman-Monteith (FAO) en utilisant les données climatiques mensuelles. Les variations mensuelles inter- annuelles montrent cependant que la méthode sous-estime considérablement l'ET_o pendant le mois de mars et avril qui sont caractérisés

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

par des températures modérées, des vents secs et des précipitations régulières. Sachant que le vent n'est utilisé que par la formule de Penman-Monteith (FAO), l'absence de cette donnée climatique dans cette formule pourrait expliquer cette sous estimation. Blaney-Criddle « Soil Conservation Service » conduit à de très bons résultats au mois de février (Eto Penman-Monteith=Eto Blaney-Criddle).

2.3.1.2. Formule de Priestley-Taylor

Les résultats obtenus par la méthode de Priestley-Taylor durant les mois de décembre et janvier sont proches à ceux de Penman-Monteith. Ces mois sont caractérisés par des températures basses, des vents modérés, une insolation faible et une humidité relative élevée. Elle surestime par contre le paramètre ETo pendant le reste de l'année.

2.3.1.3. Formule de Hargreaves

Parmi les formules utilisant la température et l'insolation, celle de Hargreaves qui surestime énormément le paramètre ETo par rapport à ceux calculés **par** la méthode de Penman-Monteith pendant tous les mois de l'année.

2.3.1.4. Formule de Turc

La méthode TURC surestime considérablement le paramètre ETo tout le long de l'année. Elle donne des valeurs très élevées par rapport aux autres méthodes surtout celle de Penman-Monteith.

L'utilisation de La formule de TURC surestimant ETo dans cette région d'étude serait déconseillée, de même pour la formule de Hargreaves et à moindre degré pour la formule de Priestley-Taylor. Par contre l'utilisation de la formule Blaney-Criddle « Soil Conservation Service » est possible car elle donne pratiquement les même résultats que la formule de

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

référence Penman-Monteith(FAO) de plus elle exige uniquement les données de température qui sont disponibles. Elle sous-estime l'évapotranspiration par rapport à celle de Penman-Monteith-FAO sur une longue période de l'année d'octobre à juin, et conduit à des valeurs trop élevées durant les mois chauds. Contrairement aux méthodes TURC, Priestley-Taylor, Hargreaves qui la surestiment.

2.3.2. Analyse statistique de la répartition d'ETo

L'analyse statistique utilisant le logiciel **Minitab** 14.1 montre une variation et une différence hautement significative de l'ETo saisonnière entre les cinq méthodes de calculs utilisée pour les deux stations agro météorologiques ce qui se traduit par la création d'un groupement pour les quatre saisons dont :

- 1saison : janvier+février+mars.
- 2saison : avril+mai+juin.
- 3saison : juillet+aout+septembre.
- 4saison : octobre+novembre+décembre.

Les tableaux ci-dessous présentent les groupes formés en fonction des valeurs moyennes d'ETo calculées par chacune des formules, pour les quatre saisons de l'année, l'on constate une agrégation de groupes en groupes homogène, groupes hétérogène et un chevauchement entre les deux groupes.

Les cinq méthodes utilisées sont les suivantes :

- Penman-Monteith représente la méthode 1
- Blaney-Criddle représente la méthode 2
- Priestley-Taylor représente la méthode 3

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

- Hargreaves représente la méthode 4

- Turc représente la méthode 5

Tableau17. Répartition d'ETo saisonnière pour la Première saison (Annaba)

METHODE	N	Moyenne	Groupement
5	48	11,067	A
4	48	5,237	B
3	48	3,707	C
2	48	2,238	D
1	48	2,174	D

Tableau 18. Répartition d'ETo saisonnière pour la Première saison (Guelma)

METHODE	N	Moyenne	Groupement
5	45	10,480	A
4	45	5,532	B
3	45	3,644	C
2	45	2,033	D
1	45	1,864	D

D'après les Tableaux 17 et 18 nous constatons la même répartition d'ETo pour les deux stations, en aboutissant à la formation de 4 groupes différents dont deux méthodes partageant le même groupe. Les groupes formés sont :

- Groupe A : méthode 5.

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

- Groupe B : méthode 4.
- Groupe C : méthode 3.
- Groupe D : méthode1+méthode 2.

La méthode 5 présente la moyenne la plus élevée d'ETo pour la Première saison par apport aux autres méthodes. Les deux autres méthodes 4 et 3 présentent des valeurs moyennes intermédiaire par contre les méthodes 2 et 1 constituent un groupe homogène en raison des valeurs d'ETo moyenne très proches.

Tableau19. Répartition d'ETo saisonnière pour la Deuxième saison (Annaba)

METHODE	N	Moyenne	Groupement
5	48	12,208	A
4	48	11,260	B
3	48	7,828	C
2	48	4,464	D
1	48	4,379	D

Tableau20. Répartition d'ETo saisonnière pour la Deuxième saison (Guelma)

METHODE	N	Moyenne	Groupement
5	45	16,340	A
4	45	13,491	B
3	45	7,890	C
2	45	4,705	D
1	45	4,526	D

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

Les Tableaux 19 et 20 nous indiquent la même répartition d'ETo pour les deux stations, comme la Première saison quatre groupes différents sont formés dont :

- Groupe A : méthode 5.
- Groupe B : méthode 4.
- Groupe C : méthode 3.
- Groupe D : méthode 1+méthode 2.

La méthode 5 présente toujours la Moyenne la plus élevée d'ETo par rapport aux autres méthodes et la liaison entre les deux méthodes 1 et 2 a lieu en raison des valeurs très proches entre les deux méthodes qui traduisent par la formation d'un groupe homogène.

Tableau 21. Répartition d'ETo saisonnière pour la Troisième saison (Annaba)

METHODE	N	Moyenne	Groupement
5	48	18,141	A
4	48	12,296	B
3	48	8,634	C
2	48	6,115	D
1	48	5,457	D

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

Tableau22. Répartition d'ETo saisonnière pour la Troisième saison (Guelma)

METHODE	N	Moyenne	Groupement
5	45	18,509	A
4	45	15,106	B
3	45	8,817	C
2	45	6,607	D
1	45	5,601	E

Les tableaux 21 et 22 représentent la répartition d'ETo pour les deux stations. Elle est totalement différente dans cette saison et la station Annaba reste fidele aux deux saisons précédente par une même répartition d'ETo par la formation de quatre groupes dont :

- Groupe A : méthode 5.
- Groupe B : méthode 4.
- Groupe C : méthode 3.
- Groupe D : méthode1+méthode 2.

Par contre pour la station Guelma aucune méthode liée avec l'autre chaque méthode constitue un groupe a part et on note cinq groupes formé dans cette période de l'année dont :

- Groupe A : méthode 5.
- Groupe B : méthode 4.
- Groupe C : méthode 3.
- Groupe D : méthode 2.
- Groupe E : méthode 1.

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

Avec des valeurs très élevées d'ET_o pour les méthodes 4 et 5 en raison des paramètres climatiques qui augmentent en valeur maximum pendant ces périodes, est une raison supplémentaire de séparation des méthodes 2 et 1 en deux groupes différents au contraire des saisons passées.

Tableau23. Répartition d'ET_o saisonnière pour la Quatrième saison (Annaba)

METHODE	N	Moyenne	Groupement
5	48	12,575	A
4	48	5,196	B
3	48	3,410	C
2	48	2,902	C D
1	48	2,469	D

Tableau24. Répartition d'ET_o saisonnière pour la Quatrième saison (Guelma)

METHODE	N	Moyenne	Groupement
5	45	12,234	A
4	45	5,456	B
3	45	3,455	C
2	45	2,736	C D
1	45	2,066	D

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

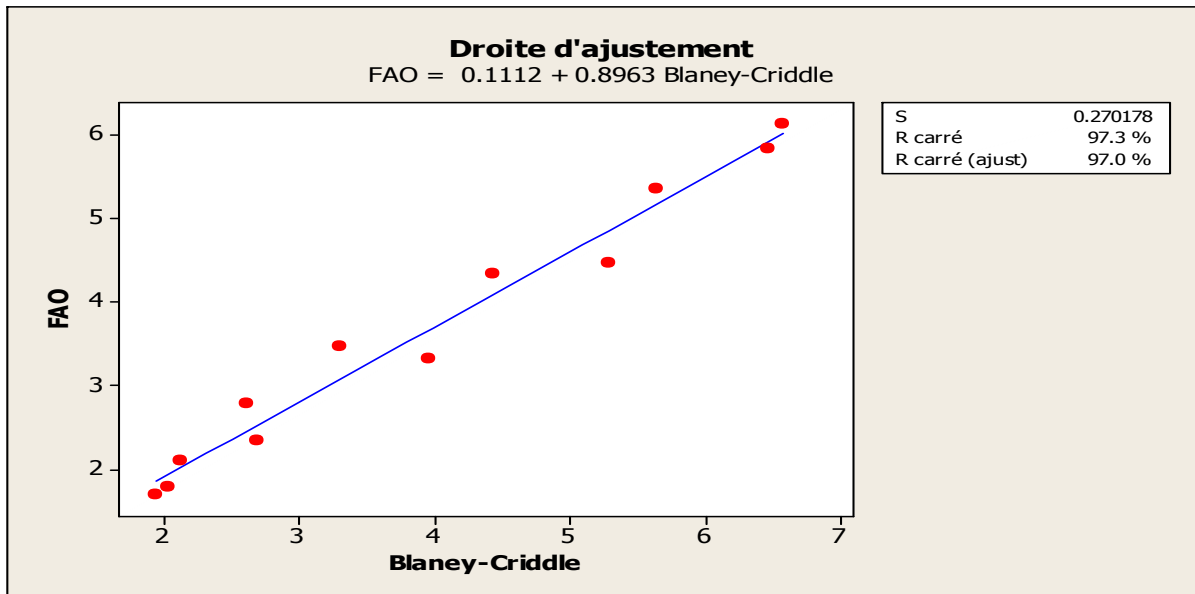
Les Tableaux 23 et 24 montrent la même répartition d'ET_o pour les deux stations mais on remarque qu'on a abouti à l'apparition d'un nouveau type de relation qui est le chevauchement d'une méthode entre deux groupes dont :

- Groupe A : méthode 5.
- Groupe B : méthode 4.
- Groupe C : méthode 3.
- Groupe C, D : méthode 2.
- Groupe D : méthode 1.

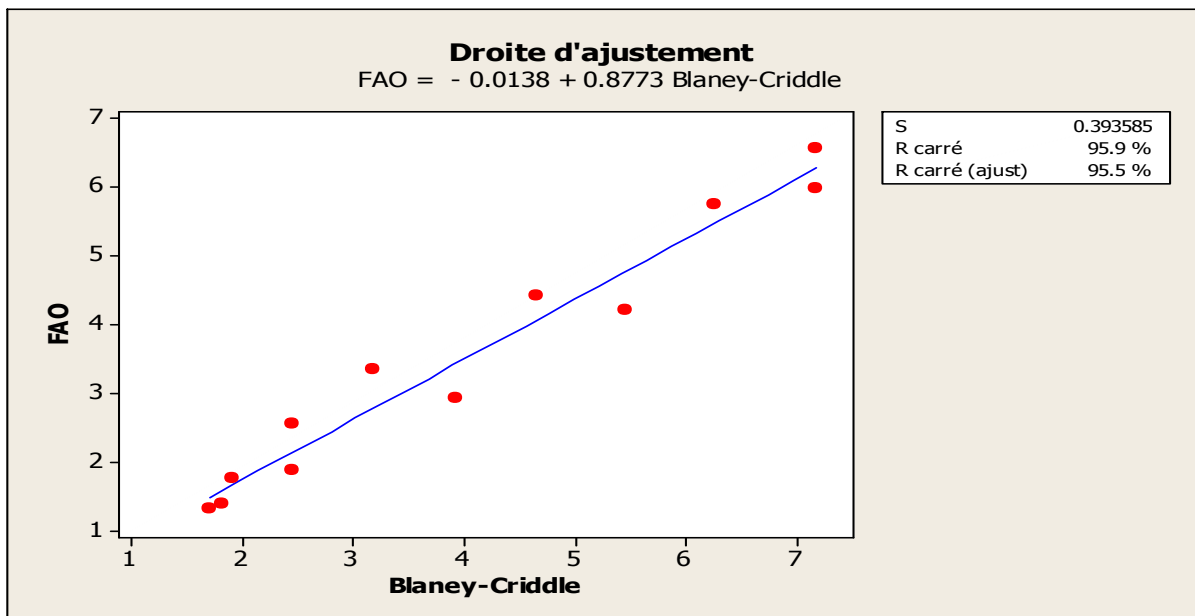
La méthode 2 présente un chevauchement entre deux méthodes différentes 3 et 1 car les valeurs d'ET_o obtenues par cette méthode présentent des valeurs très proches de la méthode 3 et de la méthode 1 avec une moyenne intermédiaire entre les deux. La méthode 5 toujours présente la moyenne d'ET_o la plus élevée.

Les résultats obtenus suite à l'analyse statistique de la répartition d'ET_o saisonnière calculée par les cinq formules montrent qu'il existe une grande variation entre les formules (5, 4,3) qui ont toujours des valeurs différentes que les deux autres (1 et 2) qui présentent presque les mêmes valeurs d'ET_o au cours des saisons. Le remplacement de la méthode 1 (Penman-Monteith) qui est la plus performante par la méthode 2 (Blaney-Criddle) qui nécessite moins des données climatiques (température) est possible dans notre région d'étude. Les analyses de corrélations des différentes méthodes sont présentées dans les Figures 17 à 24.

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE



**Figure17 : Analyse de régression : ETo FAO en fonction d'ETo Blaney-Criddle
(Annaba)**



**Figure 18 : Analyse de régression : ETo FAO en fonction d'ETo Blaney-Criddle
(Guelma)**

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

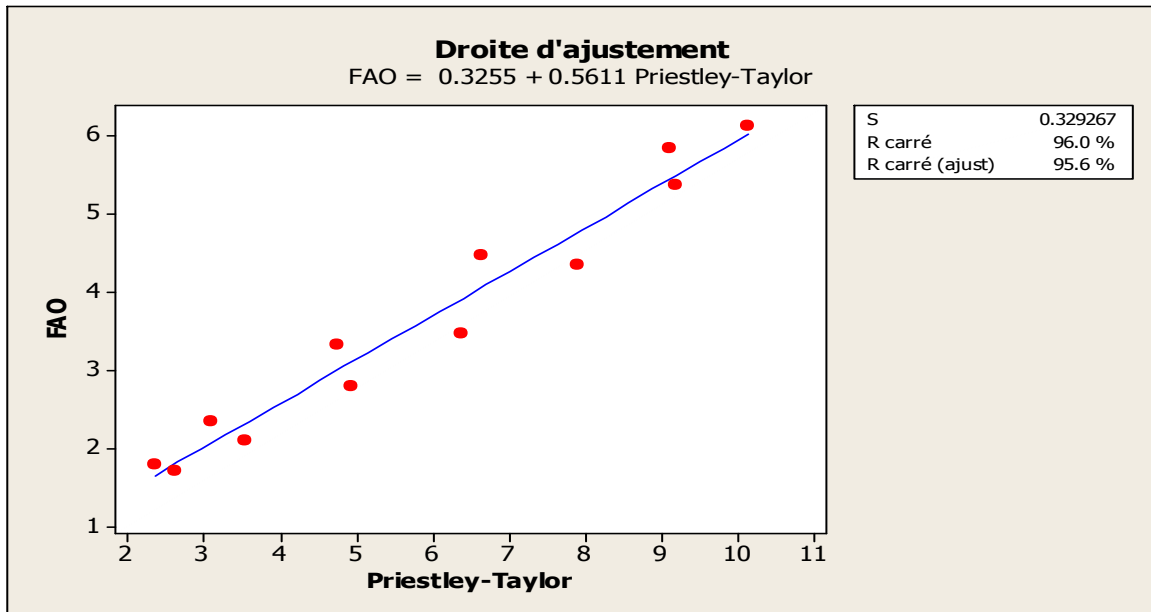


Figure 19 : Analyse de régression : ETo FAO en fonction d'ETo Priestley-Taylor

(Annaba)

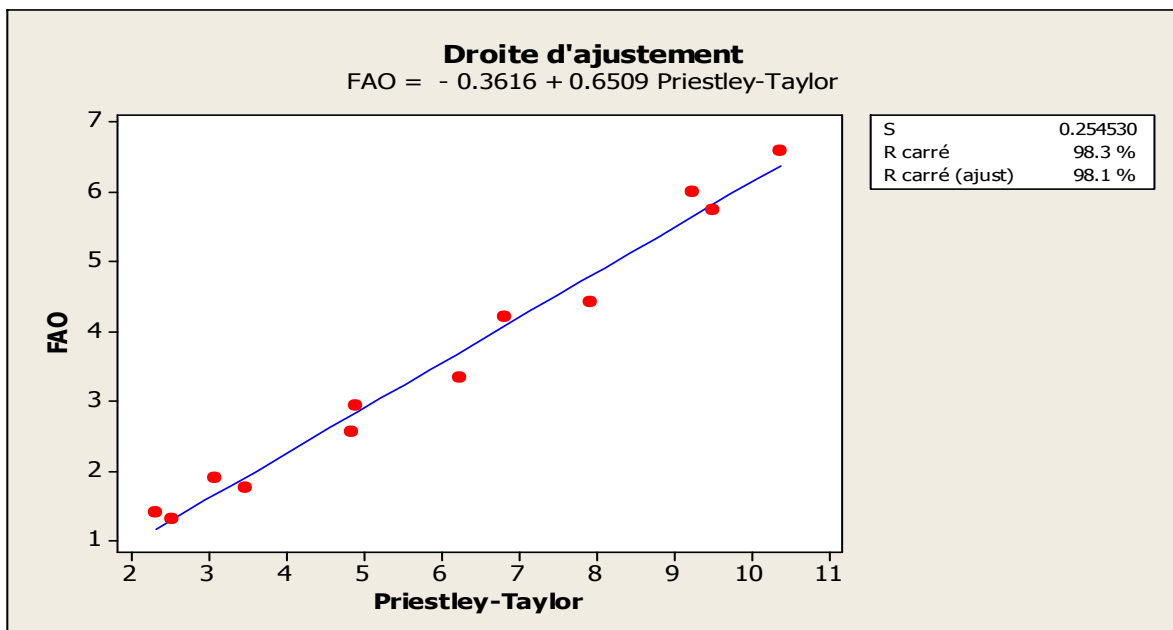


Figure 20 : Analyse de régression ETo FAO en fonction d'ETo Priestley-Taylor

(Guelma)

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

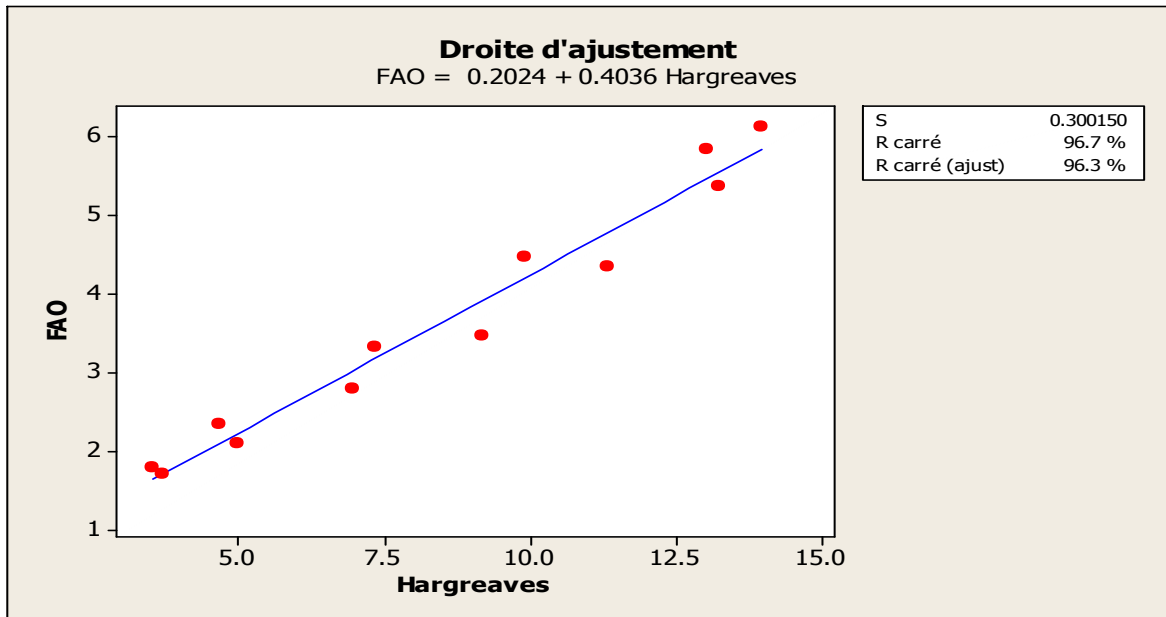


Figure 21 : Analyse de régression ETo FAO en fonction d'ETo Hargreaves (Annaba)

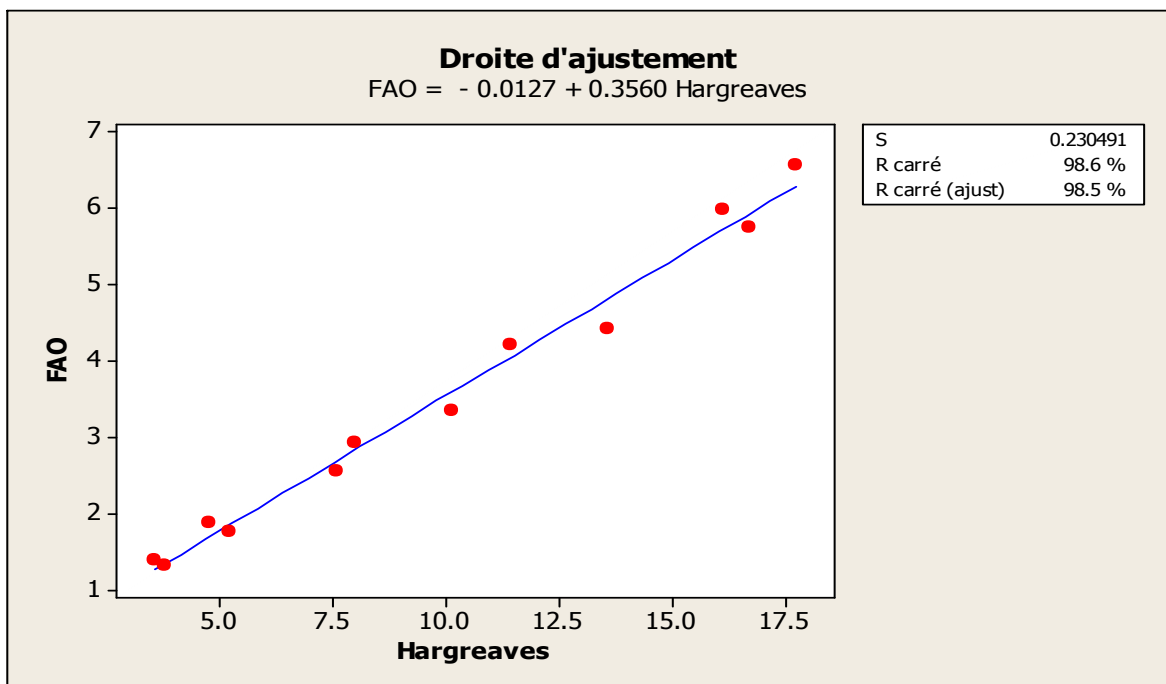


Figure22 : Analyse de régression : ETo FAO en fonction d'ETo Hargreaves (Guelma)

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

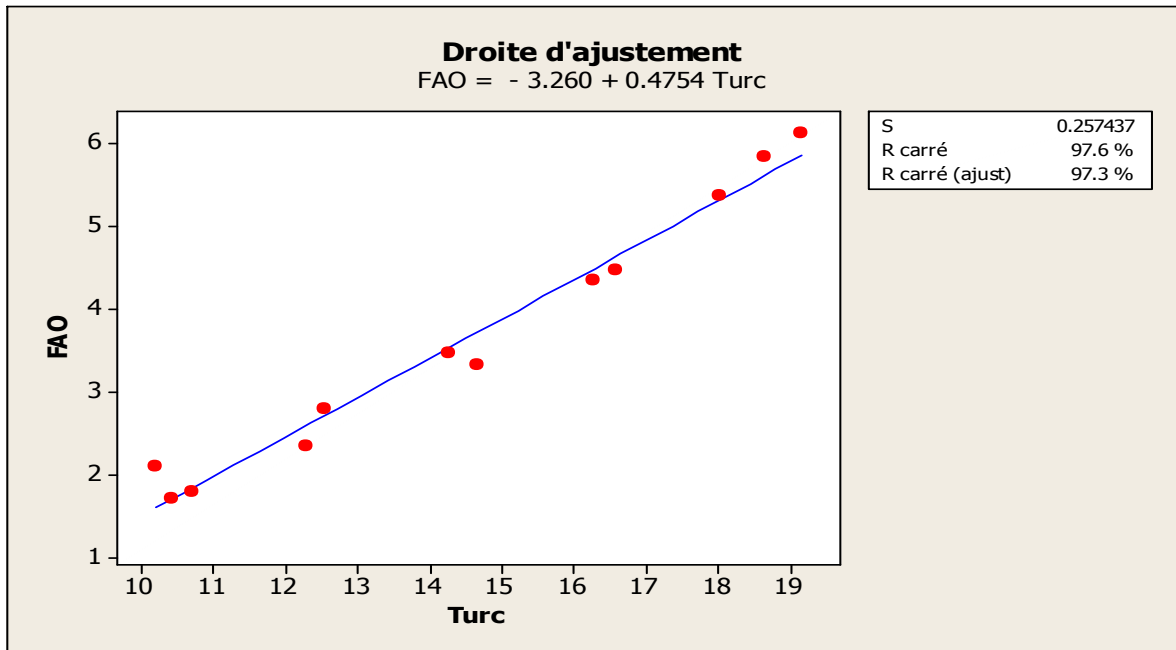


Figure23 : Analyse de régression : ETo FAO en fonction d'ETo Turc (Annaba)

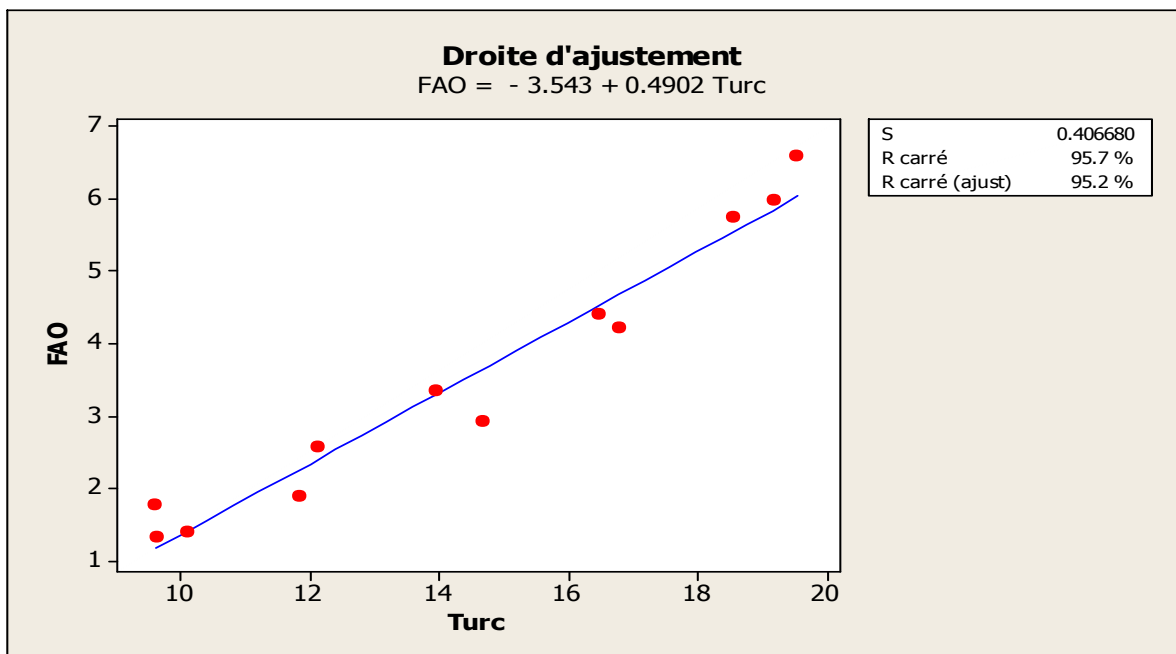


Figure24. Analyse de régression : ETo FAO en fonction d'ETo Turc (Guelma)

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

2.4. Conclusion

Il ressort de cette étude que l'application des différentes formules empirique d'estimation d'ET_o dans les deux stations agro météorologiques (Annaba, Guelma) conduit à des divergences importantes d'une part entre les formules appliquées et d'autre part entre les deux régions étudiées.

L'utilisation de la formule de TURC qui surestime ET_o dans la région d'étude est à déconseiller de même pour la formule de Hargreaves et à moindre degré pour la formule de Priestley-Taylor. Par contre l'utilisation de la formule Blaney-Criddle « Soil Conservation Service » est possible car elle donne pratiquement les mêmes résultats que la formule de référence Penman-Monteith(FAO) de plus elle exige uniquement les données de température généralement disponibles. Elle sous-estime l'évapotranspiration par rapport à celle de Penman-Monteith-FAO sur une longue période de l'année d'octobre à juin, et conduit à des valeurs trop élevées durant les mois chauds. Contrairement aux méthodes TURC, Priestley-Taylor, Hargreaves qui la surestiment.

L'évapotranspiration de référence calculée est peu variable pour les deux stations d'Annaba et Guelma. Cette homogénéité dans les résultats se justifie d'ailleurs sur le plan théorique par la proximité de position géographique mais à l'échelle saisonnière on constate une variation entre la saison chaude et la saison froide.

Dans la présente recherche, la performance de ces méthodes simples de calcul d'ET_o est évaluée par comparaison avec la méthode de Penman-Monteith qui fournit l'estimation la plus raisonnable d'ET_o. C'est l'une des méthodes les plus fiables qui tiennent compte des changements atmosphériques d'une manière exhaustive (Allen et al, 1998, 2006).

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

L'évapotranspiration est un facteur de contrôle important des processus hydrologiques. Le changement climatique aura une incidence sur les processus hydrologiques principalement sur l'évapotranspiration. L'évaluation d'ETo en particulier dans le contexte du changement climatique est donc très importante. La performance de cinq méthodes de calcul de l'ETo avait été testé dans cette étude dans le but de guider les chercheurs et les praticiens de l'eau dans le choix de la méthode appropriée pour l'estimation et la projection de l'ETo et par conséquent des besoins en eau pour le fonctionnement normal des systèmes d'irrigation dans les deux grands périmètres Bounamoussa et Guelma situés dans le nord est de l'Algérie.

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

Références bibliographiques

- Allen R. et al, (1998). Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements- FAO Irrigation and drainage paper 56 – Food Agricultural Organization of the United Nations. Rome, 1998.
- Blaney, H.F. et Criddle, W.D. (1950). Determining consumptive use and irrigation water requirement. USDA-ARS, Tech. Bul. 1275.
- Blaney, H.F. et Criddle, W.D. (1962). Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA-SCS. TP-96
- Brutsaert W., 1982. Evaporation into the Atmosphere. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 299 p
- Calanca P. et Holzkämper A., 2010. Conditions agro météorologiques du Plateau suisse de 1864 à 2050. Recherche Agronomique Suisse 1 (9), 320–325
- Doorenbos, J. et Pruitt, W. O. 1977. Les Besoins en Eau des Cultures. F.A.O, Bulletin d'Irrigation et de Drainage N° 24. Rome.
- Doorenbos J., Kassam A.H., 1987. “Les cultures et eau.” In Réponse des rendements à l'eau. Rome. 85–222.
- Faouzi E. H., (1999). Diagnostic hydrique de la culture de blé en milieu oasien. Une aide à l'avertissement, à l'irrigation dans le périmètre du Drâa moyen. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain, Belgique.
- Fuhrer et Jasper 2009 Estimation des besoins en irrigation pour l'agriculture suisse. Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 2010.

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

- Hargreaves, G. H. 1977. "World water for agriculture." Agency for international development , 177.
- Hargreaves, G.H. et Samani, Z. A. (1982). Estimating potential evapo-transpiration. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 108: 225 - 230
- Hess, T. 1998. Trends in Reference Evapotranspiration in the North East Arid Zone of Nigeria. Journal of arid Environment, 38, 99-115.
- Jensen, M. E., et Haise, H. R. 1963. "Estimating evapotranspiration from solar radiation." J. Irrig. Drain. Div. ASCE, 89, 15– 41.
- Jensen, M. E., 1974. Consumptive use of water and irrigation water requirements, Rep. Tech, Comm. On irrigation p. 227.
- Jones, K. R., Berney, O., Can, D.P et Barrett, E.C.(1981). Arid Zone Hydrology for agricultural development. FAO Irrigation and Drainage Paper 37.
- Monteith, J.L. (1981). Weather and Water in the Sudano-Sahelian zone. Soil Water Balance in the Sudano-Sahelian zone. IAHS Press, Institute of Hydrology, Wallingford, U.K.
- ONM ,2010. Données météorologiques de la station les salines de Annaba. Rapport 2010.
- Paré Samuel, 2006. Contribution à la détermination d'un terme du bilan hydrologique dans la région d'Errachidia-Tafilalet : Evaluation de l'évapotranspiration de référence et de l'évaporation à travers la zone non saturée de la Plaine de Tafilalet. Thèse de doctorat. Université Mohamed V.
- Penman, H. L. (1956).-Evaporation. An introductory survey. Neth. J. Agric. Sci:4:9-29.
- Priestley C. H. B & Taylor R. J., 1972. On the assessment of surface heat

Chapitre 2 : COMPARAISON ET CRITIQUE DE L'APPLICATION DES FORMULES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION DE REFERENCE POUR LES GRANDS PERIMETRES DU NORD EST DE L'ALGERIE

flux and evaporation using large-scale parameters. Monthly Weather Review 100, 81–92.

- Smith, M., Allen, R.G., Monteith, J.L., Perrier, A., Pereira, L., and Segeren, A., (1991). Report on the Expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. FAO, Rome.
- Smith M. 1992. CROPWAT, un logiciel pour la planification et la gestion des systèmes d'irrigation, Bulletin FAO d'irrigation et de drainage N°46, Rome, 131 p
- Thornthwaite, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geograp. Rev. 38, 55–94.
- Turc, L., (1961) “Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: A simple climatic formula evolved up to date”, Journal of Ann. Agron. 12, 13-14.
- Zella. L, Smadhi. D, (2006). Gestion de l'eau dans les pays arabes. Larhyss Journal, ISSN1112 -3680, N° 05, Juin 2006, pp. 157-169

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

1. INTRODUCTION

Le changement du climat est devenu une menace sérieuse pour la sécurité alimentaire dans les zones où la production agricole est très sensible aux conditions météorologiques. En effet, le changement du régime des précipitations et des températures combinées avec d'autres contraintes environnementales telles que la dégradation des sols, les ravageurs et les maladies ont contribué à la diminution de la production agricole.

Dans le nord-est de l'Algérie les cultures irriguées occupent une place importante dans le paysage agricole. Pourtant, la tendance climatique des dernières années s'est caractérisée par des conditions de sécheresse de plus en plus marquées. Les restrictions en eau qui en découlent, surtout pendant la période estivale où se pratiquent les cultures irriguées, soulèvent le problème des besoins en eau pour l'irrigation. C'est dans ce contexte que nous allons aborder ce travail. Après avoir présenté un bref état des lieux sur l'irrigation dans la région d'étude nous nous pencherons sur la situation de la plaine de Bounamoussa-Drean et bouchegouf à travers une étude des besoins actuels et futurs en eau des cultures irriguées. Nous réaliserons pour cela des calculs agronomiques spécifiques en fonction de l'assolement recommandé par les experts de la FAO dans le cadre du plan national de l'eau adopté en 2007.

Dans cette étude, les résultats des paramètres climatiques projetés à l'horizon 2050 et 2080 (selon l'approche «moyenne d'ensemble" du programme basé sur le Web "ClimateWizard", (climatewizard.org, 2009),) ont été utilisés dans le modèle CROPWAT 8.0 pour l'estimation des besoins en eaux des cultures futures.

2. MATERIELS ET METHODES

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

3.2.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est représentée par les plaines de Bounamoussa et de Guelma – Bouchegouf. La superficie brute totale est d'environ 35000 hectares dont 14800 ha représentent la superficie nette irrigable pour Bounamoussa et 9000 ha pour la plaine de Guelma et Bouchegouf et 4000 ha pour la plaine de Drean. Les eaux d'irrigation du périmètre proviennent en totalité du barrage de Cheffia situé en amont du périmètre à environ 20 km sur l'oued Bounamoussa et du barrage de Bouhamdane pour les plaines de Guelma. La technique d'irrigation la plus adoptée est l'aspersion 80% suivie de celle de la raie avec 18.50% et du goutte à goutte avec 1.5% selon notre enquête effectuée durant la campagne agricole 2010/2011.

Non loin de la mer Méditerranée, la zone subit un climat tempéré humide où la pluviométrie annuelle varie de 600 à 700 mm et la température moyenne est de l'ordre de 18 °C. La vitesse du vent varie de 3,1 à 3,5 m/s. l'humidité relative moyenne varie entre 71 et 79 %. Le minimum varie entre 43 et 53 % et le maximum entre 92 et 96%.

Le nombre d'heures d'insolation atteint le minimum moyen en janvier avec 4,4 heures/jour et le maximum en juillet avec 11,4 heures/jour. Le nombre de jours de sirocco est de 14 jours / an environ. Il est plus fréquent en juillet et en aout et dure respectivement 2 et 3 jours/mois.

3.2.2. Changements climatiques en Algérie

La communication nationale initiale de l'Algérie sur les changements climatiques en 2001 a déterminé les résultats des analyses de simulation des MCG (Modeles Climatiques

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

Globaux) suite à l'adoption des deux modèles UKHI (United Kingdom Meteorological Office High Résolution) élaboré en Angleterre en 1989 par le service météorologique anglais et le modèle ECHAM3TR développé en Allemagne en 1995 par l'Institut Max Planck. Les projections climatiques saisonnières sur l'Algérie à l'horizon 2020 par le modèle UKHI en adoptant le scénario « iso92a » du GIEC signalent une hausse de la température de 0,8 à 1,1°C et une baisse moyenne des précipitations de 6 à 8% pendant la saison d'automne, une augmentation de température de 0,65 à 0,8°C avec un maximum centré sur le Sud de +0,8°C et une baisse moyenne des précipitations de 10% pendant la saison d'hiver. En saison de printemps, une hausse de la température de 0,85 à 0,95°C avec un maximum de +0,95°C sur le centre et une baisse moyenne des précipitations de 5 à 9% en saison d'été et une hausse de la température de 0,85 à 1,05°C et une baisse moyenne des précipitations de 8 à 13% en automne. Pour les mêmes projections et le même scénario que le modèle précédant, le modèle ECHAM3TR indique une hausse de la température de 0,8 à 1,3°C et aucun changement des précipitations au Nord du 30° de latitude pendant l'automne tandis qu'en hiver une augmentation de 0,9 à 1°C et une baisse moyenne des précipitations de 5% est signalée. Au printemps une hausse de la température de 0,95 à 1,1°C avec un maximum décalé vers le Nord de 1,2°C et une baisse moyenne des précipitations de 7 à 10% est à signaler tandis qu'en été il indique une hausse de la température de 0,95 à 1,45°C et une baisse moyenne des précipitations de 5% sur une bande de 35° à 25° de latitude à l'Ouest .

3.2.3. Besoins en eau des cultures

Le débit fictif retenu suite aux calculs des besoins en eau d'irrigation adoptés lors des études de création du périmètre de Bounamousa à la fin des années 1960 basées sur les données de l'évapotranspiration, de la pluie et du schéma cultural projeté était de 0,7 l/s/ha

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

(SARES, 1966). Les besoins globaux selon cette étude totalisent 10300 l/s pour l'irrigation de 16258 ha. L'eau d'irrigation est assurée par le barrage de Cheffia avec un débit arrêté lors de la conception de l'étude de 60 hm³/an.

3.2.3.1. BESOINS FUTURS ANNUELS ET MENSUELS EN EAU D'IRRIGATION

Nous avons réalisé le calcul des besoins en eau annuels et mensuels pour les années de référence (1950-2002) et pour les années projetées 2050 et 2080 des diverses spéculations agricoles en adoptant la démarche suivante :

a/ Données climatiques

Les données utilisées pour le calcul d'ET_o projetées à savoir la température minimale et maximale et les précipitations ont été extraites à partir de **climate wizard** qui est un assistant climatique basé sur le web utilisé aux Etats Unis et recommandé par l'OCDE en 2009. Il utilise seize (16) modèles climatiques selon trois scénarios d'émission de gaz à effet de serre B1 (faible émission), A1B (émission moyen) et A2 (forte émission) développés par Nakicenovic et *al.* (2000) (tableau 25). Les simulations ont été faites pour les deux périodes de mi-siècle (2050) et de fin de siècle (2080).

Selon Girvetz et *al.* (2009) les résultats des analyses de **climate wizard** sont conformes à ceux rapportés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur les changements climatiques, mais en même temps, ils fournissent des exemples de la façon dont l'Assistant climatique peut être utilisé pour explorer l'échelle régionale. De plus, l'assistant climatiques n'est pas un produit statique, mais plutôt un cadre d'analyse de données destiné à être utilisé pour les études d'impact des changements climatiques, de la planification et de l'adaptation, Il peut

**CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE
FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE
BOUNAMOUSSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE**

être étendue pour inclure d'autres informations, telles que des projections régionalisées futures de l'hydrologie, l'humidité du sol, la végétation, la maladie et la production agricole.

Tableau 25. Les 16 modèles (GCM) utilisés dans l'étude selon Girvetz et al, (2009).

N°	MODELE	PAYS	ATMOSPHERE	OCEAN
1	BCCR-BCM2.0	NORVEGE	T63, L31	1.5x0.5, L35
2	CGCM3.1 (T47)	CANADA	T47(2.8°x2.8°)L31	(1.9°x1.9°)L29
3	CNRM-CM3	France	T63 (2.8x2.8), L45	1.875x(0.5-2), L31
4	CSIRO-Mk3.0	AUSTRALIE	T63, L18	1.875x0.84, L31
5	GFDL-CM2.0	USA	2.5x2.0, L24	1.0x(1/3-1), L50
6	GFDL-CM2.1	USA	2.5x2.0, L24	1.0x(1/3-1), L50
7	GISS-MODEL-ER	USA	5x4, L20	5x4, L13
8	INM-CM3.0	RUSSIE	5x4, L21	2.5x2, L33
9	IPSL-CM4	France	2.5x3.75, L19	2x(1-2), L30
10	MIROC3.2	JAPAN	T42, L20	1.4x(0.5-1.4), L43
11	MIUB-ECHO-G	ALLEMAGNE/COREE DU SUD	T30, L19	T42, L20
12	MPI-ECHAM5	Allemagne	T63, L32	1x1, L41
13	MRI-CGCM2.3.2A	JAPAN	T42, L30	2.5x(0.5-2.0)
14	CCSM3.0	USA	T85L26, 1.4x1.4	1x(0.27-1), L40
15	PCM1	USA	T42 (2.8x2.8), L18	1x(0.27-1), L40
16	UKMO-HADCM3	GRANDE BRETAGNE	3.75x2.5, L19	1.25x1.25, L20

b/ Calcul des besoins en eau des cultures

Le logiciel CROPWAT 8.0 a été utilisé pour le calcul de l'évapotranspiration de référence par application de la formule de PENMANN-MONTHEIT modifiée par la FAO (Allen et al, 1998). Les besoins en eau des cultures conduite à l'ETM sont calculés par la formule suivante :

$$B = Kc \cdot ETo - Pefficace \quad (33)$$

Ou - B : Besoin en eau en mm

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

- Kc : coefficient cultural
- ETo : Evapotranspiration de référence en mm
- Peff : pluie efficace en mm déterminée à partir de la méthode de l'USDA

Service USDA Conservation des Sols: Équation développée par l'USCS avec laquelle les précipitations efficaces ont été calculées selon un pas de temps mensuel:

$$P_{eff} = P_{mois} * (125 - 0.2 * P_{mois}) / 125 \text{ pour } P_{mois} \leq 250 \text{ mm}$$

$$P_{eff} = 125 + 0.1 * P_{mois} \text{ pour } P_{mois} > 250 \text{ mm}$$

En l'absence de coefficients culturaux utilisés pour les différentes cultures réellement représentatifs pour la zone d'étude, nous nous sommes inspirés des travaux réalisés dans le cadre du plan national de l'eau adopté en 2007 ayant permis d'adopter la même projection d'occupation des sols par les cultures (tableau 27, annexe 1).

Cette occupation prends en considération l'évolution des assolements pratiqués, les recommandations de la vulgarisation agricole, les enquêtes menées auprès des agriculteurs et des organismes concernés à savoir la chambre d'agriculture, l'association des irrigants et des producteurs, et la mutualité agricole pour le volet financier concernant les cultures stratégiques que la banque soutient.

3.2.4. Modèles de culture

3.2.4.1. CROPWAT 8.0

Le CROPWAT est un programme informatique développé par la Division du développement des terres et des eaux FAO dans le début des années 1990 pour aider les spécialistes de l'eau de l'agriculture dans la gestion de l'irrigation (FAO, 2011). Cet outil

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

d'aide à la décision permet l'estimation de l'évapotranspiration de référence, les besoins en eau des cultures et des besoins d'irrigation des cultures. Il peut également être utilisé pour concevoir des systèmes d'irrigation et d'évaluer l'efficacité des pratiques d'irrigation. Les équations de fond dans CROPWAT pour l'eau des cultures, calcul des besoins en eau d'irrigation combinent les procédures de la FAO d'irrigation et des documents de drainage 24 et 33 intitulés respectivement «*évapotranspiration des cultures - Lignes directrices pour les besoins en eau des cultures de calcul*» et «*réponse Rendement à l'eau*» (FAO, 2011). Par conséquent, le programme utilise le climat, le sol et les données de la culture en entrée. L'une des particularités de ce modèle est sa capacité à utiliser ses propres bases de données pour les données climatiques et les données sur les récoltes lorsque ces données ne sont pas fournies par l'utilisateur.

Plusieurs études ont utilisé CROPWAT dans diverses applications liées à l'irrigation et la consommation d'eau des cultures. Le Centre d'Economie de l'environnement et de la politique en Afrique (CEEPA), a rapporté en 2006 une série d'études sur l'analyse des impacts des changements climatiques sur plusieurs cultures dans plusieurs pays de l'Afrique le Sénégal, le Mali, le Niger, l'Egypte, et autres en utilisant des données climatiques générées avec CROPWAT.

3.2.4.2. Le modèle DSSAT 4.5

Le modèle de DSSAT est bien connu pour sa large utilisation. C'est un modèle de simulation des cultures (pour plus de 20 cultures différentes). C'est un ensemble de programmes intégrés dans un logiciel unique afin de faciliter l'application de modèles de simulation des cultures dans la recherche et la prise de décision (Tsuji et al, 1994; Hoogenboom et al, 2003). Le modèle simule, les étapes quotidiennes de croissance des

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

cultures (blé, tomate, pomme de terre, maïs et autres) telles que le développement phénologique du semis jusqu'à la récolte; la photosynthèse; la biomasse ; le développement des racines ; de la tige, des feuilles et des grains; de l'eau dans sol et du mouvement des éléments nutritifs.

Les données d'entrée requises par le modèle DSSAT comprennent les données météorologiques, les propriétés du sol, les caractéristiques de la plante, et la gestion des cultures (itinéraire technique). Le fichier de sortie contient la liste des conditions d'entrée, le rendement des cultures, le résumé des caractéristiques du sol, les coefficients de cultivars, l'état du sol aux principaux stades de développement de la culture, la distribution temporelle des variables des cultures et la teneur en eau du sol.

3.2.4.3. Description de l'outil climatique

Climate Wizard est un assistant climatique basé sur le Web, créé en partenariat entre The Nature Conservancy, l'Université de Washington, et l'Université de Southern Mississippi. C'est un outil de cartographie qui utilise des modèles climatiques et des analyses statistiques de pointe pour étudier à la fois les conditions climatiques actuelles et futures de n'importe quel endroit sur la Terre (Girvetz et al.2009). Il est à signaler la disponibilité d'une page Web libre où les utilisateurs peuvent facilement visualiser et télécharger des données pour les conditions climatiques à la fois historiques et futures. Les projections climatiques futures sont basées sur le modèle de circulation générale. Il est librement disponible comme un site Web interactif qui produit des cartes de changements climatiques, des graphes et des tableaux (<http://ClimateWizard.org>). Selon Girvetz et al (2009), cet outil a été conçu pour différents utilisateurs. Pour les moins techniques, il donne accès à une large gamme d'analyses des changements climatiques pré-calculées sur la base

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

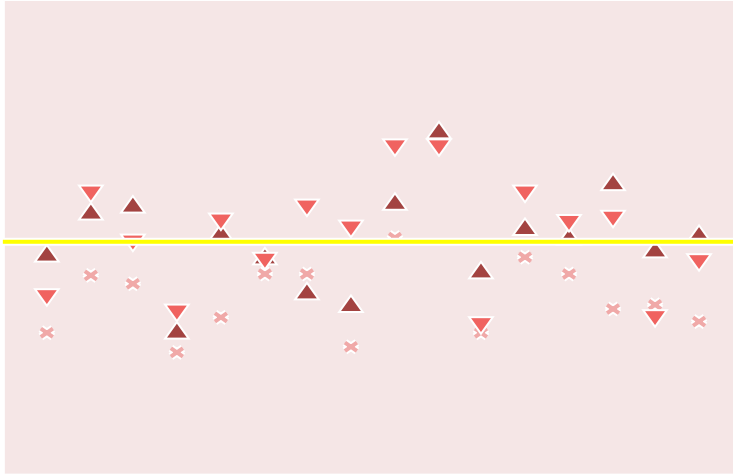
des données existantes (à la fois observée dans le passé et modélisée dans l'avenir) qui peuvent être explorées dans une interface de cartographie Web. Pour les utilisateurs plus techniques, il peut fonctionner selon des analyses statistiques qui tiennent compte des questions écologiques pour des périodes spécifiques et dans les zones géographiques définies par l'utilisateur (<http://ClimateWizard.org/custom>). La figure suivante représente un exemple de résultats fournis par le modèle.

T moyenne du mois de janvier 2050- Longitude= **7,7894**, Latitude: **36,6126**

Model	B1	A1B	A2
bccr_bcm2_0.1	1,00	1,66	1,31
cccma_cgcm3_1.1	1,49	2,03	2,19
cnrm_cm3.1	1,41	2,08	1,77
csiro_mk3_0.1	0,84	1,02	1,18
gfdl_cm2_0.1	1,14	1,85	1,96
gfdl_cm2_1.1	1,50	1,64	1,61
giss_model_e_r.1	1,50	1,35	2,06
inmcm3_0.1	0,89	1,24	1,89
ipsl_cm4.1	1,80	2,11	2,58
miroc3_2_medres.1	2,62	2,71	2,57
miub_echo_g.1	1,00	1,52	1,07
mpi_echam5.1	1,64	1,89	2,19
mri_cgcm2_3_2a.1	1,50	1,81	1,93
ncar_ccsm3_0.1	1,21	2,27	1,97
ncar_pcm1.1	1,24	1,70	1,13
ukmo_hadcm3.1	1,10	1,83	1,60

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

— Valeur Moyenne × Scenario B1 ▲ Scenario A1B ▼ Scenario A2



B1, A1B et A2 representent les trois scenarios d'émission de gaz à effet de serre.

Figure 25. Exemple de résultats de climate wizard

Les résultats obtenus des modèles sont produits pour trois scénarios d'émissions de gaz à effet de serre différents pour deux périodes futures; milieu (2050) et fin de siècle (2080).

En outre, l'utilisateur a la possibilité d'examiner les variations statistiques de 16 modèles de circulation générale différentes utilisées pour produire ces futures projections climatiques en affichant les résultats des modèles individuels ou les combinaisons de modèles sélectionnés. Les projections ont été faites en utilisant la période 1950-2002 comme base de référence (Tableau 26, Annexe1). Pour chaque mois de l'année, la variation moyenne de la température moyenne mensuelle a été extraite pour notre zone d'étude pour le milieu du siècle (2050) et à la fin du siècle (2080) comme horizon temporel. En d'autres termes, pour l'année 2050 et 2080, la moyenne prédite de changement de température moyenne pour un mois donné a été obtenue en calculant la moyenne des changements de température prédite pour les 16 modèles pour le scénario B1. La même procédure a été répétée sur la base du

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

scénario A1B et A2. Les scénarios utilisés dans le programme de ClimateWizard sont B1, A1B et A2, correspondant respectivement à un cas faible, modéré et élevés (pire) d'émissions de GES (GIEC, 2007).

Les résultats obtenus à partir du modèle à savoir la température projetée et les précipitations ont été utilisées pour générer des données futures pour la moitié et la fin du siècle (2050 et 2080). Ces résultats générés ont ensuite été utilisés pour remplacer ceux existants dans l'ensemble de données observées. A la fin du processus global, on obtient des données (Températures minimales et maximales et précipitations) projetées qui ont été ainsi générées correspondant à 2050 et 2080. Ces données ont été utilisées dans le modèle de cultures CROPWAT 8.0 pour simuler les besoins futurs en eau d'irrigation pour les cultures de la zone d'étude.

3.3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'Assistant climatique peut analyser à la fois les données climatiques observées et projetées. L'analyse des données observées du climat (historique) est assez simple, mais les projections climatiques futures de modèles de circulation générale (MCG) peuvent être plus complexes à analyser. Tout d'abord, il n'y a pas une projection de MCG du climat futur, mais plutôt de nombreuses projections réalisées par différents MCG fonctionnant dans une gamme de scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (Girvetz et al.2009). Selon le même auteur, les analyses d'ensemble sont fréquemment utilisées pour combiner les simulations de plusieurs MCG et de quantifier l'éventail de possibilités pour les climats futurs sous différents scénarios d'émissions, et l'utilisation d'une moyenne d'ensemble (ou moyenne) est un moyen efficace pour améliorer les résultats de simulations du climat qui est souvent mieux que toute projection du climat futur. Deuxièmement, MCG simulent souvent les

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

changements climatiques à des résolutions spatiales relativement grossières (par exemple, 2,5-3,5 cellules de la grille). Cette résolution spatiale est trop grossière pour aborder de nombreuses questions écologiques. Cependant, **climate wizard** peut utiliser les données climatiques de haute résolution fixe créée en utilisant des techniques de réduction d'échelle qui utilisent des informations à partir de données de résolution plus fine des ensembles de climat observé pour nous informer comment le climat va changer à des échelles spatiales plus fines (Girvetz et al.2009). Les résultats obtenus sont mentionnés dans les tableaux 28 à 44 (annexe 1). On remarque que :

Les résultats obtenus à partir de Climate wizard nous renseignent sur les variations des températures et des précipitations durant le milieu et la fin du siècle (2050 et 2080) selon les trois scénarios climatiques et selon les modèles de simulations climatiques fournies par climate wizard. Comparativement à l'année de référence, les variations sont très importantes aussi bien pour les températures que pour les précipitations. Concernant les températures, une évolution très importante qui varie de 2°C à plus de 6 °C pour les trois scénarios et pour le milieu et la fin du siècle est observée. Une diminution très significative des précipitations, qui varient de 1,5 mm à 31,93 mm, est par ailleurs remarquée. Ces résultats sont obtenus par comparaison à l'année de référence. Notons qu'aucun changement n'a été fait concernant les mois chauds (juillet et aout) et ceux froids (janvier et février) aussi bien pour le milieu et la fin du siècle. Ces résultats sont similaires à ceux signalés par l'étude du PNUD/GEF en 2002 intitulée « Vulnerability of the Maghreb region to climate change and needs for adaptation (Algeria, Morocco, Tunisia).

En adoptant le modèle DSSAT4.5, les variations mensuelles projetées (2050 et 2080) des paramètres climatiques sans changements climatiques durant le cycle végétatif de la

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

culture de pomme de terre et comparativement à l'année de référence. Concernant la zone de Bounamoussa, une légère augmentation des températures minimales et maximales variant de 0,07 à 2,35 °C est envisagée en 2050 alors que pour celle de Guelma on note une diminution des températures minimales de 1,18 à 2,37 mais une élévation des maximales variant de 1,44 à 5,09 °C. Pour l'année 2080, une diminution des températures minimales de 0,73 à 1,85 pour Bounamoussa et de 0,58 à 2,08 °C pour Guelma est à prévoir. Concernant les températures maximales, elles fluctuent entre une diminution de 0,65 à une augmentation de 1,75 pour la zone de Bounamoussa alors que pour la zone de Guelma elles varient de 2,81 à 4,91 °C. Concernant les précipitations on remarque une diminution des minimas de 5,14mm pour Bounamoussa et 10,34 mm pour Guelma en l'an 2050 et de 17,68 mm pour Bounamoussa et 11,64 mm pour Guelma en l'an 2080 alors que pour les pluies maximales elles subissent une augmentation allant de 19,21(2050) à 182,51mm (2080) pour la région de Bounamoussa alors pour celle de Guelma elles varient de 102,71 mm (2050) à 182,51 mm (2080).

Ces résultats montrent que le modèle fournit pratiquement les mêmes projections que climate wizard concernant les températures mais surestime les précipitations. Ces résultats concernent uniquement la période de végétation de la pomme de terre pour 385 ppm d'émissions de CO₂ c'est à dire correspondant à une situation sans changements climatiques.

En utilisant le générateur du climat WIGEN intégré dans le DSSAT4.5 en données journalières, Soltani and Hoogenboom (2003) prouvent la performance du modèle pour les températures générées pour quelques stations en Iran. Par ailleurs, SIMMETEO lui-même générateur du climat pour des données mensuelles, a des performances réduites (Soltani, A., Hoogenboom, G. 2003). Ces résultats concordent avec ceux trouvés dans cette étude.

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

Concernant l'évaluation des besoins en eaux des cultures en 2050 ET 2080 selon l'assolement recommandé par les experts de la FAO lors de l'élaboration du Plan National de l'Eau (2007), les trois scénarios climatiques (B1-A1B-A2) et les cinq modèles climatiques les plus utilisés à travers le monde, on note:

- une variation des résultats entre les modèles
- quelque soit le modèle adopté et l'année de projection et le scénario considéré les besoins en eau dépassent 22000 m³/ha ce qui représentent entre 3 et 4 fois les besoins calculés lors de l'élaboration de l'étude
- les maraichages d'hiver occupent la première place en matière des besoins en eau des cultures suivi des cultures industrielles puis des agrumes aussi bien en 2050 qu'en 2080 et quelque soit les scénarios de changements climatiques adoptés.

D'après les résultats de calcul des besoins en eau des cultures on remarque que quelque soit le modèle de changement climatiques adopté, il ya une augmentation de ces besoins néanmoins une différence entre un modèle et un autre est à signaler. Pour les cinq modèles les plus utilisés les besoins en eau varient en fonction des scénarios adoptés.

Selon plusieurs chercheurs cités par la bibliographie ECHAM5 et UKMO-hadCM3 semblent être les meilleurs modèles climatiques globaux (communication initiale de l'algerie sur les changements climatiques, 2001). Ces deux modèles ont permis l'estimation des besoins en eau des cultures en m³/ha du périmètre de la zone d'étude selon l'assolement adopté sont regroupés ci-dessous (tableau 44).

**CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE
FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE
BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE**

Tableau 44 : Estimation des besoins en eau des cultures dans les sites d'études aux horizons 2050 et 2080 selon les 3 hypothèses de changement climatique

ANNEE	2050			2080		
	SCENARIO	B1	A1B	A2	B1	A1B
UKMO-HadCM3	25801,5	28532,8	26305,8	29387,9	30798,5	32191,4
ECHAM5	27052,0	26442,6	26511,7	28171,3	30032,1	31805,8

Lors de la réalisation de l'étude du périmètre de Bounamoussa les besoins en eau sont estimés à 60 hm³/an pour une superficie irrigable de 14800 ha. En adoptant les résultats de ces deux modèles on note une augmentation de plus de 25000 m³/ha qui représentent 3 à 5 fois les besoins estimés par l'étude initiale qui varient de 5000 à 8000 m³/ha. Sachant que ces besoins sont nécessaires pour déterminer le débit fictif continu, on peut dire que notre réseau mis en place n'arrivera pas à véhiculer le débit projeté qui prend en compte les changements climatiques futurs en fonction des émissions de gaz à effet de serre. De ce fait, toutes les infrastructures hydrauliques à savoir les stations de pompes, les conduites et autres ouvrages seront sous dimensionnés ce qui affecte le bon fonctionnement du périmètre. Ceci reste valable pour toute la zone d'étude.

3.4. CONCLUSION

Cette étude a examiné les implications possibles du changement climatique sur les besoins en eau des cultures dans une région agricole dans le Nord Est de l'Algérie. Cette région de l'Algérie est connue pour être une région subhumide avec des précipitations irrégulières et faibles en période d'irrigation notamment des cultures maraichères. Les trois scénarios adoptés par le GIEC ont été appliqués pour les années 2050 et 2080. Les résultats

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

ont été obtenus grâce à trois programmes à savoir le CROPWAT 8.0, le DSSAT4.5 et le CLIMATE WIZARD. Les besoins en eau d'irrigation pour la pomme de terre, ont été étudiés pour la zone de Bounamoussa et Guelma dans l'Est de l'Algérie par modélisation des cultures avec le CROPWAT 8.0 et le DSSAT4.5. En utilisant les données projetées climatiques fournies par climate wizard comme intrants dans les modèles de culture, les impacts du changement climatique sur les besoins en eau d'irrigation ont été analysés.

Les besoins en eau ont été calculés pour toutes les cultures pratiquées dans cette zone en fonction de l'assolement recommandé par les experts du plan national de l'eau. Les principales cultures sont le blé, la tomate, la pomme de terre, les agrumes et autres cultures maraîchères. Nos travaux ont montré que les besoins en eau vont augmenter 3 à 5 fois les besoins actuels. Cette tendance s'explique principalement par l'augmentation de la température et à la baisse de la pluviométrie. Cette situation va provoquer une chute des rendements de toute la production agricole (notre recherche concerne uniquement la pomme de terre, on ne peut généraliser). L'une des méthodes d'adaptation à ces changements est la modification du calendrier cultural par la modification notamment de la date de semi pour les cultures en plein champs. L'augmentation de la température pourrait être mieux contrôlée par l'introduction de la culture sous serre.

Cette recherche tente d'expliquer certains effets du changement climatique sur les besoins en eau des cultures dans une région en Algérie.

En raison des estimations plus raisonnables des besoins en eau d'irrigation obtenue avec CROPWAT, nous pensons que le programme CROPWAT peut être plus approprié pour aider les agriculteurs dans la gestion de l'irrigation étant donné son application facile.

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

La principale recommandation pour les études futures sur la base des résultats actuels est de mener des expériences sur le terrain afin de calibrer les deux modèles CROPWAT et DSSAT pour ces zones. L'extension du réseau d'observation des données météorologiques ajouterait plus de précision pour les travaux futurs. Le développement de meilleurs modèles de prévision climatique au niveau régional (ou bien même à l'échelle nationale) permettrait de réduire les incertitudes liées à l'estimation des données climatiques futures. Il serait plus facile de gérer ce type d'analyse avec des modèles climatiques et des cultures intégrées.

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

Références bibliographiques

- Communication Nationale Initiale de l'Algérie sur les Changements Climatiques, (2001). Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques. Projet national ALG/98/G31. Direction générale de l'environnement, ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Algérie.
- FAO, (2011). Climate change, water and food security. FAO water reports 36.
- GIEC, (2007). Bilan 2007 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité. Rapport du groupe de travail II du GIEC.
- Girvetz, E.H., Zganjar, C., Raber, G.T., Maurer, E.P., Kareiva, P., et al. (2009) Applied Climate-Change Analysis: The Climate Wizard Tool. PLoS ONE 4(12): e8320. doi:10.1371/journal.pone.0008320.
- Hoogenboom, G., (2003). Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0, volume 1: Overview. International consortium for Agricultural Systems Applications, University of Hawaii.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., De Vries, D., Fenhann, J., et al. (2000) Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge, UK: Cambridge University Press. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Intergovernmental Panel on Climate Change, editor.
- OCDE, (2009). Intégrer l'adaptation au changement climatique dans la planification du développement. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- SARES, (1966). Périmètre irrigable de Bounamoussa. Etude des unités de production agricole. synthèse et conclusion générale. Paris 1967. France

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

- Soltani, A., Hoogenboom, G. (2003). A statistical comparison of the stochastic weather generators WGEN and SIMMETEO. *Clim Res*, vol.24: 215-230. 2003.
- UNDP/GEF (2002). « Vulnerability of the Maghreb Region to climate change, and needs for adaptation (Algeria, Morocco, Tunisia). Regional coordination of the UNDP/GEF, RAB/P4/G31 Project, Ministère de l'Aménagement du territoire de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement, 11p.
- Tsuji, and al., (1994). DSSAT v3.0. Honolulu, Hawii: University of Hawaii.

**CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE
FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE
BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE**

ANNEXE 1

Tableau26. Variations des températures minimales et maximales mensuelles et des précipitations (1950-2002) station d'Annaba (année de référence).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tmin °C	6.70	7.05	8.37	9.87	13.09	16.58	19.38	20.35	19.05	15.23	11.29	8.53
Tmax °C	14.87	15.62	18.05	20.06	23.44	27.36	30.63	31.15	28.60	24.72	19.89	16.58
P mm	79.07	93.89	65.37	61.98	41.82	18.44	9.23	12.9	40.42	66.89	76.36	82.92

NB : de 1 à 12 représentent les mois de l'année.

Tmin °C = Température minimale en degrés Celsius

Tmax °C = Température maximale en degrés Celsius

P mm = Pluie en mm

**CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME
D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE**

Tableau 27. Coefficients culturaux appliques dans la zone d'étude.

CULTURES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
AGRUMES	0.75	0.75	0.7	0.7	0.7	0.65	0.65	0.65	0.65	0.7	0.7	0.7
FRUITS N/P	0.4	0.4	0.55	0.7	0.75	0.8	0.8	0.7	0.7	0.65	0.55	0.4
C-HIVERT	0.8	1.04	1.04	0.96	0.68	0	0	0	0	0.3	0.5	0.6
C-ETE	0	0	0.3	0.7	0.5	0.8	0.55	0	0	0	0	0
CU-INDUST	0	0	0.4	0.6	0.8	0.9	0.9	0.8	0.6	0	0	0
FOU-HIVER	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0.8
FOU-ETE	0	0	0.5	0.75	0.75	0.75	0.4	0	0	0	0	0
MAR-HIVER	0	0	0.5	0.8	0.9	1	1	0.8	0	0	0	0
MAR-ETE	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.7	1	0.95	0.7
MAR-H-TARD	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.65	0.95

1 à 12 représentent les mois de l'année

C : céréales, CU : cultures, FOU : fourrages ; MAR : maraîchages, MAR-H-TARD : maraîchages hiver tardif

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

Tableau 28. Variations des minimas et des maximas des températures minimales et maximales et des précipitations projetées en fonction des scénarios climatiques et des modèles correspondants pour 2050 et 2080.

Paramètres climatiques		2050			2080		
		B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
T min °C	Min	7.19(2) M2 8.70(2) M2	7.72 (1) M4 8.81 (1) M9	7.77 (1) M11 9.27 (1) M10	8.01 (1) M14 9.37 (2) M10	8.27 (1) M4 10.36 (1) M12	9.02 (1) M1 10.57 (2) M9
	Max	21.47(8) M8 23.62(8) M2	21.82 (8) M13 24.47(8) M2	21.58(8) M1 24.28 (8) M2	21.92 (8) M1 24.49(8) M10	22.78 (8) M13 25.99 (8) M6	23.14 (8) M13 27.13 (8) M2
T max °C	Min	15.71 (1) M4 17.27 (2) M10	15.89 (1) M4 17.52 (2) M10	15.94 (1) M11 17.45 (1) M9	15.88 (1) M8 17.76 (1) M10	16.44 (1) M4 18.53 (1) M12	17.19 (1) M1 18.92 (1) M9
	Max	32.27(8) M1 34.42 (8) M2	32.62 (8) M13 35.27 (8) M2	32.66(7) M1 35.08 (8) M2	32.83 (7) M1 35.29 (8) M10	33.58 (8) M13 36.79 (8) M6	33.94 (8) M13 37.93 (8) M2
PLUIE Mm	Min	4.89 (7) M2 10.91(8) M12	4.98 (7) M8 9.51 (7) M10	4.79 (7) M9 11.53 (7) M4	4.43 (7) M9 10.33 (7) M13	4.15(7) M6 et 16 10.52 (7) M4	2.76 (7) M2 9.69 (7) M13
	Max	82.46 (11) M14 100.46 (2) M3	70.23(10) M1 116.42 (2) M11	68.53 (2) M2 93.89 (2) M8	73.23(2) M2 108.43 (2) M14	66.66 (2) M2 107.03 (2) M9	61.96(2) M2 96.70 (2) M9
ETo Mm	Min	1.28 (1) M4 1.37(12) M10	1.29 (1- 12) M4 1.38 (1 -12) M10	1.30 (1) M15 1.37 (1-12) M9- 10	1.29 (1) M8 1.38 (12) M10	1.21 (1) M9 1.42 (12) M10	1.35 (1-12) M1-6 1.44 (1-12) M9-10
	Max	5.08(7) M4 5.35 (7) M2	5.13 (7) M4 5.44 (7) M9	5.12 (7) M13 5.45 (7) M2	5.11 (7) M4 5.50 (8) M10	5.19 (7) M4 5.65 (7) M12	5.27 (7) M13 5.77 (7) M2

() Représente le mois de l'année

M (chiffre) = Voir numéro d'ordre des modèles du tableau 33

**CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION
DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE**

Tableau 29. Variation des minimas et des maximas des températures minimales et maximales et des précipitations selon les trois scénarios de changements climatiques pour le milieu et la fin du siècle d'après les 16 modèles climatiques.

Paramètres climatiques		2050			2080		
		B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
T _{min} °C	Min	0.49 – 2	1.02 – 2.11	1.07 – 2.57	1.31 – 2.67	1.57 – 3.66	2.32 – 3.87
	Max	1.12 – 3.27	1.47 – 4.12	1.23 – 3.93	1.57 -4.14	2.43 – 5.64	2.79 – 6.78
T _{max} °C	Min	0.84 – 2.4	1.02 – 2.65	1.07 – 2.58	1.01 – 2.89	1.57 – 3.66	2.32 – 4.05
	Max	1.12 – 3.27	1.47 – 4.12	1.51 – 3.93	1.68 – 4.14	2.43 – 5.64	2.79 – 6.78
Pluie mm	Min	-4.34 à -1.68	-4.25 à +0.28	-4.44 à +2.3	-4.8 à +1.1	-5.08 à +1.29	-6.47 à +0.46
	max	-11.43 à +6.57	-23.66 à +22.53	-25.36 à 0	-20.66 à +14.54	-27.23 à +13.14	-31.93 à +2.81

NB : - T_{min} sont signalées au mois de janvier et février

- T_{max} sont signalées au mois de juillet et Aout

- les précipitations les plus élevées sont signalées au mois de février et les plus basses au mois de juillet et Aout.

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

TABLEAU 30: EVALUATION ANNUELLE DES BESOINS EN EAU FUTURE 2050 (A) ET 2080 (B) SELON L'ASOLEMENT RECOMMANDE PAR LE PNE 1999-2005 A PARTIR DU CROPWAT 8.0 ET SELON LES TROIS SCENERIOS DE GIES (B1-A1B-A2) ET CINQ MODELES DE SIMULATIONS CLIMATIQUES.

(A)

AN/SCENARIOS	2050/B1					2050/A1 B					2050/A2				
MODELES CULTURES	CSIRO- Mk3.0	GFDL- CM2.0	ECHA M5/MPI -OM	MRI- CGCM2 .3.2	UKMO- HadCM 3	CSIRO- Mk3.0	GFDL- CM2.0	ECHA M5/MPI -OM	MRI- CGCM2 .3.2	UKMO- HadCM 3	CSIRO- Mk3.0	GFDL- CM2.0	ECHA M5/MPI -OM	MRI- CGCM2.3 .2	UKMO- HadCM3
AGRUMES	358.18	365.69	386.75	358.54	414.44	368.61	407.99	440.40	464.64	429.96	399.97	404.80	392.67	380.39	402.08
FRUITS N/P	411.09	424.99	447.13	420.15	466.41	427.73	463.89	495.73	123.98	480.36	455.27	456.89	456.26	440.17	464.01
C/HIVERT	111.42	122.80	120.35	105.78	125.59	109.14	135.53	137.24	234.89	134.32	137.10	141.17	124.28	110.76	115.20
C/ETE	199.30	212.36	226.97	213.30	232.20	207.52	229.30	245.38	484.06	229.41	225.51	234.99	227.67	221.57	228.43
C/INDUST	430.25	444.27	475.90	449.96	492.56	446.01	486.74	513.94	66.27	494.22	471.96	487.32	487.31	468.88	468.37
F/HIVERT	69.60	75.74	61.07	57.01	80.80	67.13	78.60	82.16	239.08	91.75	87.56	91.87	68.38	59.43	67.56
F/ETE	203.51	216.40	230.84	217.77	235.61	211.59	233.19	249.47	503.27	234.42	230.26	238.88	231.72	225.92	232.10
M/HIVERT	460.83	475.67	496.88	475.88	509.90	477.53	505.76	527.31	144.50	512.82	492.77	509.47	503.12	486.59	508.66
M/ETE	127.08	126.91	134.23	119.12	147.65	133.84	146.17	161.62	0	158.11	134.42	133.86	139.14	133.56	146.73
M/HIV/TARDI F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.39	0	0	0	0
TOTAL	2371.26	2464.83	2580.12	2417.51	2705.16	2449.10	2687.17	2853.25	2260.69	2765.37	2635.21	2699.25	2630.55	2527.27	2633.14

**CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION
DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE**

(B)

AN/SCENARIOS	2080/B1					2080/A1 B					2080/A2				
	CSIRO-Mk3.0	GFDL-CM2.0	ECHAM5/MPI-OM	MRI-CGCM2.3.2	UKMO-HadCM3	CSIRO-Mk3.0	GFDL-CM2.0	ECHAM5/MPI-OM	MRI-CGCM2.3.2	UKMO-HadCM3	CSIRO-Mk3.0	GFDL-CM2.0	ECHAM5/MPI-OM	MRI-CGCM2.3.2	UKMO-HadCM3
Modèles															
Cultures															
AGRUMES	354.85	375.23	447.01	371.26	428.43	392.58	467.93	478.20	405.02	463.02	423.61	481.24	503.38	407.97	493.46
FRUITS N/P	414.54	432.96	507.23	435.89	483.65	441.27	522.41	536.09	466.16	525.18	477.94	533.65	556.67	466.77	547.48
C/HIVERT	100.93	125.32	145.81	114.99	136.21	129.33	155.89	151.22	122.20	137.45	145.15	165.46	168.85	131.84	163.64
C/ETE	198.87	227.65	260.48	223.65	244.00	207.08	253.83	265.33	236.15	260.42	241.88	263.29	276.99	240.69	273.67
C/INDUST	439.07	461.02	529.16	465.97	514.93	453.36	531.84	547.26	490.07	542.12	494.75	545.13	569.56	491.42	560.61
F/HIVERT	58.54	79.68	81.73	61.25	84.53	90.81	94.31	84.03	66.48	81.98	84.68	107.86	99.64	73.53	100.56
F/ETE	203.36	231.48	264.78	228.02	248.14	211.41	258.22	269.20	241.04	264.43	246.37	269.16	281.04	245.27	277.62
M/HIVERT	464.12	494.21	544.81	493.27	525.94	474.63	541.05	562.32	510.19	553.63	521.00	560.95	575.46	512.37	575.58
M/ETE	129.06	118.00	157.75	119.89	151.28	145.71	177.48	177.37	143.12	173.12	147.88	171.55	184.30	138.97	181.63
M/HIV/TAR DIF	0	0	0	0	0	3.79	8.59	8.81	0	1.82	1.63	1.19	3.22	0	6.29
TOTAL	2363.34	2545.55	2938.76	2514.19	2817.11	2549.97	3011.55	3079.83	2680.43	3003.17	2784.89	3099.48	3219.11	2708.83	3180.54

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

**TABLEA 31. EVALUATION DES BESOINS EN EAU GLOBAUX FUTUR DE LA ZONE D'ETUDE EN mm SELON LES TROIS SCENARIOS CLIMATIQUES (B1, A1B, A2)
ET CINQ MODELES CLIMATIQUES.**

SCENARIOS MODELES	2050			2080		
	B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
CSIRO-Mk3.0	2371.30	2449.14	2644.26	2363.35	2550.01	2784.92
GFDL-CM2.0	2464.84	2687.21	2699.28	2545.59	3011.58	3099.50
ECHAM5/MPI-OM	2580.15	2853.28	2630.58	2938.79	3079.85	3219.14
MRI-CGCM2.3.2	2417.52	2260.72	2527.30	2514.22	2680.47	2708.86
UKMO-HadCM3	2705.20	2644.26	2651.17	2817.13	3003.21	3180.58

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

TABLEAU32 : VARIATIONS MENSUELLE PROJETEES (2050 et 2080) DES PARAMETRES CLIMATIQUES SELON LES SCENARIOS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ESTIMES A PARTIR DU MODELE GFDL-CM2.0.

Paramètres climatiques		2050			2080		
		B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
T min °C	Min	7.84 (1)	8.55 (1)	8.66 (1)	8.51 (1)	9.63 (1)	9.78 (1)
	Max	22.36 (8)	24.10 (8)	22.94(8)	23.18(8)	25.14(8)	26.42(8)
T max °C	Min	16.01(1)	16.72(1)	16.83(1)	16.68(1)	17.80(1)	17.95(1)
	Max	33.16(8)	34.90(8)	33.74(8)	33.98(8)	35.94(8)	37.22(8)
PLUIE Mm	Min	13.10(7)	7.11(7)	7.84(7)	7.66(7)	5.54(7)	2.86(7)
	Max	83.02(1)	70.25(11)	77.88(11)	92.01(2)	75.59(11)	63.37(11)
ETo Mm	Min	1.30(1)	1.33(1)	1.34(1)	1.34(1)	1.37(12)	1.40(1)
	Max	5.17(7)	5.28(7)	5.28(7)	5.26(7)	5.49(7)	5.55(7)

() Représente le mois de l'année

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

TABLEAU33 : VARIATIONS MENSUELLES PROJETEES (2050 et 2080) DES PARAMETRES CLIMATIQUES SELON LES SCENARIOS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ESTIMES A PARTIR DU MODELE CSIRO-Mk3.0.

Paramètres climatiques		2050			2080		
		B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
T min °C	Min	7.54(1)	7.72(1)	7.88(1)	7.99(1)	8.27(1)	9.08(1)
	Max	21.79(9)	22.71(8)	22.56(8)	22.73(8)	23.08(8)	24.45(8)
T max °C	Min	15.71(1)	15.89(1)	16.05(1)	16.16(1)	16.44(1)	17.25(1)
	Max	32.57(8)	33.51(8)	33.36(8)	33.58(8)	33.88(8)	35.25(8)
PLUIE Mm	Min	9.41(7)	8.77(7)	11.53(7)	8.95(7)	10.52(7)	8.76(7)
	Max	91.07(2)	97.64(2)	88.25(2)	93.89(2)	81.44(1)	79.86(1)
ETo Mm	Min	1.28(1)	1.29(1)	1.30(1)	1.31(1)	1.32(1)	1.36(1)
	Max	5.08(7)	5.13(7)	5.16(7)	5.11(7)	5.19(7)	5.40(7)

() Représente le mois de l'année

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

TABLEAU34: VARIATIONS MENSUELLES PROJETEES (2050 et 2080) DES PARAMETRES CLIMATIQUES SELON LES SCENARIOS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ESTIMES A PARTIR DU MODELE ECHAM5/MPI-OM.

Paramètres climatiques		2050			2080		
		B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
T min °C	Min	8.34(1)	8.59(1)	8.54(2)	8.93(2)	10.36(1)	10.14(2)
	Max	22.50(8)	23.83(8)	23.19(8)	24.01(8)	25.79(8)	25.82(8)
T max °C	Min	16.51(1)	16.76(1)	17.06(1)	17.36(1)	18.53(1)	18.52(1)
	Max	33.30(8)	34.63(8)	33.99(8)	34.81(8)	36.59(8)	36.62(8)
PLUIE Mm	Min	10.91(8)	6.27(7)	8.76(7)	6.46(7)	5.91(7)	7.01(7)
	Max	97.64(2)	75.45(12)	90.13(2)	85.44(2)	79.41(11)	69.48(11)
ETo Mm	Min	1.33(1)	1.34(1)	1.36(1)	1.38(1)	1.43(1)	1.42(12)
	Max	5.21(7)	5.36(7)	5.29(7)	5.39(7)	5.65(7)	5.62(7)

() Représente le mois de l'année

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

TABLEAU35: VARIATIONS MENSUELLES PROJETEES (2050 et 2080) DES PARAMETRES CLIMATIQUES SELON LES SCENARIOS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ESTIMES A PARTIR DU MODELE MRI-CGCM2.3.2 .

Paramètres climatiques		2050			2080		
		B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
T min °C	Min	8.20(1)	8.51(1)	8.63(1)	8.57(1)	9.53(1)	9.46(2)
	Max	21.55(8)	21.82(8)	21.93(8)	22.38(8)	22.78(8)	23.14(8)
T max °C	Min	16.37(1)	16.68(1)	16.80(1)	16.74(1)	17.70(1)	17.78(1)
	Max	32.58(8)	32.62(8)	32.73(8)	33.18(8)	33.58(8)	33.94(8)
PLUIE Mm	Min	7.01(7)	8.12(7)	11.26(7)	10.33(7)	6.83(7)	9.69(7)
	Max	88.25(2)	81.70(11)	94.82(2)	94.88(2)	79.80(2)	89.19(2)
ETo Mm	Min	1.32(1)	1.34(1)	1.34(1)	1.34(1)	1.38(1)	1.39(1)
	Max	5.10(7)	5.21(7)	5.12(7)	5.17(7)	5.24(7)	5.27(7)

() Représente le mois de l'année

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

TABLEAU36: VARIATIONS MENSUELLES PROJETEES (2050 et 2080) DES PARAMETRES CLIMATIQUES SELON LES SCENARIOS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ESTIMES A PARTIR DU MODELE UKMO-HadCM3.

Paramètres climatiques		2050			2080		
		B1	A1B	A2	B1	A1B	A2
T min °C	Min	7.80(1)	7.83(1)	8.30(1)	8.86(1)	9.68(1)	9.64(1)
	Max	22.90(8)	23.81(8)	23.84(8)	24.00(8)	25.41(8)	26.41(8)
T max °C	Min	15.97(1)	16.70(1)	16.47(1)	17.03(1)	17.85(1)	17.81(1)
	Max	33.70(8)	34.61(8)	34.64(8)	34.80(8)	36.21(8)	37.21(8)
PLUIE Mm	Min	6.06(8)	5.81(7)	6.83(7)	4.89(7)	4.15(7)	3.35(8)
	Max	92.01(2)	89.19(2)	90.93(1)	102.34(2)	76.36(11)	76.28(12)
ETo Mm	Min	1.30(1)	1.37(12)	1.32(1)	1.34(2)	1.40(1)	1.38(1)
	Max	5.25(7)	5.32(7)	5.34(7)	5.30(7)	5.49(7)	5.62(7)

() Représente le mois de l'année

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

TABLEAU 37: DONNEES CLIMATIQUES MENSUELLES MOYENNES INTERANNUELLES UTILISEES COMME REFERENCE POUR L'ESTIMATION D'ET₀ ET DES BESOINS EN EAU FUTURE DE LA ZONE D'ETUDE (MOYENNE 1950-2002).

MOIS PARAMETRES CLIMATIQUES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T min °C	6.70	7.05	8.37	9.87	13.09	16.58	19.38	20.35	19.07	15.23	11.29	8.53
Tmax °C	14.87	15.62	18.05	20.06	23.44	27.36	30.63	31.15	28.60	24.72	19.89	16.58
PLUIE Mm	79.07	93.89	65.37	61.98	41.82	18.44	9.23	12.9	40.42	66.89	76.36	82.92
Pe _{eff} (USDA S.C) Mm	69.1	79.8	58.5	55.8	39.0	17.9	9.1	12.6	37.8	59.7	67.0	71.9
ET ₀ Mm	1.25	1.59	2.31	3.05	3.78	4.49	4.96	4.65	3.62	2.62	1.70	1.26

1 à 12 représentent les mois de l'année

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

TABLEAU38: VARIATION DES PARAMETRES CLIMATIQUES PROJETES 2050 SELON LE SCENARIO GES B1 ET SELON LES MODELES DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES.

MODELES	T min °C		Tmax °C		PLUIE en mm		ETo en mm	
	min	max	min	max	min	max	min	max
1-BCCR-BCM2.0	7.70(1)	21.47(8)	15.87(1)	32.27(8)	9.87(7)	89.34(11)	1.30(1)	5.17(7)
2-CGCM3.1(T47)	7.19(2)	23.62(8)	16.36(1)	34.42(8)	4.89(7)	90.13(2)	1.33(1)	5.35(7)
3-CRNM-CM3	8.11(1)	22.17(8)	16.28(1)	32.97(8)	9.23(7)	100.46(2)	1.31(1)	5.21(7)
4-CSIRO-Mk3.0	7.54(1)	21.79(9)	15.71(1)	32.57(8)	9.41(7)	91.07(2)	1.28(1)	5.08(7)
5-GFDL-CM2.0	7.84(1)	22.36(8)	16.01(1)	33.16(8)	13.10(7)	83.02(1)	1.30(1)	5.17(7)
6-GFDL-CM2.1	8.20(1)	21.84(8)	16.37(1)	32.64(8)	7.01(7)	89.19(2)	1.31(1)	5.21(7)
7-GISS-ER	8.20(1)	22.19(8)	16.37(1)	32.99(8)	6.36(7)	83.99(11)	1.31(1)	5.20(7)
8-INM-CM3.0	7.59(1)	23.56(8)	15.76(1)	34.36(8)	8.03(7)	93.92(11)	1.29(1)	5.22(7)
9-IPSL-CM4	8.50(1)	23.55(8)	16.67(1)	34.35(8)	5.53(7)	88.28(2)	1.34(1)	5.31(7)
10-MIROC3.2	8.70(2)	23.38(8)	17.27(2)	34.18(8)	8.03(7)	89.34(11)	1.37(12)	5.30(7)
11-ECHO-G	7.70(1)	22.35(8)	15.87(1)	33.15(8)	7.22(8)	92.01(2)	1.30(1)	5.17(7)
12-ECHAM5/MPI-OM	8.34(1)	22.50(8)	16.51(1)	33.30(8)	10.91(8)	97.64(2)	1.33(1)	5.21(7)
13-MRI-CFCM2.3.2	8.20(1)	21.55(8)	16.37(1)	32.35(8)	7.01(7)	88.25(2)	1.32(1)	5.10(7)
14-CCSM3	7.91(1)	23.03(8)	16.08(1)	33.83(8)	12.38(8)	82.46(11)	1.31(1)	5.34(7)
15-PCM	7.94(1)	22.13(8)	16.11(1)	32.93(8)	9.13(7)	97.64(2)	1.31(1)	5.10(7)
16-UKMO-HadCM3	7.80(1)	22.90(8)	15.97(1)	33.70(8)	6.06(8)	92.01(2)	1.30(1)	5.25(7)

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

TABLEAU39 : VARIATION DES PARAMETRES CLIMATIQUES PROJETES 2050 SELON LE SCENARIO GES A1B ET SELON LES MODELES DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES.

PARAMETRES ET MODELES	T min °C		Tmax °C		PLUIE en mm		ETo en mm	
	min	max	min	max	min	max	min	max
BCCR-BCM2.0	8.36(1)	21.88(8)	16.53(1)	32.97(7)	6.00(7)	70.23(10)	1.32(12)	5.26(7)
CGCM3.1(T47)	8.73(1)	24.47(8)	16.90(1)	35.27(8)	5.26(7)	86.38(2)	1.35(1)	5.40(7)
CRNM-CM3	8.78(1)	23.16(8)	16.95(1)	33.96(8)	6.33(7)	77.93(2)	1.35(1)	5.36(7)
CSIRO-Mk3.0	7.72(1)	22.71(8)	15.89(1)	33.51(8)	8.77(7)	97.64(2)	1.29(1)	5.13(7)
GFDL-CM2.0	8.55(1)	24.10(8)	16.72(1)	34.90(8)	7.11(7)	70.25(11)	1.33(1)	5.28(7)
GFDL-CM2.1	8.34(1)	24.33(8)	16.51(1)	35.16(8)	5.44(7)	76.70(1)	1.32(1)	5.37(7)
GISS-ER	8.05(1)	22.70(8)	16.22(1)	33.50(8)	6.36(7)	79.60(12)	1.31(1)	5.23(7)
INM-CM3.0	7.94(1)	24.00(8)	16.11(1)	34.80(8)	4.98(7)	80.74(2)	1.30(1)	5.32(7)
IPSL-CM4	8.81(1)	23.68(8)	16.98(1)	34.48(8)	5.17(7)	96.70(2)	1.35(1)	5.44(7)
MIROC3.2	9.41(1)	24.10(8)	17.52(2)	34.90(8)	9.51(7)	82.92(12)	1.38(1)	5.37(7)
ECHO-G	8.22(1)	22.90(8)	16.39(1)	33.75(8)	6.92(7)	116.42(2)	1.33(1)	5.26(7)
ECHAM5/MPI-OM	8.59(1)	23.83(8)	16.76(1)	34.63(8)	6.27(7)	75.45(12)	1.34(1)	5.36(7)
MRI-CFCM2.3.2	8.51(1)	21.82(8)	16.68(1)	32.62(8)	8.12(7)	81.70(11)	1.34(1)	5.21(7)
CCSM3	8.97(1)	24.06(8)	17.14(1)	34.86(8)	9.23(7)	77.88(11)	1.35(1)	5.38(7)
PCM	8.40(1)	22.22(8)	16.57(1)	33.02(8)	8.12(7)	93.70(12)	1.32(1)	5.20(7)
UKMO-HadCM3	7.83(1)	23.81(8)	16.70(1)	34.61(8)	5.81(7)	89.19(2)	1.37(12)	5.32(7)

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

TABLEAU40 : VARIATION DES PARAMETRES CLIMATIQUES PROJETES 2050 SELON LE SCENARIO GES A2 ET SELON LES MODELES DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES.

PARAMETRES ET MODELES	T min °C		Tmax °C		PLUIE en mm		ETo en mm	
	min	max	min	max	min	max	min	max
BCCR-BCM2.0	8.01(1)	21.58(8)	16.18(1)	32.66(7)	10.24(7)	80.93(10)	1.31(1)	5.23(7)
CGCM3.1(T47)	8.89(1)	24.28(8)	17.06(1)	35.08(8)	5.07(7)	68.53(2)	1.35(1)	5.45(7)
CRNM-CM3	8.47(1)	22.95(8)	16.64(1)	33.75(8)	7.29(7)	75.11(2)	1.33(1)	5.32(7)
CSIRO-Mk3.0	7.88(1)	22.56(8)	16.05(1)	33.36(8)	11.53(7)	88.25(2)	1.30(1)	5.16(7)
GFDL-CM2.0	8.66(1)	22.94(8)	16.83(1)	33.74(8)	7.84(7)	77.88(11)	1.34(1)	5.28(7)
GFDL-CM2.1	8.31(1)	23.42(8)	16.48(1)	34.22(8)	4.79(7)	75.11(2)	1.31(1)	5.36(7)
GISS-ER	8.76(1)	22.91(8)	16.93(1)	33.71(8)	6.46(7)	85.52(11)	1.31(12)	5.28(7)
INM-CM3.0	8.36(2)	24.20(8)	16.76(1)	35.00(8)	5.90(7)	93.89(2)	1.32(12)	5.35(7)
IPSL-CM4	9.25(2)	23.62(8)	17.45(1)	34.42(8)	4.79(7)	97.64(2)	1.37(12)	5.41(7)
MIROC3.2	9.27(1)	23.90(8)	17.44(1)	34.70(8)	8.67(7)	87.81(11)	1.37(12)	5.33(7)
ECHO-G	7.77(1)	22.70(8)	15.94(1)	33.50(8)	7.38(7)	91.07(2)	1.31(1)	5.27(7)
ECHAM5/MPI-OM	8.54(2)	23.19(8)	17.06(1)	33.99(8)	8.76(7)	90.13(2)	1.36(1)	5.29(7)
MRI-CFCM2.3.2	8.63(1)	21.93(8)	16.80(1)	32.73(8)	11.26(7)	94.82(2)	1.34(1)	5.12(7)
CCSM3	8.67(1)	24.23(8)	16.84(1)	35.03(8)	7.29(7)	93.69(12)	1.33(1)	5.38(7)
PCM	7.83(1)	22.24(8)	16.00(1)	33.04(8)	8.30(7)	87.06(12)	1.30(1)	5.18(7)
UKMO-HadCM3	8.30(1)	23.84(8)	16.47(1)	34.64(8)	6.83(7)	90.93(1)	1.32(1)	5.34(7)

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

TABLEAU41 : VARIATION DES PARAMETRES CLIMATIQUES PROJETES 2080 SELON LE SCENARIO GES B1 ET SELON LES MODELES DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES.

MODELES	T min °C		Tmax °C		PLUIE en mm		ETo en mm	
	min	max	min	max	min	max	min	max
BCCR-BCM2.0	8.31(1)	21.92(8)	16.48(1)	32.83(7)	8.03(7)	79.41(11)	1.31(12)	5.25(7)
CGCM3.1(T47)	8.56(1)	24.21(8)	16.73(1)	35.01(8)	5.07(7)	73.23(2)	1.34(1)	5.34(6)
CRNM-CM3	8.51(1)	22.70(8)	16.68(1)	33.50(8)	9.41(7)	88.25(2)	1.32(1)	5.30(7)
CSIRO-Mk3.0	7.99(1)	22.73(8)	16.16(1)	33.53(8)	8.95(7)	93.89(2)	1.31(1)	5.11(7)
GFDL-CM2.0	8.51(1)	23.18(8)	16.68(1)	33.98(8)	7.66(7)	92.01(2)	1.34(1)	5.26(7)
GFDL-CM2.1	8.58(1)	23.16(8)	16.75(1)	33.96(8)	9.04(7)	90.13(2)	1.34(1)	5.24(7)
GISS-ER	8.53(1)	22.52(8)	16.70(1)	33.32(8)	7.47(7)	92.95(2)	1.33(1)	5.20(7)
INM-CM3.0	7.71(1)	23.83(8)	15.88(1)	34.63(8)	8.12(7)	73.23(2)	1.29(1)	5.34(7)
IPSL-CM4	9.23(1)	23.61(8)	17.40(1)	34.57(7)	4.43(7)	95.76(2)	1.37(1)	5.46(7)
MIROC3.2	9.37(2)	24.98(8)	17.76(1)	35.29(8)	8.12(7)	84.50(2)	1.38(12)	5.50(8)
ECHO-G	8.39(1)	23.17(8)	16.56(1)	33.97(8)	6.83(7)	91.07(2)	1.33(1)	5.29(7)
ECHAM5/MPI-OM	8.93(2)	24.01(8)	17.36(1)	34.81(8)	6.46(7)	85.44(2)	1.38(1)	5.39(7)
MRI-CFCM2.3.2	8.57(1)	22.38(8)	16.74(1)	33.18(8)	10.33(7)	94.88(2)	1.34(1)	5.17(7)
CCSM3	8.01(1)	22.76(8)	16.18(1)	33.56(8)	8.58(7)	10.43(2)	1.30(1)	5.26(7)
PCM	8.54(1)	22.38(8)	16.71(1)	33.18(8)	9.13(7)	100.46(2)	1.34(1)	5.16(7)
UKMO-HadCM3	8.86(1)	24.00(8)	17.03(1)	34.80(8)	4.89(7)	102.34(2)	1.34(12)	5.30(7)

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

TABLEAU42 : VARIATION DES PARAMETRES CLIMATIQUES PROJETES 2080 SELON LE SCENARIO GES A1B ET SELON LES MODELES DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES.

PARAMETRES ET MODELES	T min °C		Tmax °C		PLUIE en mm		ETo en mm	
	min	max	min	max	min	max	min	max
BCCR-BCM2.0	8.88(2)	23.00(8)	17.12(1)	33.88(7)	7.57(7)	78.93(10)	1.35(12)	5.38(7)
CGCM3.1(T47)	9.43(1)	25.71(8)	17.60(1)	36.51(8)	4.43(7)	66.66(2)	1.37(1)	5.56(7)
CRNM-CM3	9.23(1)	24.08(8)	17.40(1)	34.88(8)	6.27(7)	97.64(2)	1.37(1)	5.50(7)
CSIRO-Mk3.0	8.27(1)	23.08(8)	16.44(1)	33.88(8)	10.52(7)	81.44(1)	1.32(1)	5.19(7)
GFDL-CM2.0	9.63(1)	25.14(8)	17.80(1)	35.94(8)	5.54(7)	75.59(11)	1.37(12)	5.49(7)
GFDL-CM2.1	8.70(1)	25.99(8)	16.87(1)	36.79(8)	4.15(7)	71.95(1)	1.34(1)	5.50(7)
GISS-ER	9.21(1)	24.11(8)	17.38(1)	34.91(8)	5.15(7)	81.26(12)	1.37(1)	5.37(7)
INM-CM3.0	8.49(1)	24.99(8)	16.66(1)	35.79(8)	5.35(7)	87.81(11)	1.33(1)	5.44(7)
IPSL-CM4	10.15(2)	25.22(8)	18.30(1)	36.02(8)	4.52(7)	107.03(2)	1.21(1)	5.31(7)
MIROC3.2	10.18(2)	25.52(8)	18.52(1)	36.32(8)	8.40(7)	74.63(12)	1.42(12)	5.56(7)
ECHO-G	9.20(1)	24.37(8)	17.37(1)	35.17(8)	5.17(7)	89.19(2)	1.37(1)	5.45(7)
ECHAM5/MPI-OM	10.36(1)	25.79(8)	18.53(1)	36.59(8)	5.91(7)	79.41(11)	1.43(1)	5.56(7)
MRI-CFCM2.3.2	9.53(1)	22.78(8)	17.70(1)	33.58(8)	6.83(7)	79.80(2)	1.38(1)	5.24(7)
CCSM3	9.39(1)	24.48(8)	17.56(1)	35.28(8)	8.58(7)	72.14(12)	1.37(1)	5.42(7)
PCM	8.73(1)	23.16(8)	16.90(1)	33.96(8)	7.56(7)	98.67(12)	1.33(1)	5.29(7)
UKMO-HadCM3	9.68(1)	25.41(8)	17.85(1)	36.21(8)	4.15(7)	76.36(11)	1.40(1)	5.49(7)

CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE

TABLEAU43: VARIATION DES PARAMETRES CLIMATIQUES PROJETES(2080) SELON LE SCENARIO G E S A2 ET SELON LES MODELES DE CHANGEMENTS CLIMATIQUES.

PARAMETRES ET MODELES	T min °C		Tmax °C		PLUIE en mm		ETo en mm	
	min	max	min	max	min	max	min	max
BCCR-BCM2.0	9.02(1)	23.40(8)	17.19(1)	34.20(8)	7.29(7)	94.31(10)	1.35(1)	5.38(7)
CGCM3.1(T47)	10.01(1)	27.13(8)	18.18(1)	37.93(8)	2.76(7)	61.96(2)	1.40(1)	5.77(7)
CRNM-CM3	9.81(1)	24.87(8)	17.98(1)	35.67(8)	7.10(7)	86.37(2)	1.40(1)	5.60(7)
CSIRO-Mk3.0	9.08(1)	24.45(8)	17.25(1)	35.25(8)	8.76(7)	79.86(1)	1.36(1)	5.40(7)
GFDL-CM2.0	9.78(1)	26.42(8)	17.95(1)	37.22(8)	2.86(7)	63.37(11)	1.40(1)	5.55(7)
GFDL-CM2.1	9.07(1)	25.80(8)	17.24(1)	36.55(8)	3.32(7)	68.53(2)	1.35(1)	5.66(7)
GISS-ER	9.67(1)	24.31(8)	17.84(1)	35.11(8)	5.44(7)	80.94(11)	1.38(12)	5.43(7)
INM-CM3.0	9.16(1)	26.01(8)	17.33(1)	36.81(8)	6.09(7)	76.05(2)	1.36(1)	5.56(7)
IPSL-CM4	10.57(2)	25.38(8)	18.92(1)	36.23(8)	3.87(7)	96.70(2)	1.44(1)	5.61(7)
MIROC3.2	10.09(2)	26.13(8)	18.66(1)	36.93(8)	5.44(7)	89.19(2)	1.44(1)	5.62(1)
ECHO-G	9.23(1)	24.70(8)	17.40(1)	35.50(8)	6.46(7)	93.89(2)	1.37(1)	5.50(7)
ECHAM5/MPI-OM	10.14(2)	25.82(8)	18.52(1)	36.62(8)	7.01(7)	69.48(11)	1.42(12)	5.62(7)
MRI-CFCM2.3.2	9.46(2)	23.14(8)	17.78(1)	33.94(8)	9.69(7)	89.19(2)	1.39(1)	5.27(7)
CCSM3	9.83(1)	26.64(8)	18.00(1)	37.44(8)	8.76(7)	79.86(1)	1.41(1)	5.77(7)
PCM	9.03(1)	23.39(8)	17.23(1)	34.19(8)	6.09(7)	85.52(11)	1.35(1)	5.34(7)
UKMO-HadCM3	9.64(1)	26.41(8)	17.81(1)	37.21(8)	3.35(7)	76.28(12)	1.38(1)	5.62(7)

**CHAPITRE 3 : IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION
DU PERIMETRE DE BOUNAMOUSA – GUELMA DANS LE NORD-EST DE L'ALGERIE**

Tableau45 : variations mensuelles projetées (2050 et 2080) des paramètres climatiques sans changements climatiques estimés à partir du modèle DSSAT 4.5 durant le cycle végétatif de la culture de pomme de terre.

Paramètres climatiques		2050		2080	
		CO2 (situation actuelle) 385 ppm		CO2 (situation actuelle) 385 ppm	
		Bounamoussa	Guelma	Bounamoussa	Guelma
T min °C	Min	7.45	4.35	4.85	4.62
	Max	17.24	15.40	15.85	16
T max °C	Min	14.94	16.31	14.22	17.68
	Max	29.71	32.45	29.11	32.27
PLUIE mm	Min	13.3	8.1	0.76	6.8
	Max	113.1	196.6	276.4	276.4
ETo Mm	Min	1.33	0.37	1.5	0.45
	Max	2.53	1.28	3.97	1.79

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

1. Introduction

La région méditerranéenne semble être particulièrement touchée par le changement climatique. Le réchauffement devrait être supérieur à la moyenne mondiale, avec aussi un taux (%) élevé avoisinant les 10% de réduction des précipitations et une augmentation de sa variabilité inter-annuelle (Giorgi, 2006). L'Algérie, qui fait partie des régions du sud, fait face à un stress hydrique qui est une menace pour le développement durable de l'agriculture irriguée.

La pomme de terre a une place prépondérante dans l'alimentation de la population en Algérie. Selon les statistiques locales, cette culture est à la cinquième place dans la production agricole avec deux variétés principales la Désirée et la Spunta (MADR, 2010). Cependant, la grande superficie mise en production de pommes de terre chaque année nécessite une irrigation complète afin de satisfaire les besoins en eau des cultures, en particulier au cours des étapes de croissance les plus sensibles. La production annuelle se rapproche de 2,8 millions de tonnes. La superficie cultivée est de 161873 hectares avec un rendement de 17,3 tonnes par hectare (MADR, 2010). Cette valeur est nettement trop faible si on la compare à celles des pays d'Amérique du Sud par exemple où enregistre jusqu'à 40 tonnes par hectare.

Dans ces conditions, l'usage optimal de l'eau dans le cadre des impacts des changements climatiques futurs devraient être amélioré (Kundzewicz et al, 2008). Les progrès dont la compréhension est conditionnée par la disponibilité des données d'observation fiables, appelle à l'amélioration des efforts de surveillance dans le monde entier, de relever les défis posés par les changements climatiques attendus. Une façon d'atteindre cet objectif est d'utiliser un modèle mathématique et informatique (logiciel de simulation) qui permet de

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

simuler les rendements des cultures en fonction de différentes conditions pédologiques, climatiques et les pratiques de gestion des cultures (Stastna et al, 2010).

Les modèles de cultures peuvent être des outils utiles pour les gestionnaires des zones irriguées dans différentes conditions agro-écologiques pour améliorer la durabilité des systèmes agricoles. De nombreux auteurs, à savoir Hoogenboom (2003) et Ritchie (1995) ont appliqué le logiciel DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) qui est un modèle pour optimiser l'utilisation des terres et de la répartition de l'eau pour les cultures au niveau de la parcelle. Daccache et al. (2011) ont appliqué ce modèle en Angleterre et ont conclu que la modélisation est satisfaisante et prévoit des augmentations des rendements (+2,9 à +6,5% par rapport au rendement normal). Par ailleurs, Medani (2006) et Abdrabbo et al (2010) l'ont appliqué en Egypte et ont déclaré que le DSSAT prévoit l'augmentation des rendements. Cependant, aucun travail similaire n'a été réalisé en Algérie.

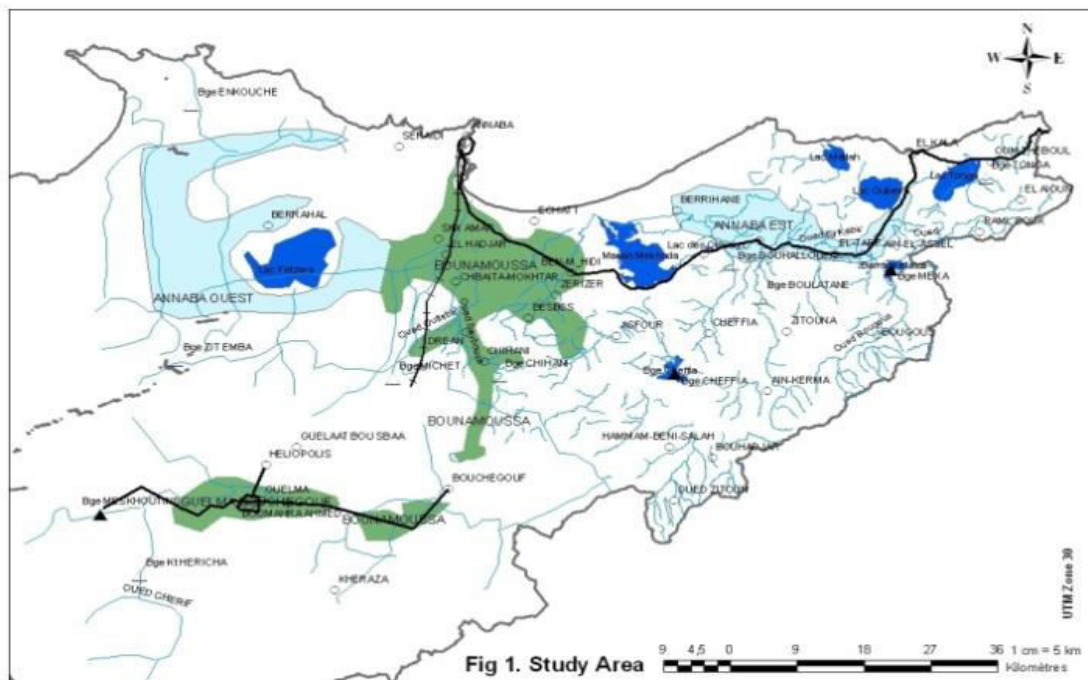
Les objectifs de cette étude sont la calibration et la validation du modèle DSSAT appliqué pour la culture de la pomme de terre (variété Désirée) pratiquée sur les périmètres d'irrigation de Bounamoussa et de Guelma dans le Nord Est de l'Algérie. Ceci permettrait d'évaluer les rendements de cette culture et l'efficacité du facteur eau ; par conséquent l'on pourrait mesurer le niveau de pertinence de la stratégie d'irrigation réelle adoptée et finalement proposer des lignes directrices de gestion de l'irrigation pour la production de la pomme de terre dans cette zone de l'Algérie. Les conclusions devraient sensibiliser les gestionnaires de l'eau et les producteurs de pomme de terre sur les défis futurs en raison des changements climatiques.

2. MATERIALS ET METHODES

2.1. Description de la zone d'étude

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

La zone d'étude est située dans le nord-est de l'Algérie et comprend deux périmètres d'irrigation ; Le Bounamoussa et Guelma de coordonnées respectives de 36°46' et 36°49'N; 7°43' et 7°49'Est (Carte 01).



Carte 01. Zone d'étude

La superficie totale équipée de Bounamoussa est d'environ 16500 ha tandis que celle de Guelma est d'environ 6000 ha (AGID, 2004). L'eau d'irrigation est fournie respectivement par les barrages de Cheffia et de Hammam Dabbagh. Le climat est de type méditerranéen caractérisé par deux périodes; une période pluvieuse de Septembre à Avril et une autre sèche et chaude de Mai à Août. Les températures minimales et maximale quotidiennes de l'air varient respectivement de 22,6°C à 12,2°C, alors que la moyenne annuelle des précipitations de l'humidité relative et de la vitesse du vent sont respectivement de 686mm, 75% et 3 km/j (FAO, 2006). La texture du sol constitué sur une formation alluvionnaire est à dominante argileuse.

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

Le système d'irrigation adopté au niveau des deux périmètres est l'aspersion. Les deux périmètres sont spécialisés dans la production des cultures maraichères notamment la tomate industrielle, la pomme de terre et les cultures sous serre.

2.2. Description du modèle

Pour cette étude, le modèle SUBSTOR de pommes de terre (Simulate Underground Bulking Storage Organs) inclus dans le DSSAT4.5 a été utilisé pour évaluer sa performance pour la variété Désirée dans la zone d'étude en utilisant les données de six types représentatifs de sols. Le modèle décrit le développement phénologique quotidien et la croissance en réponse à des facteurs environnementaux (sols, les conditions météorologiques et de gestion). Le DSSAT utilise le modèle Ritchie pour calculer l'évaporation des cultures et de la transpiration des sols et de mettre à jour le bilan hydrique du sol sur une base quotidienne en fonction des processus de transfert d'eau affectant le profil du sol (précipitations, l'irrigation, la transpiration, l'évaporation du sol, les eaux de ruissellement et de drainage) (Ritchie, 1998). Les stades de croissance simulés par SUBSTOR potato comprennent la germination, l'émergence, la tubérisation, la maturité et la récolte. Le modèle comprend cinq coefficients de cultivars spécifiques (G2, G3, P2, TC et PD) qui contrôlent l'initialisation du tubercule, le développement de la surface foliaire et le taux de croissance des tubercules. Ces coefficients déterminent les réponses des cultures à la gestion de l'irrigation, des facteurs environnementaux, et leur niveau de performance (Hunt et al, 1993). G2 ($\text{cm}^2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) est le taux de développement de la surface foliaire et G3 ($\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) le taux de croissance des tubercules. P2 et TC correspondent aux coefficients relatifs à l'effet de la photopériode et de la sensibilité de la température. P2 prend des valeurs comprises entre 0 et 1, où les valeurs inférieures sont attribuées pour les cultures tardives, ceux qui se développent avec moins d'heures de rayonnement quotidien. TC est la valeur de la température au-dessus de laquelle

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

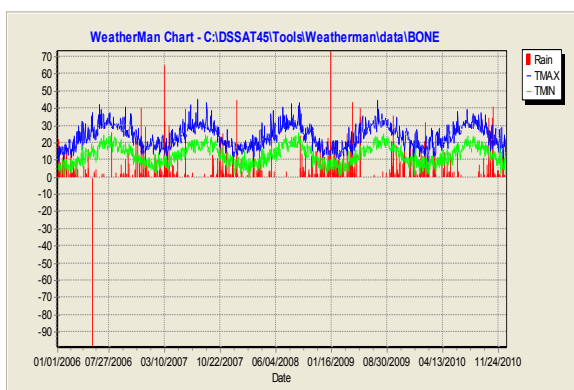
l'ouverture du tubercule est inhibée. PD est un coefficient sans dimension qui décrit dans quelle mesure le cultivar est déterminé ou non. Les fichiers de données de sortie fournissent une description détaillée du rendement en tubercules et de la biomasse aérienne, ainsi que des informations sur les réserves d'eau disponibles et de l'azote dans le sol.

2.3. Données nécessaires pour le fonctionnement du modèle

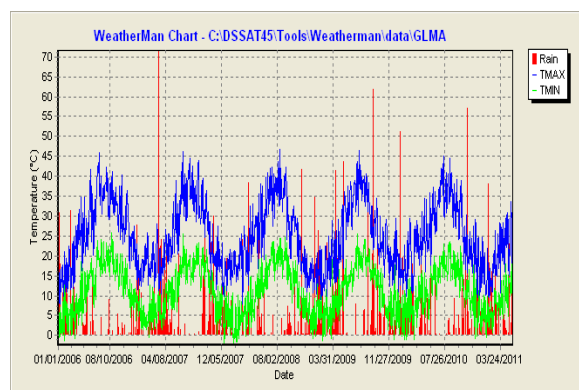
Les données d'entrée nécessaires comprennent :

- les données météorologiques quotidiennes : la température minimale et maximale de l'air, le rayonnement solaire, les précipitations, l'humidité relative et la vitesse du vent mesurées de 2006 à 2011 (Figure 26),
- les données du sol (capacité au champ, point de flétrissement, profondeur racinaire, densité apparente, ruissellement, état hydrique du sol et l'azote contenu dans chaque horizon du profil du sol ;
- l'itinéraire technique des cultures (date de semis, dates et doses de l'irrigation et la fertilisation azotée).

Les données météorologiques considérées dans l'étude (2009 et 2010), ont été enregistrées au niveau des deux stations météorologiques situées dans Bounamousa (36 °49'N, 7°49'O, 4md'altitude) et Guelma(36 °28'N, 7 °28'O, 227m d'altitude).



A-BONE=Annaba



B-GLMA=Guelma

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

Figure 26. Variation journalières des précipitations et des températures minimales et maximales des stations d'Annaba et Guelma (2006-2011)

Certaines des données du sol requises par le modèle DSSAT des six types représentatifs de sols considérés ont été tirées de la base des données de l'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) (Tableau 45).

Tableau 45. Caractéristiques pédologiques des sols de la zone d'étude.

Type de sol	Irrigation District	profondeur (m)	pH	argile (%)	sable (%)	limon (%)	Densité apparente (g cm^{-3})	Carbone organique (%)
1 (7)	Guelma	0.70	8.3	37.1	39.5	23.3	1.30	0.60
2 (8)	Guelma	0.87	8.0	39.9	50.4	9.6	1.24	0.70
3 (9)	Guelma	0.66	7.9	38	50	12	1.29	0.81
4 (10)	Guelma	0.95	7.6	35.4	52.6	11.9	1.29	0.75
5 (1)	Bouamoussa	0.86	8.3	30.5	55.1	14.3	1.31	0.54
6 (4)	Bouamoussa	0.60	8.1	55.9	38.4	5.6	1.19	0.65

L'azote total a été estimé à partir du rapport C / N. L'humidité à la capacité au champ et au point de flétrissement, la teneur en eau du sol à la saturation et la profondeur d'enracinement pour chaque horizon ont été calculées par l'algorithme inclus dans le modèle DSSAT, basé sur l'entrée des caractéristiques du sol mesurées (épaisseur de la couche et la profondeur, les teneurs d'argile, de limon, grossiers, et les fractions organiques C). L'albédo du sol, le taux de drainage et le ruissellement, sont estimés respectivement à : 0,09, 0,4 et 76 pour Guelma et 0,09, 0,05 et 61 pour Bouamoussa.

La pratique culturale de la pomme de terre était la même pour tous les types de sols, y compris la date de plantation (01 Février), la date de récolte (Juillet 01) ; la densité de

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

plantation est de **6,5 plants/ m²**, les écartements des lignes de semis sont de **45 cm**, l'irrigation était de 100 mm et 80 mm respectivement pour Guelma et Bounamoussa ; l'application d'engrais (15.15.15) avant la plantation était de **18 qx /ha** ; en outre la culture avait reçu des traitement phyto sanitaires.

2.4. Calibration et validation du modèle

La calibration et la validation du modèle SUBSTOR ont été réalisées pour la pomme de terre de variété de Désirée. La calibration consiste à ajuster les valeurs des coefficients génétiques (G2, G3, P2, PD, et TC) compte tenu des six types de sols et les données d'entrée de l'année 2009. Le processus de validation consiste en une comparaison entre le rendement des tubercules observé et simulé en utilisant les données météorologiques observées de 2010. Pour les deux procédés, le fonctionnement du modèle a été performant aussi bien pour la balance hydrique que pour l'équilibre de l'azote. Le calcul d'ETo est basé sur la méthode de Penman montheit FAO 56. Dans cette étude, seul le rendement de la pomme de terre a été utilisé comme paramètre d'évaluation en utilisant les critères statistiques suivants :

- la régression linéaire et le coefficient de détermination (R²) entre le rendement des tubercules de pomme de terre simulé et observé;
- l'erreur quadratique moyenne (RMSE) de ces variables; et de BIAS. R² représente le pourcentage de la variation des données mesurées expliquée par les données simulées.

Le Bias mesure la différence moyenne entre les valeurs mesurées et simulées. Si la moyenne du modèle est sous-estimée, le biais est positif, et inversement si le modèle la surestime. La valeur optimale de Biais est de 0,0. Le RMSE est égale à la somme de la variance des valeurs modélisées et le carré du Bias. Plus petit est la RMSE meilleure est la performance du modèle. Une valeur de RMSE de **0,0** représente une simulation parfaite du rendement des tubercules de pomme de terre observé. Les objectifs de la calibration du

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

modèle pour le rendement des tubercules de pomme de terre ont été de maximiser R2, et pour minimiser la valeur absolue du BIAS et RMSE.

2.5. Scenarios des changements climatiques

Les paramètres climatiques quotidiens observés (2006-2011), nécessaires à la gestion d'un climat futur en appliquant un modèle météorologique intégré dans DSSAT (Weatherman), ont été obtenus de l'Office National de la Météorologie. Le manque de données du rayonnement solaire a été comblé par l'estimation de ce paramètre en appliquant le modèle CROPWAT8.0.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Evaluation du modèle

Le modèle a été évalué pour seulement l'estimation du rendement. Après le processus itératif de calibration, les coefficients génétiques les mieux dérivés étaient: G2=2000, G3=22,5, G4=0,2, PD=0,7, P2=0,4 et TC=17. La comparaison entre le rendement simulé et observé est présentée dans la Figure 27.

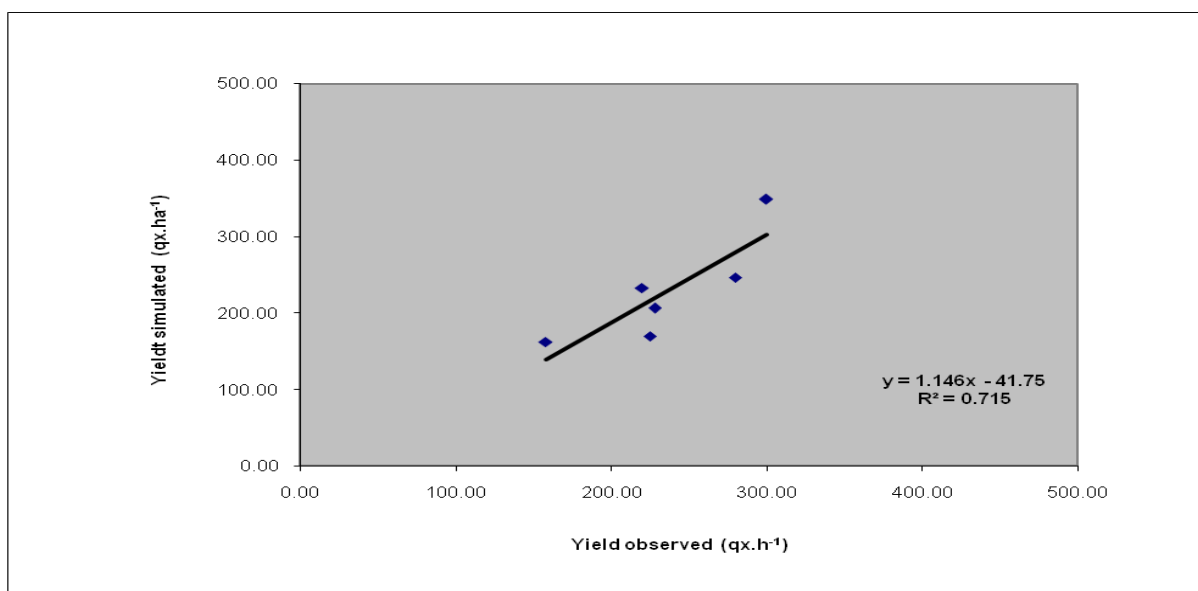


Figure 27. Calibration du modèle entre les rendements simulés et observés

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

Les résultats indiquent une corrélation significative entre les valeurs observées et simulées ($r^2 = 0,71$). Le rendement moyen mesuré était de **23,5 t/ha** et le rendement simulé était de **22,8 t/ha** avec un CV respectif de **0,21** et **0,30**. L'évaluation statistique associée à l'erreur moyenne entre les valeurs observées et simulées des six parcelles donne des valeurs de RMSE et de bias respectivement de **3,45 t/ha** et **-7,34**. Ces résultats sont similaires à ceux indiqués par Pereira et al (2008) au Brésil, Medany (2006), Abdrabbo et al. (2010) en Egypte et Daccache et al. (2011) en climat humide de l'Angleterre. Pour cet auteur les différences, exprimées en pourcentage entre les rendements moyens simulés et observés étaient très petites (1-3%). Medany (2006) a constaté qu'il n'y a pas de différence entre les rendements observés et simulés et il a conclu que le modèle de culture SUBSTOR-pomme de terre peut être utilisé avec succès en Egypte.

La simulation effectuée avec le paramètre génétique ajusté en utilisant les données de 2008 a indiqué que la parcelle7 était la seule qui présentait le plus faible rendement en raison des stress hydriques observés au cours de la saison de croissance (Tableau 46). Cela est dû à la gestion inadéquate de l'irrigation par l'agriculteur. Les résultats des simulations indiquent également un déficit d'azote pour toutes les parcelles tout au long du cycle végétatif et surtout au cours de la formation des tubercules. Cela a eu un effet négatif sur le rendement des tubercules de pommes de terre qui est proche de la production moyenne nationale de la pomme de terre (**22,6t /ha**). Le poids frais du tubercule a été atteint au 150^e jour après la plantation pour toutes les parcelles, sauf la parcelle7 où le tubercule frais a été atteint au 130^e jour à cause du déficit hydrique. Le poids optimal est obtenu pour les six parcelles entre 60^e et 90^e jour du cycle végétatif (Figure 28). Le LAI maximum simulé est de 0,75 et 2,5,

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

correspondant respectivement à la parcelle 7 et 10 pour le 60^e et le 80^e jour du cycle végétatif (Figure 29).

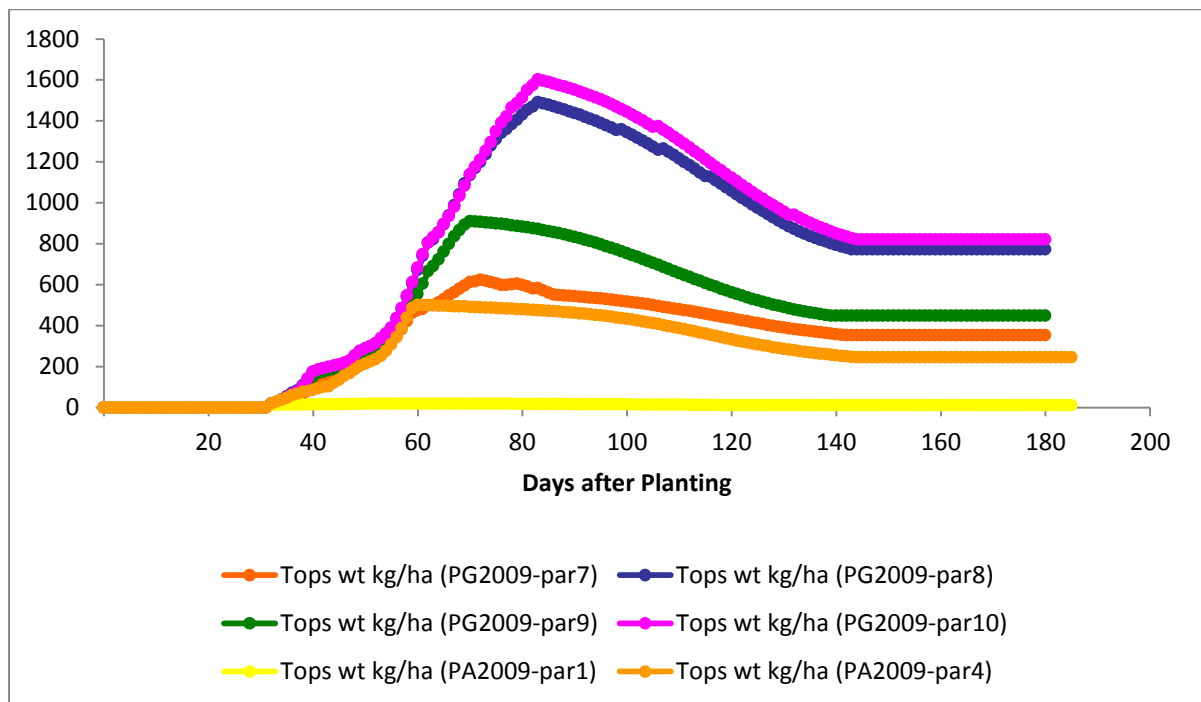


Figure 28. Poids optimal des tubercules simulés par le modèle

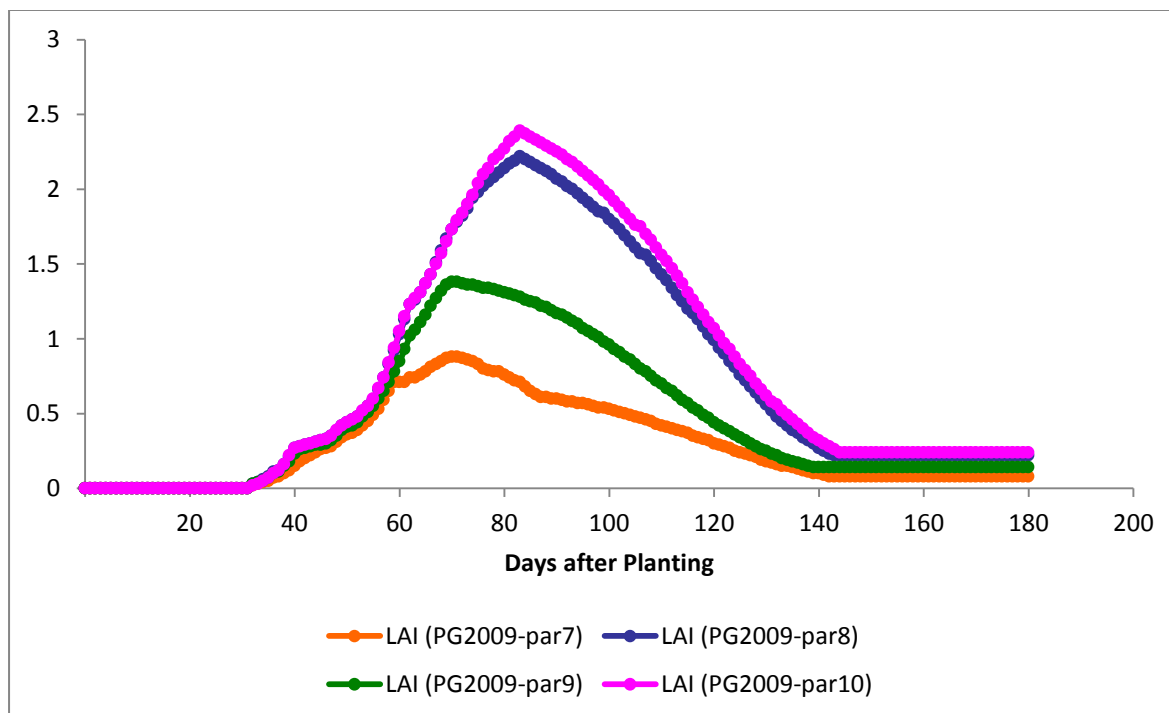


Figure 29. LAI simulé par le modèle durant le cycle végétatif

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

Tableau 46. Effets des paramètres climatiques sur le stress hydrique et la croissance des pommes de terre déterminés par le modèle SUBSTOR.

parcelle	Végétative stage	Durée végétation jour	pluie mm	rendement observé (t/ha)	Stress hydrique	Stress azote
1 (7)	I	28	67.1	15.8	0.218	0.063
	II	82	319.8		0.389	0.529
	III	180	548.9		0.283	0.399
2 (8)	I	29	67.1	22.0	0.000	0.026
	II	84	319.9		0.000	0.559
	III	180	548.9		0.000	0.414
3 (9)	I	29	67.1	22.5	0.000	0.029
	II	80	319.8		0.000	0.596
	III	180	548.9		0.000	0.438
4(10)	I	29	67.1	28.0	0.000	0.003
	II	85	320.0		0.000	0.544
	III	180	548.9		0.000	0.397
5 (1)	I	25	61.4	30.0	0.026	0.000
	II	84	206.5		0.000	0.452
	III	185	354.8		0.003	0.371
6 (4)	I	25	82.9	22.8	0.000	0.085
	II	91	309.3		0.000	0.496
	III	185	610.1		0.000	0.384

I- Stage Emergence- formation tubercule

II- Stage formation de tubercule- Maturité

III- Plantation jusqu'à la récolte

Le processus de validation a été basé sur des données correspondant à 2009 (Figure 30). Les résultats montrent que la corrélation entre le rendement mesuré et simulé était meilleure au cours du processus de validation ($r^2 = 0,73$) que lors de la calibration ($r^2 = 0,71$). La comparaison entre le rendement mesuré et estimé de tubercules frais a montré une corrélation significative avec des valeurs moyennes de Bias et RMSE de -7,34/ 23.33 et 34.43.59qx. ha-1 respectivement pour la calibration et la validation du modèle.

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

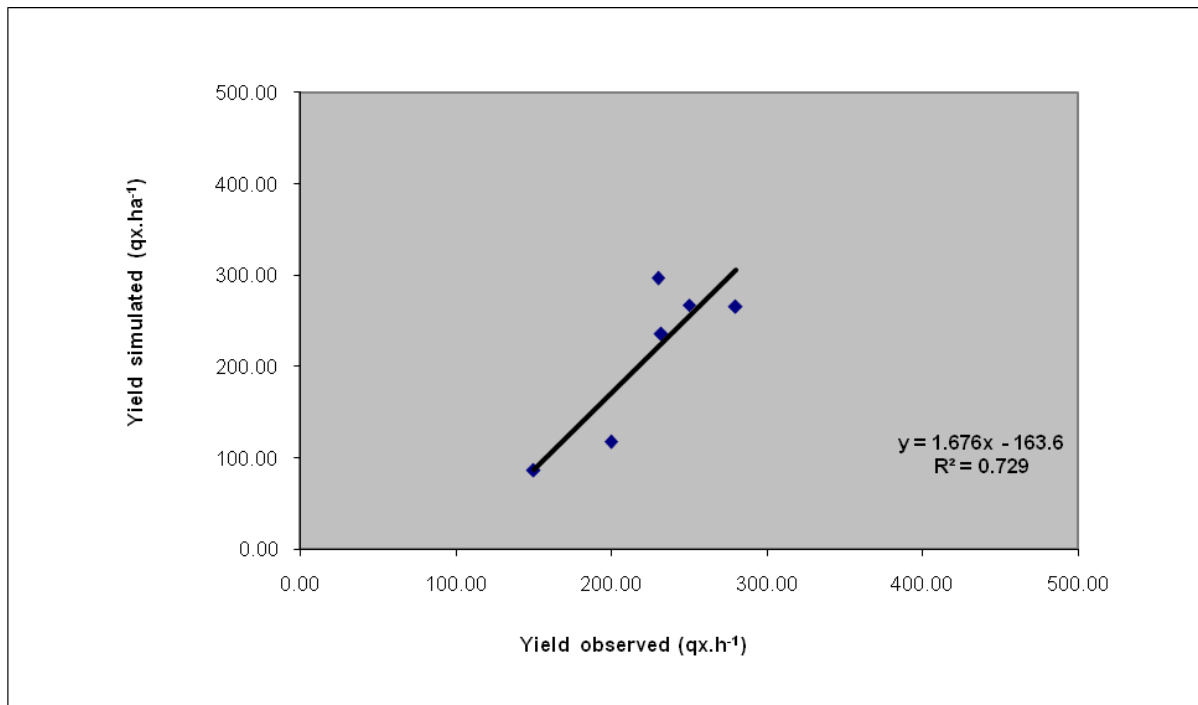


Figure 30. Validation du modèle entre les rendements simulés et observés pour l'année 2010

3.2. Scenarios des changements climatiques

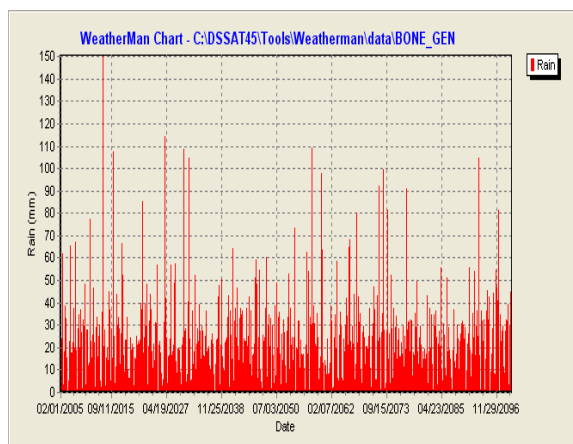
Le Tableau 47 fournit des informations sur l'évolution des rendements projetés (2020-2050 à 2080) simulé avec DSSAT4.5 en fonction des variations climatiques (température minimale et maximale et précipitations cumulatives moyennes) (Figure 31) et le stress hydrique pendant le cycle végétatif pour toutes les parcelles dans la zone d'étude, sans tenir compte de l'évolution du CO₂ et en maintenant une constance des itinéraires techniques agricoles.

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

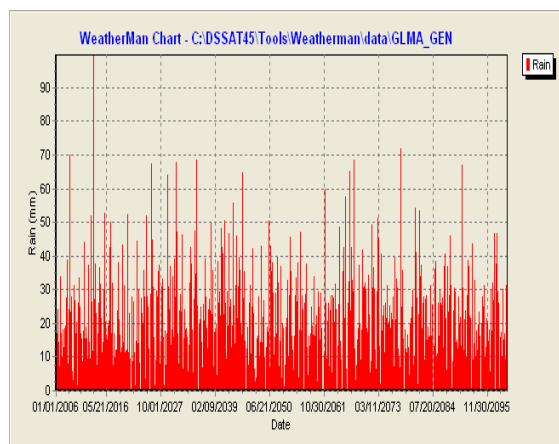
Table 47. Paramètres climatiques, stress hydrique et rendements (rdt) de la pomme de terre dans la zone d'étude pour les périodes projetées 2020-2050-2080.

parcelles	2020					2050					2080				
	rdt T/ha (Cycle)	stress Hydrique %	Tmax °C	Tmin °C	pluie mm	rdt T/ha (Cycle)	stress Hydrique %	Tmax °C	Tmin °C	pluie mm	rdt T/ha (Cycle)	stress Hydrique %	Tmax °C	Tmin °C	pluie mm
1-(7)	34.65 (113)	22	23.4	3.9	269.8	23.88 (106)	2.4	21.7	7.8	136.6	23.26 (104)	15	21.8	5.4	169.2
2-(8)	30.72 (116)	29.9	23.6	3.7	269.7	25.47 (102)	7.6	21.6	7.7	130.5	26.58 (106)	15.2	21.9	5.5	169.2
3-(9)	35.34 (112)	29.5	20.8	8.8	232.3	29.76 (106)	21.3	19.9	7.6	169.9	24.21 (106)	44.2	21.4	8.0	174.4
4-(10)	27.51 (130)	25.9	22.0	8.8	367.1	34.14 (118)	3.5	20.6	7.6	220.3	22.31 (114)	22.6	21.6	7.9	175.9
5-(1)	28.77 (115)	4.	21.0	8.8	246.8	29.49 (104)	17.5	19.7	7.6	169.9	22.43 (117)	37.5	21.4	7.9	174.4
6-(4)	27.59 (102)	0.0	20.3	8.8	318.3	32.20 (106)	0.0	19.9	7.6	169.9	34.72 (101)	23.7	21.2	8.0	174.4

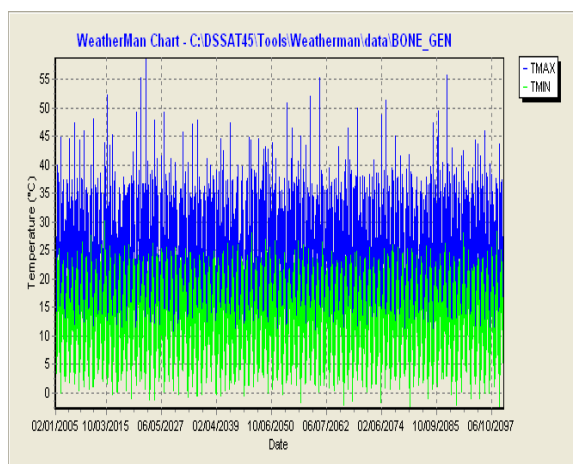
Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie



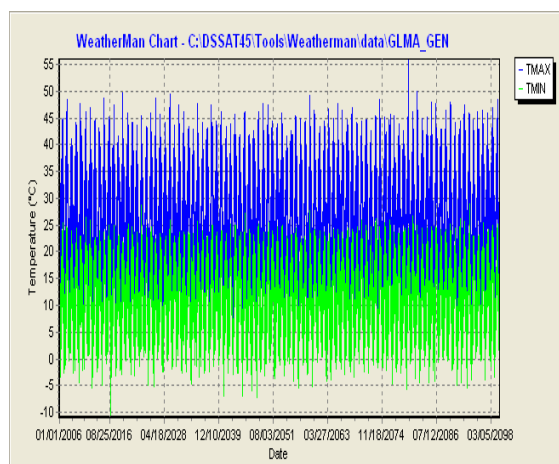
(a)- pluies



(b)- pluies



(c)- Températures minimales et maximales



(d)- Températures minimales et maximales

Figure 31. Précipitations et températures maximales et minimales générées par weatherman pour les stations d'Annaba et Guelma

Les résultats obtenus montrent essentiellement :

- Une augmentation des rendements par rapport à 2009
- Une baisse des rendements en 2080 par rapport à 2020 pour toutes les parcelles, sauf la cinquième, qui a enregistré une augmentation due essentiellement à l'absence de stress hydrique et probablement à une saison de printemps réchauffée par le climat

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

- Une année 2050 qui semble être l'année la plus stable du point de vue des paramètres climatiques et des rendements.
 - Un raccourcissement de la période de croissance liée à l'augmentation des températures minimales et maximales
- Les résultats obtenus semblent être encourageants en termes de rendement estimé. L'analyse des simulations nous permet d'offrir plusieurs explications et l'amélioration possible des résultats obtenus.

4. CONCLUSION

Dans cette étude, un ajustement du coefficient génétique du modèle SUBSTOR de pommes de terre a été proposé pour la pomme de terre variété Désirée sous climat méditerranéen. La comparaison entre les rendements mesurés et estimés a montré une corrélation significative avec des valeurs moyennes respectives de BIAS et RMSE de -7,34 / -12,42 et 34,52 / 51,41 pour les deux processus de calibration et de validation. Étant donné que la quantité d'eau lors de l'irrigation était la même pour les différents types de sol, le modèle indique un déficit d'eau d'irrigation au niveau de toutes les parcelles. L'analyse des simulations réalisées a également indiqué un certain déficit dans la gestion de l'azote. Les résultats suggèrent qu'il est nécessaire de changer la date de plantation pour éviter les basses températures et augmenter le rendement.

Cette étude est nécessaire et requise pour mettre en évidence l'impact du changement climatique sur les rendements futurs de la pomme de terre dans le nord de l'Algérie, après intégration des données quotidiennes liées au climat sur une période de plus de cinq ans dans le modèle DSSAT 4.5. Il est également important de noter que la prise en compte d'autres

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

facteurs qui influent sur la performance, y compris les mauvaises herbes, les maladies, les parasites et la salinité du sol serait très utile dans l'amélioration de la fiabilité des résultats.

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abdrabbo, M., and al., 2010. Sensitivity of potato yield to climate change. *Journal of applied Sciences Research* 6, 751-755.
2. Daccache, A., and al., 2011. Impact of climate on irrigated potato production in a humid climate. *Agricultural and Forest Meteorology* 151, 1641-1653.
3. FAO, 2006. *Climwat 2.0 for CROPWAT*. FAO Irrigation and Drainage Paper 49.
4. Giorgi, F., 2006. Climate changes hot-spots, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L08707, doi:[10.1029/2006GL025734](https://doi.org/10.1029/2006GL025734).
5. Hoogenboom, G., 2003. *Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0, volume 1: Overview*. International consortium for Agricultural Systems Applications, University of Hawaii.
6. Hunt, L. A., and al., 1993. GENCLAC : Software to facilitate the use of crop models for analyzing field experiments. *Agronomy Journal* 85, 1090-1094.
7. Kundzewiz, and al. 2008. The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrological sciences journal* 53: 3-10
8. MADR, 2010. Ministry of Agriculture and rural development. *Statistiques agricoles de 2002 à 2010*. M.A.D.R., Alger.
9. Medany, M., 2006. Assessment of the impact of climate change on adaptation on potato production. Agricultural Research Center. Final Report.
10. Olarta, S. and al. 2000. Validacion del modelo de simulacion SUBSTOR del programa DSSAT3.5 en dos variedades nativas de papa *Solanum Tuberosum* ssp. Andigena variedad Tuquerrena y *Solanum phureja* variedad y ema de huevo. Universidad Nacional de Colombia, Bogota. Facultad de Agronomia.
11. ONID, 2010. Office Nationale de l'Irrigation et du Drainage. Evolution des superficies irriguées des périmètres d'irrigation. O.N.I.D., Alger.
12. Pereira, A. B., Nilson, V. N., 2008. Potato potential yield based on climatic elements and cultivar characteristics. *Bragantia, Campinas* 67, 327-334.

Chapitre 4 : Evaluation du modèle DSSAT pour l'irrigation par aspersion de la pomme de terre : Etude de cas dans le Nord Est de l'Algérie

13. Ritchie, J., and al. 1995. SUBSTOR Functional model of potato growth, development, and yield. In *Modeling and parameterization of the soil-plant-Atmosphere System: A comparison of potato Growth Models*, 401-434.
14. Ritchie, J., 1998. Soil water balance and plant water stress. In *Understanding options of agricultural production*, eds. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers and Internanational Consortium for Agricultural Systems Applications, 41-53.
15. Stastna, M., and al., 2010. Usage of SUBSTOR model in potato yield prediction. *Agriculture Water Management* 97, 286-290.
16. Stastna, M., Dufkova, J., 2008. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 73, 227-234.
17. Tanasijevic, L., and al., 2014. Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management* 144, (2014) 54–68.
- 18.** Tsuji, andal., 1994. DSSAT v3.0. Honolulu, Hawii: University of Hawaii.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Deux paramètres essentiels contrôlent la production végétale : la température et les pluies (Quantité et répartition) au cours des différentes phases du cycle végétal. Les changements climatiques, dans le cas de l'Algérie notamment le Nord Est, vont provoquer une baisse des réserves en eau du sol à cause de la baisse des précipitations et de l'augmentation de l'évaporation au niveau du végétal et du sol due à l'élévation de la température.

L'augmentation de la température réduira la durée du cycle végétal pouvant constituer un facteur favorable en absence de stress hydrique. Cependant, dans le cas de l'Algérie, la baisse de pluviométrie et l'augmentation de température signalées par l'ensemble des modèles climatiques représentent des facteurs défavorables pour les cultures et le sol. La principale conséquence est l'accentuation du stress hydrique entraînant une chute des rendements. Une concentration plus élevée de CO₂ dans l'atmosphère a un impact positif sur le processus de photosynthèse et peut entraîner, dans le cas où l'eau est disponible, une croissance plus rapide des plantes et un rendement plus élevé. Cependant, l'eau est un facteur limitant en Algérie et les risques de stress hydrique sont donc plus grands. Tous les spécialistes précisent qu'il n'y a pas une relation linéaire entre le développement végétal et la quantité d'eau annuelle de pluie. C'est la répartition mensuelle et saisonnière des pluies qui est la plus importante et qui détermine les rendements. La plante ne consomme pas de la même façon l'eau, au cours des différents stades de son cycle végétatif. L'impact des changements climatiques sur les végétaux est fonction du type de cultures. Une élévation de la température entraîne une augmentation de l'évaporation du sol qui va accentuer son degré de salinité provoquant ainsi sa dégradation.

Un réchauffement de la température signifie également un décalage des saisons. Il en résultera, vraisemblablement, un hiver moins pluvieux et un printemps doux et pluvieux. La

CONCLUSION GENERALE

saison agricole va certainement se raccourcir, ce qui conduira impérativement à une adaptation des espèces culturales, à de nouvelles pratiques agricoles et à la refonte du calendrier agricole traditionnel.

Les sécheresses fragilisent le sol et les inondations détruisent le couvert végétal et érodent les sols. Plus les séquences pluvieuses et sèches seront espacées et plus l'érosion du sol sera grande. On voit donc, que du point de vue agricole, l'interaction entre l'air, l'eau et le sol va subir de nombreuses transformations entraînant un impact global négatif sur le végétal.

L'amplification du risque de sécheresse représente l'impact le plus sérieux des changements climatiques. Le GIEC estime que le désert progressera en direction du Nord du Maghreb.

Les modèles climatiques globaux (GCM) prévoient une altération des extrêmes de températures. Ce qui va entraîner aussi un recul et un raccourcissement de la saison froide.

Les GCM indiquent que la variabilité inter-annuelle et l'amplitude de la température diminueront probablement alors que celles des précipitations augmenteront.

Prenant en considération tout ce qui précède, il serait impératif de s'adapter aux changements climatiques prévus. Comme mode d'adaptation, on peut citer, la réduction des jachères, l'intensification des cultures en irrigué, de meilleures pratiques agricoles, le choix de semences appropriées et adaptées au sol et au climat, l'enrichissement en engrais et en composés organiques des sols agricoles.

L'accroissement projeté de la production agricole doit reposer essentiellement sur l'irrigation complémentaire, l'extension des périmètres irrigués et la généralisation des techniques économisatrices d'eau (aspersion et goutte à goutte). L'augmentation des surfaces irriguées suppose la disponibilité de l'eau. Cette démarche implique l'élaboration d'une stratégie en matière de mobilisation des ressources en eau pour satisfaire les besoins agricoles. Au stade actuel, on a constaté qu'en cas de pénurie d'eau, les périmètres irrigués étaient totalement sacrifiés au bénéfice de l'alimentation des populations en eau potable.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal étant d'assurer le maintien de la productivité au niveau des systèmes agricoles ce qui nécessite des efforts de recherche substantiels pour mieux comprendre les émissions des gaz à effet de serre et améliorer l'absorption de CO₂ atmosphérique par la végétation et par le sol en relation avec les contraintes imposées par l'existence périodique du stress d'origine hydrique. Parmi les mesures préconisées, on peut citer :

- l'application de nouvelles pratiques agricoles et la refonte du calendrier agricole traditionnel en tenant compte du régime des pluies et du dérèglement des saisons du aux changements climatiques,
- choix de variétés des cultures à cycle court et adaptées aux conditions locales par l'utilisation de semences sélectionnées et optimisation de la relation sol-végétal-climat en développant des recherches multidisciplinaires et une meilleure connaissance de la relation entre le bilan hydrique du sol et l'évolution climatique,
- l'atténuation des impacts des changements climatiques sur la production agricole en général par l'amélioration du matériel génétique;
- la prise en charge des terres abandonnées, notamment celles dans l'indivision suite aux héritages ;
- l'élaboration d'un plan d'occupation des sols dans le cadre du plan national d'aménagement du territoire,
- la mise en œuvre des techniques de lessivage et de traitement des sols pour éviter leur salinisation et assurer leur conservation permettant ainsi l'augmentation du potentiel sol,
- l'amélioration de la capacité de rétention en eau du sol pour lui permettre de retenir plus d'eau en augmentant sa matière organique. Ce qui entrainera un meilleur approvisionnement en eau et une meilleure croissance des cultures

CONCLUSION GENERALE

Notre étude mérite d'être étendue à l'échelle nationale. La principale recommandation pour les études futures sur la base des résultats actuels est de mener des expériences sur le terrain afin de calibrer les modèles DSSAT et CROPWAT. L'extension du réseau d'observation des données météorologiques ajouterait plus de précision pour les travaux futurs. Le développement de meilleurs modèles de prévision climatique au niveau régional(ou même à l'échelle nationale) permettrait de réduire les incertitudes liées à l'estimation des données climatiques futures.

Les risques liés aux changements climatiques constituent donc un défi majeur pour l'Algérie et pour le Maghreb car cette région est spécifique en matière de changements climatiques. Elle doit faire l'objet d'investigation de la part du GIEC. La communauté internationale devra être sensibilisée sur la nécessité de l'étude de l'évaluation des risques climatiques futurs sur le Maghreb. ***Le développement d'un modèle climatique régional pour le Maghreb serait d'un grand apport pour les études de vulnérabilité et d'adaptation.***

RESUME

L'objectif de notre travail est d'analyser l'impact des changements climatiques notamment les précipitations et les températures sur le fonctionnement des systèmes d'irrigation c'est-à-dire sur les besoins en eau des cultures de deux grands périmètres du nord est de l'Algérie situés dans les wilayas d'El Tarf, Annaba et Guelma. Un diagnostic de fonctionnement des systèmes d'irrigation goutte à goutte et par aspersion a été réalisé et a révélé une homogénéisation de la distribution de l'eau malgré les fuites remarquées au niveau des pièces spéciales des réseaux. Concernant les changements climatiques, deux modèles (CROPWAT 8.0 ET DSSAT 4.5) de simulation des besoins en eau et un autre (CLIMATE WIZARD) de simulation des changements climatiques ont été utilisés. Les résultats ont montré que les besoins en eau projetés en 2050 et 2080 sont supérieurs trois à cinq fois aux besoins des cultures déterminés lors de l'élaboration de l'étude pour l'ensemble des spéculations des périmètres. En adoptant le DSSAT 4.5 pour la pomme de terre (variété désiré) on a remarqué une légère baisse des rendements due essentiellement à un manque d'azote et un stress hydrique au cours du cycle végétatif de la culture.

Mots clés : changements climatiques, systèmes d'irrigation, logiciels, rendements, Nord-est Algérien

ABSTRACT

The aim of our work is to analyze the impact of climate change including precipitation and temperatures on the irrigated systems and particularly the crops water needs in two irrigation perimeters northern Algeria located in the districts of El Tarf, Annaba and Guelma. A diagnosis of the irrigation practices focused on drip and sprinkler systems. It revealed an homogenization of the water distribution despite leaks in the parts of networks. The two climates change models "CROPWAT DSSAT 8.0 and 4.5" for water needs requirements and yield assessment in one part and "climate wizard" simulation for climate change prediction in another part have been used. The results showed that the water requirements projected 2050 and 2080 are higher three to five times than the crops needs scheduled for the perimeter study. By adopting the DSSAT 4.5 for potato (desire variety), we noticed a slight reduction of the yields due mainly to a lack of nitrogen and to a water stress during the crop vegetative cycle.

Keywords: climate change, irrigation systems, software, yields, North-east of Algeria

ملخص

الهدف من عملنا هو دراسة تأثير تغير المناخ المتمثل خاصة في هطول الأمطار ودرجات الحرارة على تشغيل أنظمة الري و بالتالي على الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية لسهلين مسقيين يقعان في شمال شرق الجزائر و بالتحديد في ولايات الطارف، عنابة و قالمة. تشخيص النظامين الرش و التقيط يظهر التجانس في توزيع مياه الري على الرغم من بعض التسريبات على مستوى بعض الاجهزة الهيدروميكانكية كالصمامات. بخصوص التغيرات المناخية وتأثيرها على الانتاج الزراعي اكدت الدراسة ارتفاع الاحتياجات المائية ثلاثة الى خمسة اضعاف خلال سنوات 2050 و 2080 و ذلك لكل المزروعات. في ما يخص زراعة البطاطا فان مردودها سوف ينخفض قليلا و ذلك يعود الى نقص الماء و الازوت (CROPWAT 8.0 DSSAT 4.5 و CLIMTE WIZARD) خلال دورتها الزراعية. هذا العمل استخدام ثلاثة نموذج

الكلمات المفاتيح : التغيرات المناخية طرق الري, برنامج الحاسوب, المرودود, احتياجات مائية