

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

Département : Sciences Agronomiques



Mémoire De Fin D'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Aménagement hydro-Agricole

**Etude et utilisation du stress hydrique comme pratique agro-écologique
sur la culture de courgette dans la plaine de Khemis Miliana**

Présenté par :

Mlle Touaibia Wissame

Mr Harkat Ilyas

Soutenu le 31-07-2019 devant le jury :

Président : Mr Merouche.A

MCB UDB Khemis-Miliana

Promoteur : Mr Touil.S

MCB UDB Khemis-Miliana

Examineur : Melle Matene.N

MAA UDB Khemis-Miliana

Examineur : Mr Imesseoudene.Y

MAA UDB Khemis-Miliana

Année universitaire 2018-2019

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à,

Ma mère, mon père,

Ma sœur et mes frères

Chaque membre de ma famille

Ainsi que mes amis proches.

Mon binôme Wissame

Ce travail est également dédié à mes collègues

d'études et toute la promotion aménagement hydro-

agricole.

H. Iyas

Dédicaces

Je dédier ce modeste travail à :

Mes chers parents qui m'ont toujours soutenu

Mes chers frères Adi et Thab

Mes chères sœurs

Mon binôme Ilyas

Et en fin à ceux qui sont présents dans mon cœur

T. Wissam

REMERCIEMENTS

Après avoir rendu grâce à dieu le tout puissant et le miséricordieux nous tenons à remercier vivement tous ce qui, de près ou de loin ont participé à la rédaction de ce document. Il s'agit plus particulièrement de:

- Notre encadreur **Mr Touil Sami**, pour son suivi et son énorme soutien, qu'il n'a cessé de nous prodiguer tout au long de cette période.
- Les membres de jury, pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail
- Nos Enseignants de l'Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana pour leurs contributions à notre formation.
- Toute notre **équipe du projet VIANA** et surtout les doctorants qui nous a aidé beaucoup : **Taibi Hamida** et **Tadjer Noureddine**
- Les propriétaires, les gérants et les ouvriers de la ferme de **Bensiame**
- Notre collègue **Tassalit Abdellah**, c'est grâce à lui qu'on a pu faire les enquêtes
- Tous les agriculteurs que nous avons rencontrés
- Tous les ingénieurs et les employés du laboratoire de notre université
- ONID, DSA, DHW.

Résumé :

L'objectif de ce travail est d'étudier l'utilisation du stress hydrique comme pratique agro-écologique dans la plaine de Khemis Miliana. En premier lieu, nous avons mené une enquête auprès de 50 exploitations afin de mieux comprendre le comportement des agriculteurs lors de l'utilisation du stress hydrique. Ensuite, un dispositif expérimental divisé en quatre carrés (témoin, avec stress hydrique, avec biofertilisant, avec biofertilisant et stress hydrique) a été établi afin de suivre la réponse des cultures de courgettes à ces différents traitements.

Le dépouillement des enquêtes a montré que 43 % des agriculteurs questionnés utilisaient le stress hydrique au cours du cycle végétatif (Phase initiale ou phase de développement) ceci a permis d'améliorer le rendement qualitatif et quantitatif des cultures. Le dispositif expérimental a montré que le stress hydrique influe d'une manière positive sur les cultures (coté morphologique et coté du rendement) et réduit les maladies qui peuvent apparaître ce qui réduit l'utilisation des engrais et des pesticides.

Les résultats obtenus valident les hypothèses des agriculteurs (Le stress hydrique permis une économie d'eau de 30%) et par conséquent on peut dire que le stress hydrique existe vraiment comme pratique agro-écologique.

Mots-clés : *stress hydrique, agro-écologique, biofertilisant*

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة استخدام الإجهاد المائي كممارسة بيئية زراعية في سهل خميس مليانة. أولاً ، أجرينا مسحاً لـ 50 مزرعة لفهم سلوك المزارعين بشكل أفضل عند استخدام الإجهاد المائي. ثم ، تم إنشاء جهاز تجريبي مقسم إلى أربعة مربعات (شاهد ، مع الإجهاد المائي ، مع الأسمدة الحيوية ، مع الأسمدة الحيوية والإجهاد المائي) من أجل متابعة استجابة الكوسة لهذه العلاجات المختلفة.

أظهر تحليل المسوحات أن 43% من المزارعين الذين تم سؤالهم استخدموا الإجهاد المائي خلال الدورة الخضريّة (المرحلة الأولى أو مرحلة التطوير) ، مما سمح بتحسين المحصول النوعي والكمّي للمحاصيل. أظهر التصميم التجريبي أن إجهاد الماء له تأثير إيجابي على المحاصيل (الجانب المورفولوجي والجانب المحصولي) ويقلل من الأمراض التي قد تحدث والتي تقلل من استخدام الأسمدة والمبيدات الحشرية.

أثبتت النتائج التي تم الحصول عليها صحة فرضيات المزارعين (سمح الإجهاد المائي بتوفير المياه بنسبة 30 %) ، وبالتالي يمكن القول أن الإجهاد المائي موجود حقاً كممارسة بيئية زراعية.

الكلمات المفتاحية: الإجهاد المائي، الإيكولوجي الزراعي ، الأسمدة الحيوية

Abstract :

The objective of this work is to study the use of water stress as an agro-ecological practice in the plain of Khemis Miliana. First, we conducted a survey of 25 farms to better understand farmers' behavior when using water stress. Then, an experimental device divided into four squares (control, with water stress, with biofertilizer, with biofertilizer and water stress) was established in order to follow the response of the zucchini cultures to these different treatments.

The analysis of the surveys showed that 43% of the farmers questioned used water stress during the vegetative cycle (initial phase or development phase). This allowed to improve the qualitative and quantitative yield of crops. The experimental design has shown that water stress has a positive effect on crops (morphological and yield side) and reduces diseases that may occur which reduces the use of fertilizers and pesticides.

The results obtained validate farmers' assumptions and therefore it can be said that water stress really exists as an agro-ecological practice.

The results obtained validate the farmers' hypotheses (Water stress allowed a water saving of 30%) and therefore it can be said that water stress really exists as an agro-ecological practice.

Keywords: water stress, agro-ecological, biofertilizer

Liste des tableaux

Tableau 1. Réservoir utilisable maximal d'un horizon selon sa classe de texture, exprimé en mm d'eau par cm d'épaisseur. (Service de cartographie des sols de l'Aisne)**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 2. Ordre de grandeur du coefficient de perméabilité des sols en cm/s (Costet et al. 1983)
.....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 3. Paramètres de calcul des besoins en eau des cultures (Johnny, 2008).**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 4. Caractéristiques des barrages en exploitation (DHW Ain Defla, 2018).**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 5. Caractéristiques géographiques de la station de Harraza**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 6. Pluviométrie moyenne mensuelle en mm (1987/1988-2014/2015)**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 7. Températures extrêmes et moyennes mensuelles en °C (1987-2015).....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 8. Evaporation moyenne mensuelle en mm (1987-2015)..**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 9. Vitesse moyennes mensuelles du vent en Km/h (1987-2015)**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 10. Humidité relative (%) de la station ITGC de Khemis Miliana (1975-2006)
.....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 11. Durée moyenne mensuelles d'ensoleillement (1990-2005)**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 12. Classification du climat selon l'indice de De Martonne**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 13. Caractéristique de la parcelle d'étude.....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 14. Norme d'interprétation de la porosité (mémento d'agronomie, 1993).....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 15. Classification du sol selon le pH (Denis, 2000).**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 16. Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durant (1983)**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 17. Norme d'interprétation de la matière organique (méthode Anne ISO 10693)
.....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau 18. Enquêtes du terrain	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 19. Distribution granulométrique de la parcelle	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 20. La densité apparente et de porosité	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 21. Teneurs en eau à 20 et 40 cm de profondeur.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 22. Statistiques générales des caractéristiques du pH et de la CE	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 23. La matière organique	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 24. Test d'homogénéité de Wilcoxon.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 25. Ajustement à la loi de Gauss	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 26. Ajustement à la loi log normale.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 27. Test de validité des deux ajustements	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 28. Précipitation moyenne mensuelle de l'année de calcul	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 29. Evapotranspiration de référence	Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

- Figure 1. Différentes phases du sol (Calvet R, 2003) **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 2. Triangle des textures (Daniel, 1984)..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 3. Dispositif de mesure de la perméabilité (Masson, 1997). **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 4. Relation potentiel humidité pour 3 types de sol (CTGREF, 1970) **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 5. Différents systèmes d'irrigation..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 6. Schéma d'une installation d'irrigation localisée..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 7. Carte de situation géographique de la région d'étude..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 8. Réseau hydrographique de la Plaine d'El Khemis..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 9. Variation des précipitations moyennes annuelles (1987/2015) **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 10. Variation des précipitations moyennes mensuelles (1987-2015) **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 11. Températures extrêmes et moyennes mensuelles (1987-2015) **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 12. Evaporation moyenne mensuelle (1987-2015) **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 13. Vitesses moyennes mensuelles du vent (1987-2015) **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 14. Diagramme de Gaussen pour la plaine d'El Khemis **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 15. Diagramme bioclimatique d'Emberger (Station de Barrage Harraza). **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 16. Carte pédologique du Haut Cheliff (Boulaine, 1957 modifiée par Bouhini et Beghdadi, 2017) **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 17. Carte géologique de la plaine du Haut Cheliff. (Perrodon, 1957). **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 18. Coupe transversale de la plaine du Haut Chélif (ANRH, 1997) **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 19. Localisation de la parcelle d'étude (Google Earth, 2019) **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 20. Plan d'échantillonnage..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 21. Triangle de texture **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 22. Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure 23. Ajustement des pluies annuelles à la loi log-Normale... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 24. Evolution de la tension du sol à 30 et 60 cm de profondeur par les sondes Watermark durant la période du stress hydrique..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 25. Evolution de l'humidité du sol par TDR (Carré témoin)**Erreur ! Signet non défini.**

Figure 26. Evolution de l'humidité du sol par TDR (carré stress hydrique)**Erreur ! Signet non défini.**

Figure 27. Evolution de l'humidité du sol par TDR (Carré Biostimulant + stress hydrique) **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 28. Evolution de l'humidité du sol par TDR (Carré Biostimulant)**Erreur ! Signet non défini.**

Figure 29. Evolution de longueur (Rameau + Feuille) (carré témoin)**Erreur ! Signet non défini.**

Figure 30. Evolution du nombre de feuilles par plant (carré témoin)**Erreur ! Signet non défini.**

Figure 31. Evolution de la profondeur d'enracinement (carré témoin)**Erreur ! Signet non défini.**

Figure 32. Evolution de longueur (Rameau + Feuille) (carré stress hydrique)**Erreur ! Signet non défini.**

Figure 33. Evolution du nombre de feuille par plant (carré stress hydrique)**Erreur ! Signet non défini.**

Figure 34. Evolution de la profondeur d'enracinement (carré stress hydrique)**Erreur ! Signet non défini.**

Figure 35. Evolution de longueur (Rameau + Feuille) (carré biostimulant)**Erreur ! Signet non défini.**

Figure 36. Evolution du nombre de feuille par plant (carré biostimulant)**Erreur ! Signet non défini.**

Figure 37. Evolution de profondeur d'enracinement (carré biostimulant)**Erreur ! Signet non défini.**

Figure 38. Evolution de longueur (Rameau + Feuille) (carré biostimulant + stress hydrique) **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 39. Evolution du nombre de feuilles par plant (carré biostimulant + stress hydrique) **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 40. Evolution de la profondeur d'enracinement (carré biostimulant + stress hydrique) **Erreur ! Signet non défini.**

Liste des Photos

- Photo 1. Travail du sol (Crédit Harkat et Touaibia, 2019)..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Photo 2. Labour primaire par la charrue à disque (Crédit Harkat et Touaibia, 2019).... **Erreur ! Signet non défini.**
- Photo 3. Labour primaire par la charrue Chisel (Crédit Harkat et Touaibia, 2019)..... **Erreur ! Signet non défini.**
- Photo 4. Culture de courgette (Crédit Touaibia et Harkat, 2019) ... **Erreur ! Signet non défini.**
- Photo 5. Application du biostimulant (Crédit Touaibia et Harkat, 2019) **Erreur ! Signet non défini.**
- Photo 6. Installation des sondes Watermark (Crédit Harkat et Touaibia, 2019) **Erreur ! Signet non défini.**
- Photo 7. Suivi de l'état hydrique du sol par TDR (Crédit Harkat et Touaibia, 2019).... **Erreur ! Signet non défini.**
- Photo 8. Suivi de la croissance végétative (Crédit Touaibia et Harkat, 2019) **Erreur ! Signet non défini.**
- Photo 9. Analyse granulométrique avec pipette de Robinson (Crédit Touaibia et Harkat, 2019) **Erreur ! Signet non défini.**
- Photo 10. Dosage de pH (Crédit Touaibia et Harkat, 2019) **Erreur ! Signet non défini.**
- Photo 11. Dosage de la matière organique (Crédit Touaibia et Harkat, 2019) **Erreur ! Signet non défini.**

Liste des abréviations

ITGC : Institut technique des grandes cultures.

ABHCZ : agence des bassins hydrographique Cheliff- Zahrez.

Da : densité apparente.

Dr : densité réelle.

P : la porosité

Kc : Le coefficient de culture.

ETP : Evapotranspiration potentielle.

ETR : Evapotranspiration réelle.

ETM : Evapotranspiration maximale.

T : température (°C).

T max : température maximale (°C).

T min : température minimale (°C).

H (%) : Humidité relative de l'air (%).

P_{eff} : la pluie efficace.

Bbrut : besoins en eau brut.

Eff : l'efficacité du réseau d'irrigation.

V : volume.

V_v : volume de vide.

V_t : volume totale.

K : coefficient de perméabilité

θ_l : La teneur en eau volumique du sol.

θ_r : la teneur en eau résiduelle.

θ_s : la teneur en eau à saturation.

θ_v : La teneur en eau volumique.

H_{cc} : humidité du sol à la capacité au champ

H_{pf} : humidité au point de flétrissement.

ft : Point de flétrissement temporaire.

Fp : Point de flétrissement permanent.

Z : profondeur d'enracinement en mm.

RU : réserve utile.

RS : Réserve de survie.

RFU : Réserve facilement utilisable.

Ψ_g : Le potentiel gravitaire.

Ψ_m : Le potentiel matriciel.

Ψ_0 : Le potentiel osmotique.

KPa : kilo pascals.

pF : le potentiel hydrique.

Bj : Besoins journaliers.

Dnp : Dose d'irrigation nette pratique.

Qr : Débit de rampe

Qg: Débit des goutteur

Ng : Nombre des goutteurs

r : Rampe

Nr : Nombre des rampes

Qpr: Débit de porte rampe.

Q : débit (m³/s).

PEHD : Tuyau en polyéthylène à haute densité.

Ør: le diamètre de rampes.

Øpr : le diamètre de porte rampe.

LG : limon grossier.

LF : limon fin.

A : argile.

Table des matières

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Liste des tableaux

Listes des figures

Listes des photos

Listes des abréviations

Introduction générale.....	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre 1. Synthèse bibliographique	Erreur ! Signet non défini.
1.1. Notions de base sur le sol.....	Erreur ! Signet non défini.
1.1.1. Définition	Erreur ! Signet non défini.
1.1.2. Phases du sol	Erreur ! Signet non défini.
1.1.3. Propriétés physiques du sol	Erreur ! Signet non défini.
1.2. Dynamique de l'eau dans le sol.....	Erreur ! Signet non défini.
1.2.1. Formes de l'eau dans le sol	Erreur ! Signet non défini.
1.2.2. Teneur en eau.....	Erreur ! Signet non défini.
1.3. Notion de réserve utile.....	Erreur ! Signet non défini.
1.3.1. Réserve facilement utilisable (RFU) et Réserve de survie (RS)....	Erreur ! Signet non défini.
1.3.2. Potentiel hydrique et potentiel matriciel.....	Erreur ! Signet non défini.
1.3.3. Relation entre potentiel et teneur en eau	Erreur ! Signet non défini.
1.4. L'irrigation	Erreur ! Signet non défini.
1.4.1. Définition de l'irrigation	Erreur ! Signet non défini.
1.4.2. Différents systèmes d'irrigation	Erreur ! Signet non défini.
1.5. Besoin en eau des cultures.....	Erreur ! Signet non défini.
1.6. Besoins en eau d'irrigation.....	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude.....	Erreur ! Signet non défini.
2.1. Présentation générale de la zone d'étude	Erreur ! Signet non défini.
2.1.1. Situation géographique	Erreur ! Signet non défini.
2.1.2. Morphologie.....	Erreur ! Signet non défini.
2.1.3. Démographie.....	Erreur ! Signet non défini.
2.2. Contexte hydro-climatologique.....	Erreur ! Signet non défini.
2.2.1. Réseau hydrographique	Erreur ! Signet non défini.

2.2.2.	Ressources en eaux superficielles	Erreur ! Signet non défini.
2.2.3.	Contexte climatologique	Erreur ! Signet non défini.
2.3.	Synthèse climatique	Erreur ! Signet non défini.
2.3.1.	Diagramme ombrothermique de Bagnoles et Gausсен	Erreur ! Signet non défini.
2.3.2.	Quotient pluviométrique et Climagramme d'Emberger	Erreur ! Signet non défini.
2.3.3.	Indice d'aridité de De Martonne	Erreur ! Signet non défini.
2.4.	Contexte pédologique	Erreur ! Signet non défini.
2.5.	Contexte géologique	Erreur ! Signet non défini.
2.6.	Contexte hydrogéologique	Erreur ! Signet non défini.
	Conclusion	Erreur ! Signet non défini.
	Chapitre 3. Matériel et méthodes	Erreur ! Signet non défini.
2.7.	Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.
2.8.	Travaux du terrain	Erreur ! Signet non défini.
2.9.	I.1.Réalisation des enquêtes.....	Erreur ! Signet non défini.
2.10.	I.2.Présentation du site expérimental (site d'étude)	Erreur ! Signet non défini.
2.11.	Echantillonnage du sol.....	Erreur ! Signet non défini.
2.12.	Préparation du sol avant la plantation.....	Erreur ! Signet non défini.
2.13.	Choix de culture.....	Erreur ! Signet non défini.
2.14.	Choix de système d'irrigation à installer	Erreur ! Signet non défini.
2.14.2.	Dispositif expérimental	Erreur ! Signet non défini.
2.14.3.	Contrôle visuel des cultures	Erreur ! Signet non défini.
2.15.	Analyses physico-chimiques en laboratoire	Erreur ! Signet non défini.
2.15.1.	Analyses physiques.....	Erreur ! Signet non défini.
2.15.2.	Analyses chimiques	Erreur ! Signet non défini.
	Chapitre 4. Résultats et discussion.....	Erreur ! Signet non défini.
3.1.	Résultats des enquêtes	Erreur ! Signet non défini.
3.2.	Caractérisation du sol de la parcelle	Erreur ! Signet non défini.
3.2.1.	Résultats des analyses physiques.....	Erreur ! Signet non défini.
3.2.2.	Résultat des analyses chimiques	Erreur ! Signet non défini.
3.3.	Calcul des besoins en eau des cultures et des besoins en eau d'irrigation	Erreur ! Signet non défini.
3.3.1.	Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique.....	Erreur ! Signet non défini.
3.3.2.	Ajustement statistique des pluies	Erreur ! Signet non défini.
3.4.	Suivi de l'état hydrique du sol	Erreur ! Signet non défini.
3.4.1.	Par sondes Watermark.....	Erreur ! Signet non défini.
3.4.2.	Par TDR	Erreur ! Signet non défini.

3.5. Evolution de la croissance végétative	Erreur ! Signet non défini.
3.6. Contrôle visuel.....	95
Conclusion Générale	Erreur ! Signet non défini.
Annexe	

Introduction générale

L'agro écologie est une façon de pratiquer l'agriculture dans une logique de maintien des équilibres des agro systèmes tout en usant de stratégie qui font que les productions agricoles soient socio-économiquement et écologiquement acceptables.

Les difficultés rencontrées au niveau des exploitations agricoles ne se limitent pas aux conditions de travail du sol ou au choix de l'espèce cultivée mais également à la disponibilité des moyens de fertilisation et de sauvegarde de l'agro-écosystème.(Mbour, 2015). L'agro-écologique vise à faire progresser simultanément la performance économique, la performance environnementale et la qualité sociale des systèmes de production pour les agriculteurs comme pour la société. Il vise ainsi à produire autrement en repensant nos systèmes de production.

C'est un changement des pratiques agricoles, mais c'est aussi une autre façon de penser, pour réintroduire du savoir agronomique et utiliser au mieux les fonctionnalités et les interactions naturelles (Foll, 2016).

Le déficit hydrique affecte plusieurs variables physiologiques de la plante et est synonyme de baisse de rendement et de qualité pour des végétaux de grande culture. Dès lors, l'irrigation devient une solution préconisée. Celle-ci doit cependant permettre d'appliquer seulement la quantité d'eau dont la plante a besoin pour éviter le lessivage des fertilisants et pesticides pouvant contaminer la nappe phréatique (Kotchi, 2004).

Le déficit hydrique est le facteur majeur qui limite le développement des plants dans plusieurs régions dans le monde (Chaves et al., 2003). Dans les zones arides et semi-arides, le stress hydrique est l'une des contraintes auxquelles sont soumises les plantes. Les effets de ce stress sur les plantes sont nombreux : diminution de la vitesse de croissance, baisse de la teneur en eau des tissus, perturbation de la balance hormonale, modification du métabolisme glucidique, protéique et lipidique, diminution de rendement (Hamidou et al. , 2005).

Les plantes s'adaptent d'elles-mêmes aux conditions de la sécheresse par différents changements physiologiques, biochimiques, anatomiques et morphologiques. Les plantes optimisent la morphologie, la physiologie et le métabolisme de leurs organes et cellules afin de maximiser leur productivité dans les conditions de sécheresse. Les réactions des plantes au stress hydrique varient considérablement à divers niveaux organisationnels selon l'intensité et la durée du stress ainsi que selon les espèces végétales et leur stade de développement (Lisar et al.,2012).

Les objectifs spécifiques de notre travail sont les suivants :

- Comprendre les pratiques des agriculteurs induisant un stress hydrique à différentes cultures dans le but d'améliorer leur développement ainsi que le rendement ;
- Etudier la réponse de la courgette face au stress hydrique induit par les agriculteurs durant les différentes phases.

Pour répondre à ces objectifs, le présent mémoire s'articule autour de 4 chapitres :

- Un premier chapitre qui propose une synthèse bibliographique sur les paramètres qui régissent l'eau dans le sol et la plante ;
- Le deuxième chapitre expose la démarche méthodologique adoptée sur terrain et en laboratoire dans le cadre de ce travail
- Le troisième chapitre expose les résultats obtenus ainsi qu'une discussion
- Une conclusion générale pour résumer les différents aspects abordés dans cette étude.

Chapitre 1. Synthèse bibliographique

1.1. Notions de base sur le sol

1.1.1. Définition

Le terme « sol » se rapporte à la couche extérieure de la surface terrestre qui s'est fragmentée par altération au cours des âges. Il s'est formé initialement par désintégration et décomposition des roches des processus physiques et chimiques et est influencé par l'activité et l'accumulation des résidus de nombreuses espèces biologiques. Le sol peut être étudié et décrit selon de nombreux points de vue différents. C'est pourquoi la science du sol relève en fait d'un ensemble de plusieurs disciplines séparées bien qu'interdépendantes.

Le sol est un système hétérogène, polyphasique, finement divisé, dispersé et poreux. La nature dispersée du sol et, par conséquent, son activité interfaciale, donnent lieu à des phénomènes de gonflement, de retrait, de dispersion, d'agrégation, d'adhésion, d'adsorption, d'échange ionique, etc (Daniel, 1984).

1.1.2. Phases du sol

1.1.2.1. Phase solide

Elle est constituée par des minéraux et des matières organiques en proportion variables. On pourrait considérer que les organismes vivants du sol font partie de la phase solide puisqu'ils ne sont ni gazeux ni liquide. Nous ne le ferons pas en raison de leur importance dans le fonctionnement du sol de sorte que nous associerons la phase solide à des constituants non vivants, c'est-à-dire à l'ensemble constitué par les minéraux et les matières organiques mortes (Sposito, 1989).

1.1.2.2. Phase liquide

C'est une solution dont la composition est complexe et très variable. On la désigne souvent par l'expression « solution du sol ». Elle contient de très nombreuses substances dissoutes organiques et inorganiques, ionisées et non ionisées dont la nature et la concentration dépendent de plusieurs phénomènes.

La solution du sol est difficile à décrire et à étudier en raison de sa très grande variabilité spatiale et temporelle de sorte qu'il n'existe pas de composition type (Raoul, 2003).

1.1.2.3.Phase gazeuse

La phase gazeuse du sol est encore appelée l'atmosphère du sol . Sa composition est souvent voisine de celle de l'air mais elle peut être très variable dans l'espace et dans le temps. Elle dépend principalement de deux facteurs, la proximité de l'atmosphère, c'est-à-dire la profondeur dans le sol et l'activité biologique. L'air du sol contient en général les memes substances que l'air atmosphérique mais sa composition peut être très différente en raison, en particulier, de l'activité biologique (sposito, 1989).

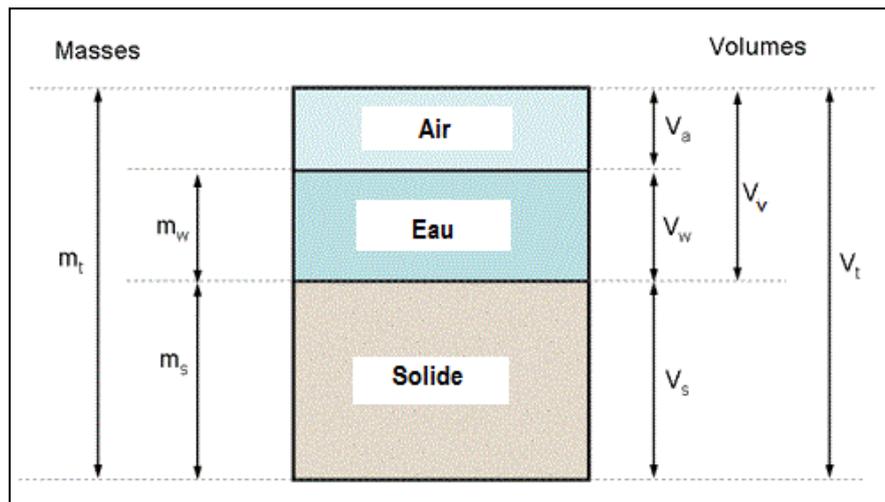


Figure 1. Différentes phases du sol (Calvet R, 2003)

Avec :

- M_a :masse d'aire, V_a :volume d'aire. V_v : Volume des vides
- M_w :masse de l'eau V_w :volume de l'eau.
- M_s :masse solide V_s :volume solide.
- M_t :masse totale V_t :volume total.

1.1.3. Propriétés physiques du sol

1.1.3.1.Texture

L'expression texture du sol renseigne sur la taille prédominante ou la gamme de tailles des particules de sol d'une manière qualitative et quantitative. Qualitativement, elle réfère au « toucher » du matériau sol qu'il soit grossier et rugueux ou fin et moelleux. La méthode traditionnelle pour caractériser la taille des particules dans les sols consiste à diviser ces

particules en trois gamme de tailles ou fractions texturales connues sous les noms de : sable, limon et argile. (Daniel, 1984)

On a donné des noms différents aux sols constitués en proportions différentes de sable, limon ou argile ainsi que la montre le diagramme triangulaire de la figure 02.

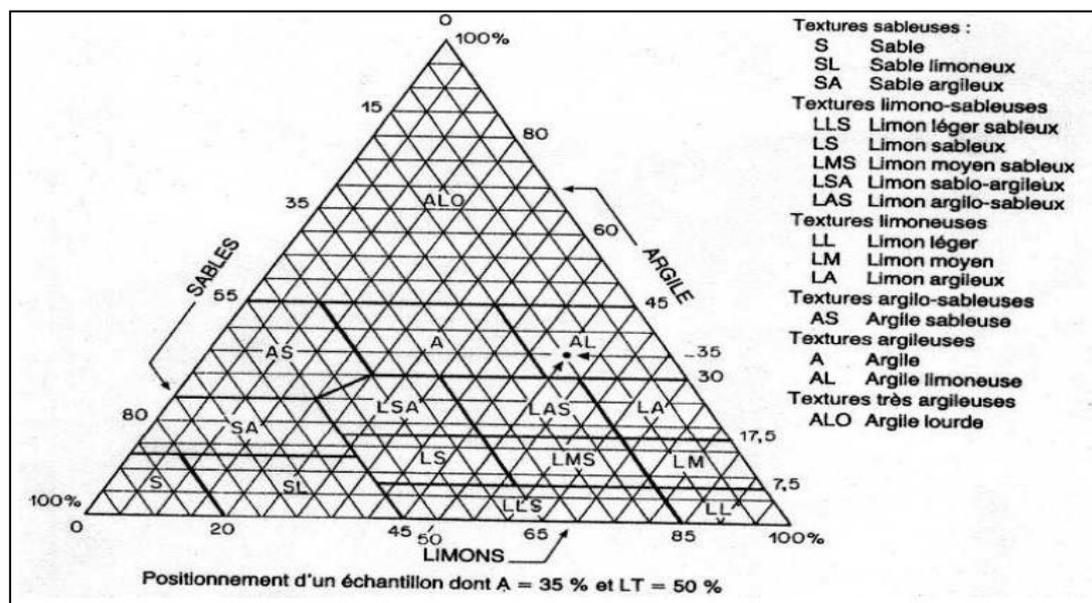


Figure 2. Triangle des textures (Daniel, 1984)

1.1.3.2. Classification des textures

- **Texture sableuse** : sol bien aéré, facile à travailler, pauvre en réserve d'eau, pauvre en éléments nutritifs, faible capacité d'échange ionique et cationique.
- **Texture limoneuse** : l'excès de limon et l'insuffisance d'argile peuvent provoquer la formation d'une structure massive, accompagnée de mauvaises propriétés physiques. Cette tendance est corrigée par une teneur suffisante en humus et en calcium.
- **Texture argileuse** : sol chimiquement riche, mais à mauvaises propriétés physiques : milieu imperméable et mal aéré, formant obstacle à la pénétration des racines : travail du sol difficile.
- **Texture équilibrée (ou franche)** : elle correspond à l'optimum, dans la mesure où elle présente la plupart des qualités des trois types précédents, sans en avoir les défauts ; exemple de granulométrie favorable à la culture : 25 % d'argile, 30 à 35 % de limons, 40 à 45 % de sable. (Henin S et al, 1969)

Tableau 1. Réservoir utilisable maximal d'un horizon selon sa classe de texture, exprimé en mm d'eau par cm d'épaisseur. (Service de cartographie des sols de l'Aisne)

Classe de texture	Humidité % à la capacité au champ	Humidité % au point de flétrissement	Eau utile	Densité apparente	Réservoir utilisable maximal
	HCC	HPF	%	da	U
S	8	3	5	1,35	0,70
SL	12	5	7	1,40	1,00
SA	19	10	9	1,50	1,35
LIS	15	7	8	1,50	1,20
LS	19	9	10	1,45	1,45
LmS	20	9	11	1,45	1,60
LSA	22	11	11	1,50	1,65
LAS	24	12	12	1,45	1,75
LI	17	8	9	1,45	1,30
Lm	23	10	13	1,35	1,75
LA	27	13	14	1,40	1,95
AS	33	22	11	1,55	1,70
A	37	25	12	1,45	1,75
AL	32	19	13	1,40	1,80
Alo	Sédimentaire	29	18	11	1,50
	Altération	38	25	13	1,70

1.1.3.3. Structure

La structure désigne le mode d'assemblage des particules ; elle s'observe et se décrit à deux niveaux :

- A l'échelle macroscopique, structure proprement dite, observable à l'œil nu.
- A l'échelle microscopique : microstructure ou micromorphologie (Masson, 1997)

Selon Dilmi (2009), le comportement hydrique du sol est très fortement dépendant des structures et des microstructures de chaque horizon. C'est un facteur déterminant du bon fonctionnement de la plante. Dans un sol présentant un bon drainage, l'alimentation de la plante est régulière. Par contre dans les sols présentant des discontinuités structurales, le fonctionnement hydrique est contrasté avec humectation rapide et forte période de dessiccation.

1.1.3.4. Densité réelle

La densité réelle (D) de la fraction solide, indépendante des vides ; pour les sols silicatés, pauvres en matière organique, elle varie peu, entre 2.6 et 2.7 : on peut la mesurer avec précision à l'aide d'un pycnomètre. Le plus souvent, on utilise la valeur moyenne 2.65 (Masson, 1997).

1.1.3.5. Densité apparente

La densité apparente (D') est la densité du sol sec, concernant l'ensemble, fraction solide et pores. Elle se mesure à l'aide de plusieurs méthodes, la plus simple étant celle du cylindre métallique de 250 cm³, enfoncé avec précaution dans le sol, et retiré avec son contenu, tout tassement devant être évité : le poids de sol sec (multiplié par 4) donne le poids de 1 litre. Pour la majorité des sols, la densité apparente varie de 1 à 2 (Masson, 1997).

$$D_a = P/V$$

P : C'est le poids sec de l'échantillon,

V : Le volume de l'échantillon prélevé et séché = le volume de cylindre = 250 cm³.

- La porosité totale est donnée par la formule, $P = (D_r - D_a / D_r) \times 100$.

Quelques valeurs indicatrices de d_a (Ollier et Poirée, 1983) :

- sols sableux $D_a = 1.3$ à 1.4
- sol limoneux $D_a = 1.30$ à 1.25
- sols argileux $D_a = 1.10$ à 1.30

La notion de densité apparente est importante en irrigation car elle intègre la texture, la structure et la porosité du sol.

1.1.3.6. Porosité

La porosité totale f est ainsi définie par le rapport du volume des vides V_v au volume total apparent du sol V_t :

$$F = \frac{V_v}{V_t}$$

Dans les sols les plus courants, la porosité varie entre 30 et 60, mais elle peut parfois atteindre des valeurs plus élevées, jusqu'à 90 dans le cas de sol tourbeux en raison de sa structure très lâche formée par les fibres végétales (Lavoisier, 2010).

1.1.3.7. Perméabilité

La perméabilité d'un sol est définie par la vitesse d'infiltration de l'eau de gravité en cm par seconde (ou par heure, si la vitesse est lente). (Hillel D, 1998)

1.1.3.8. Coefficient de perméabilité k

Il est calculé par le débit Q obtenu à l'aide du dispositif de filtration sur colonne, indiqué par la figure suivante :

$$Q = \frac{H+H'}{H}S$$

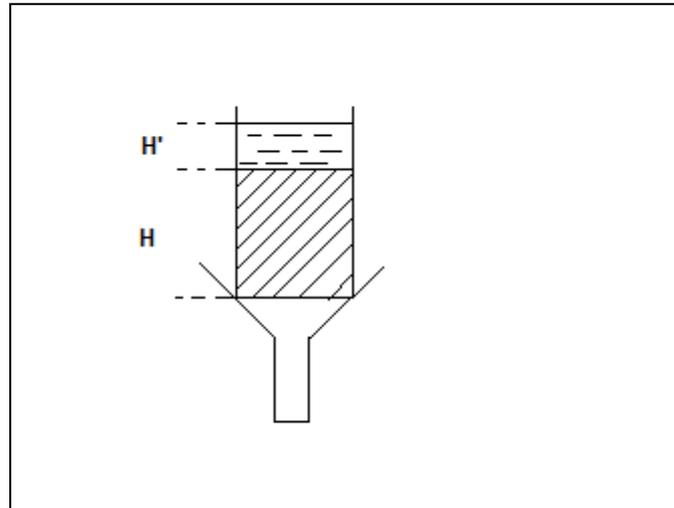


Figure 3. Dispositif de mesure de la perméabilité (Masson, 1997)

H+H' : hauteur de la charge d'eau

H : hauteur de la colonne de sol

S : section de tube

Tableau 2. Ordre de grandeur du coefficient de perméabilité des sols en cm/s (Costet et al. 1983)

Sols	Coefficient de perméabilité
Gravier	$10^{-1} < k < 10^2$
Sable	$10^{-3} < k < 10^{-1}$
limon et sable argileux	$10^{-7} < k < 10^{-3}$
Argile	$10^{-11} < k < 10^{-7}$
Roches apparemment non fissurées	$10^{-10} < k < 10^{-8}$

1.2. Dynamique de l'eau dans le sol

1.2.1. Formes de l'eau dans le sol

Selon Masson, 1997 les sources principales de l'eau du sol sont d'une part l'eau des précipitations, et aussi dans certaines situations, l'eau souterraine (nappe phréatique permanente, alimentée souterrainement).

Les pluies qui tombent à la surface du sol se subdivisent en diverses fractions, et donne ainsi naissance aux formes d'eau suivantes :

- **L'eau de ruissellement** : le ruissellement n'est pas constant et n'affecte que les surfaces en pentes (même faible), soumises à des pluies violentes.
- **L'eau de gravité** : entraîné par la pesanteur, circule dans les pores grossiers et moyens (supérieurs à 10 μ m), le plus souvent verticalement, parfois aussi obliquement, s'il y a une pente, et que la perméabilité du sol diminue dans les horizons profonds (c'est lors l'agent e lessivage oblique)
- **L'eau retenue** : par le sol au cours de l'infiltration des pluies occupe les pores fins et très fins (inferieurs à 10 μ m environ). L'eau retenue se subdivise en deux parties : l'eau capillaire absorbable par les racines, l'eau liée non absorbable par les racines.

1.2.2. Teneur en eau

La teneur en eau volumique du sol θ_v est la forme de teneur en eau la plus fréquemment utilisée parce qu'elle est mieux adaptée aux applications pratiques, (calcul de bilans hydrique, de doses d'irrigation ou de flux de drainage). Ainsi lorsque l'on parle de teneur en eau, sans autre précision, il s'agit en général implicitement de la teneur en eau volumique. Elle varie entre une valeur minimale, la teneur en eau résiduelle θ_r , et une valeur maximale, la teneur en eau à saturation θ_s . Celle-ci est en principe égale à la porosité, l'ensemble de l'espace poral étant alors occupé par la solution du sol. Les teneurs en eu volumiques à saturation sont de l'ordre de 35 à 50% pour un sol sableux, de 40 à 60% pour un sol silteux et de 30 à 65% pour un sol argileux (Lavoisier, 2006).

$$\theta_v = \frac{V_1}{V_t} S_1 = \frac{V_1}{V_v} w = \frac{M_1}{M_s}$$

1.2.2.1. Taux d'humidité remarquables

- **Saturation (Sat)** : teneur en eau à saturation du sol en condition de champ. En réalité, le sol n'atteint jamais une saturation complète car une certaine quantité d'air y reste toujours emprisonnée.
- **La capacité au champ (cc)** : correspond à l'eau retenue par le sol, après une période de pluie, et un ressuyage de deux ou trois jours, le sol étant protégé contre l'évaporation : elle comprend donc l'eau capillaire augmentée d'une fraction variable d'eau de gravité à écoulement lent. Le plus souvent, la capacité au champ est mesurée au laboratoire par

application au sol, préalablement humecté, une pression correspondant à un pF déterminé, qui varie suivant la granulométrie de l'échantillon (Masson, 1997).

- **Points de flétrissement :** La diminution de la teneur en eau du sol résultant de l'absorption de l'eau par les racines des plantes, par l'infiltration profonde ou par l'évaporation, entraîne une augmentation de l'énergie avec laquelle cette eau est retenue jusqu'à un certain seuil. Ce seuil correspond au point de flétrissement. (Ouamer, 2010). De ce fait, on distingue un seuil supérieur et un seuil inférieur correspondants respectivement au point de flétrissement permanent et au point de flétrissement temporaire.
- **Point de flétrissement temporaire (*ft*) :** Il correspond à l'humidité du sol lorsque les végétaux présentent des symptômes de flétrissement passagers en période de forte demande évaporative (Mermoud. 2005). Selon la texture du sol, il varie de pF 3,5 à pF 3,7 (Duchaufour, 2001).
- **Point de flétrissement permanent (*fp*) :** Il correspond à l'humidité du sol au moment où la force de succion des plantes est égale à la force de rétention de l'eau par le sol, ainsi l'eau du sol n'est plus disponible pour les végétaux, qui se flétrissent irréversiblement. Ce point correspondant à une pression de 16 bars soit pF 4,2, il varie suivant le type de sol et suivant le type de culture (Mermoud, 2005). D'après Hamraras (2008), le point de flétrissement permanent a une valeur plus forte dans les sols argileux que dans les sols sableux.

1.3. Notion de réserve utile

C'est la quantité d'eau stockée par le sol, après une période de pluies, qui est donnée par la différence $cc - PF$. On peut l'exprimer en pourcentage (du poids ou du volume), ou mieux en hauteur d'eau (en mm), ce qui a l'avantage de permettre des comparaisons avec la pluviométrie et l'évapotranspiration, également exprimées en millimètres (Masson, 1997).

$$RU = (H_{cr} - H_{pF}) * Da * Z$$

RU : réserve utile ; **Da :** densité apparente ; **Z :** profondeur d'enracinement en mm

Eau utile : Sable : 0.5mm/cm de sol

Sable limoneux : 1mm/cm de sol

Limons : 2mm/cm de sol

Argile : 1mm/cm de sol

1.3.1. Réserve facilement utilisable (RFU) et Réserve de survie (RS)

On appelle Réserve facilement utilisable, la fraction de la réserve utile disponible à une tension suffisamment faible pour que la plante transpire à l'ETM.

On appelle réserve de survie la fraction de la réserve utile encore disponible lorsque la totalité de la réserve facilement utilisable est épuisée (Hamma, 2004).

Les relations suivantes sont alors vérifiées

$$RFU = \alpha (H_{CR} - H_C).da.Z$$

$$RS = RU - RFU$$

Dans la pratique on adopte la relation suivante :

$$RFU = \alpha RU$$

Avec : $\alpha=2/3$ pour sol sableux, et $\alpha=1/2$ pour les sols argileux

1.3.2. Potentiel hydrique et potentiel matriciel

L'état énergétique de l'eau dans le sol est défini par le potentiel hydrique Ψ , qui est lui-même la résultante de trois niveaux d'énergie d'origine différente :

Le potentiel gravitaire Ψ_g : qui préside à l'infiltration des eaux de pluie par gravité

Le potentiel matriciel Ψ_m : qui définit la force de rétention de l'eau par le sol

Le potentiel osmotique Ψ_o : ce dernier n'intervient que dans les sols salins.

Dans la majorité des sols, par conséquent, $\Psi = \Psi_g + \Psi_m$; mais ces deux forces sont en fait, antagonistes ; pour cette raison, Ψ_g est en général affecté du signe + et Ψ_m du signe - . Ψ_g ne joue un rôle important que lorsque les pores sont saturés d'eau.

Lorsque le sol est plus ou moins complètement ressuyé (sol dit « non saturé »), c'est le potentiel matriciel qui intervient ; il détermine la force de succion du sol pour l'eau. Cette dernière s'exprime, soit en bars, soit en kilo pascals (KPa), soit par son logarithme, cette force étant exprimée en cm d'eau : elle s'exprime par le symbole Pf (Baize D, 1988).

Le potentiel peut s'exprimer de plusieurs façons : en énergie par unité de masse (J/kg), en énergie par unité de volume (Pa), ou encore en énergie par unité de poids, c'est-à-dire en charge hydraulique (cm de hauteur d'eau) (Touil, 2012).

1.3.3. Relation entre potentiel et teneur en eau

Il existe une relation non linéaire entre le potentiel de l'eau dans le sol et la teneur en eau du sol. Le pF varie en sens inverse de l'humidité. La relation tension – humidité est différente pour chaque type de sol (CTGREF, 1970). La figure 04 montre la relation entre potentiel et l'humidité pour trois types de sol.

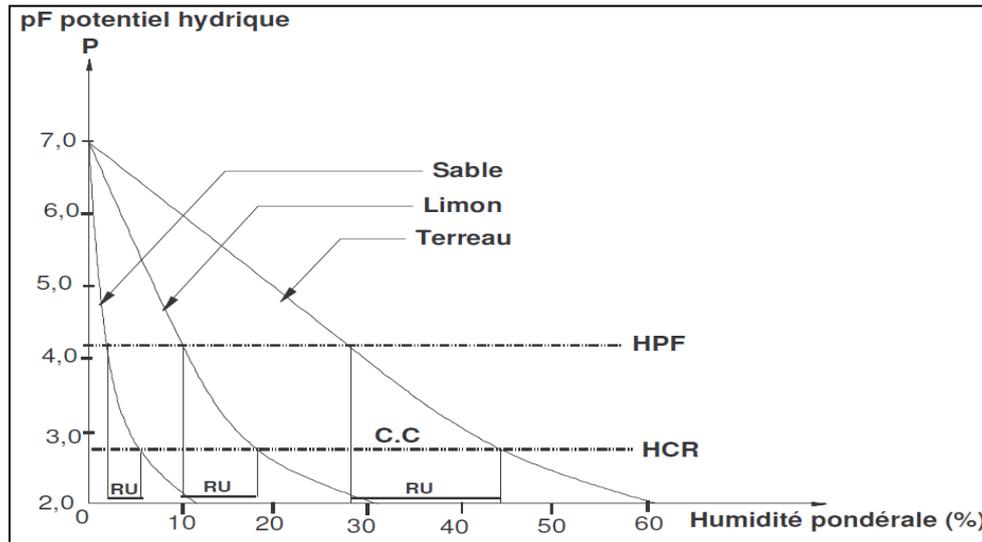


Figure 4. Relation potentiel humidité pour 3 types de sol (CTGREF, 1970)

La relation entre le potentiel hydrique (pF) et l'humidité du sol n'est pas la même en phase d'humectation qu'en phase de dessiccation : pour une même valeur de l'humidité du sol, le pF est moins élevé dans la phase de réhumectation que dans la phase de dessiccation. On observe en effet un retard ou « hystérésis ». Ce phénomène est très nettement marqué sur des sols riches en argiles, mais presque insignifiant sur des sols sableux.

Par ailleurs, pour une même valeur d'humidité, le pF est d'autant plus élevé que la vitesse de dessèchement est plus rapide (M.L. Campaoré, 2005).

1.4. L'irrigation

1.4.1. Définition de l'irrigation

L'irrigation est l'application de l'eau au sol dans le but de rafraîchir le sol et l'atmosphère, par ce moyen réaliser les conditions les plus favorables pour la croissance des plantes. Mais quel que soit l'origine de l'eau (cours d'eau naturel, nappe souterraine, eau de barrage) et son mode de transport (canaux, conduite sous pression), le problème qui se pose est comment répartir cette eau sur le sol de façon que les plantes en tirent le maximum de profit. Cependant le moyen

de répartition de l'eau sur le sol ne doit pas toujours répondre à ce critère d'une production maximale, donc on doit essentiellement envisager un choix minutieusement détaillé du mode d'irrigation et de la technique d'arrosage et compatibilité avec les contraintes de la région d'étude (Climent et al, 2007).

1.4.2. Différents systèmes d'irrigation

Les techniques d'irrigation agricole sont des méthodes pour apporter de l'eau aux cultures. Décider de sélectionner une technique d'irrigation ou de passer à une technique plus efficiente est compliqué. D'un point de vue de la préservation de l'eau, le choix est simple, les économies en eaux augmentent lorsque l'on passe de l'irrigation de surface à l'aspersion et de l'aspersion à la micro irrigation.

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

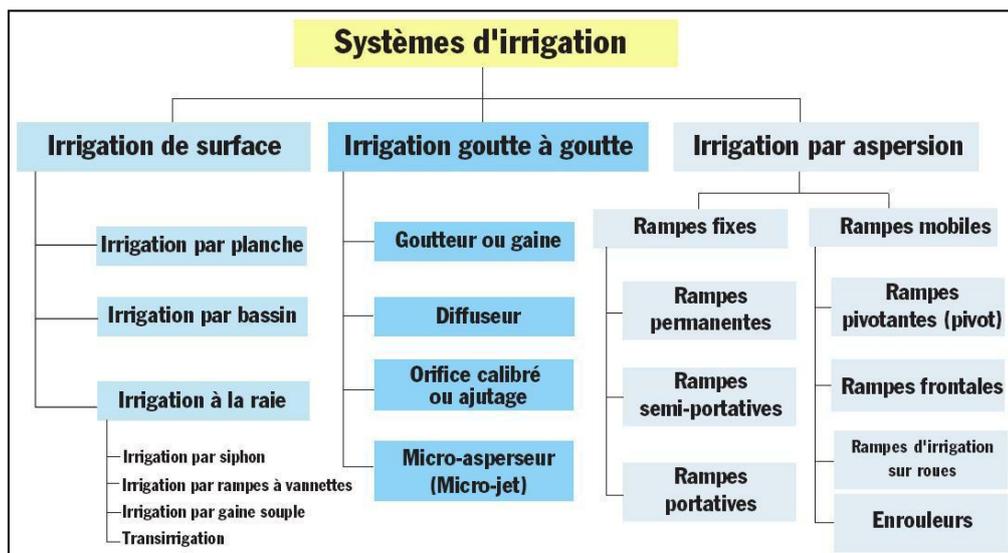


Figure 5. Différents systèmes d'irrigation

1.4.2.1. Micro-irrigation (irrigation localisée)

L'irrigation localisée regroupe tous les systèmes caractérisés par un réseau de distribution à la parcelle, fixe sous pression. L'eau circule dans des tuyaux souples de petit diamètre disposés à la surface du sol et sont munis de dispositif appelé « goutteur » permettant des apports d'eau continus ou fréquents en des endroits déterminés par rapport au dispositif cultural et de façon

telle que l'infiltration ne se produise que sur une fraction réduite de la surface du sol appelées « bulbes d'arrosage ou d'humidification ». Les systèmes d'irrigation localisée les plus répandus sont :

- L'irrigation localisée par goutteurs : le goutte à goutte.
- L'irrigation localisée par rampes perforées fixes.
- L'irrigation localisée par diffusion (micro jet, microdiffuseur).

Les systèmes d'irrigation localisée, peuvent engendrer une économie d'eau allant jusqu'à 50 % par rapport aux systèmes par aspersion (limitation maximal de l'évaporation et de la percolation car l'eau est livrée à faible dose et n'humidifie qu'une fraction du sol (Belkherchach F et Louqmane H, 2011).

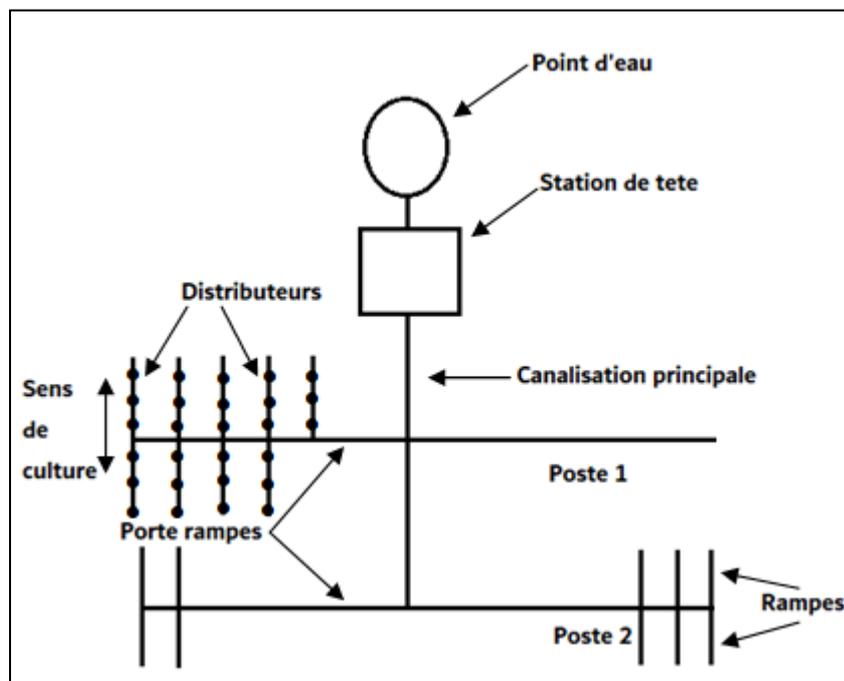


Figure 6. Schéma d'une installation d'irrigation localisée

1.4.2.1.1. Avantages et inconvénients de la micro-irrigation

Avantages

- Les systèmes goutte à goutte apporte l'eau directement sur ou dans le sol et ne mouillent qu'une partie seulement du sol.
- Ils réduisent également l'utilisation de l'eau par les mauvaises herbes et fonctionnent à très faible pression.

- Économies dans l'utilisation de l'eau et des autres facteurs de la production agricole (énergie et de la main d'œuvre)
- Contrôle précis des quantités d'eau et de fertilisants apportées.
- Facilité de travail : les travaux culturaux et les passages du matériel sur la partie de la surface du sol qui reste sèche, reste possibles à tout moment.
- Adaptation aux conditions difficiles : L'utilisation des goutteurs autorégulant permet de s'adapter aux terrains en pente ou aux parcelles de grande dimension (longueur de rampe importante). Les faibles débits utilisés, en limitant les risques de flaquage et de percolation hors de la zone racinaire.
- Conviennent très bien pour les sols difficiles (peu perméable), ou au contraire très légers avec de faibles capacités de rétention (Jean R, 2006).

Inconvénients

- Sensibilité des goutteurs à l'obstruction : En raison de leur conception (faible section de passage) de la qualité de l'eau ou de l'utilisation de certains engrais, l'obstruction totale ou progressive des distributeurs, parfois même des rampes, est considérée comme le problème majeur de l'irrigation localisée.
- Présence permanente d'un réseau de canalisation : ce réseau peut dans certains cas gêner le passage des différents engins de culture.
- Difficulté de voir si le réseau fonctionne correctement : Lorsque les rampes sont enterrées, posées directement sur le sol, placées sous paillage plastique, ou recouvertes par la culture, un contrôle visuel des débits n'est pas toujours aisé.
- Fruits et feuillage ne sont pas lessivés : l'irrigation localisée qui évite le dépôt de sel par évaporation de l'eau laissée sur les feuilles, ne permet pas en revanche de débarrasser le feuillage ou les fruits de la poussière qui les recouvre principalement dans les régions à climat aride et vanté ce qui peut entraîner des pertes de rendement, ou une dévalorisation de l'aspect de la récolte.
- Ne convient pas à toutes les cultures : L'absence d'environnement humide peut ne pas convenir à certaines plantes d'origine tropicale (kiwi par exemple).
- Sensibilité et vulnérabilité de la Culture à une interruption des apports d'eau : le système racinaire actif de la culture est limité au volume du bulbe. Dans les régions où l'eau consommée par la plante provient uniquement des apports faits par l'irrigation, cette localisation rend la plante très sensible à toute panne surtout si la densité des points d'apport est trop faible car il n'y a pas de réserve importante d'eau dans le sol.

- Des coûts initiaux élevés.
- Les risques de bouchage du système, tout particulièrement les distributeurs.

1.4.2.1.2. Composants d'une installation d'irrigation localisée

Une installation ou réseau d'irrigation localisée comprend de l'amont vers l'aval les éléments suivants :

- La ressource en eau ou point d'eau.
- La station de tête.
- Des canalisations de transport (canalisations principales et secondaires) en tête des postes d'arrosage.
- Une ou des canalisations d'alimentation des rampes (le ou les porte-rampes).
- Des canalisations d'alimentation des distributeurs (des rampes).
- Les distributeurs installés le long des rangées de culture.

1.5. Besoin en eau des cultures

Dans un premier temps, la détermination des besoins en eau d'une culture nécessite la connaissance de divers paramètres concernant, aussi bien la plante elle-même que les données climatiques ou pédologiques de la région (Boudjelal et Bammoun, 2006).

Selon Doorenbos et Pruitt (1976), le besoin en eau d'une culture est la hauteur d'eau en mm, nécessaire pour compenser l'évapotranspiration d'une culture en bon état sanitaire, établit dans un champ de grande superficie, dans les conditions de sol non limitantes du point de vue de la disponibilité de l'eau, de la fertilité et conduisant au rendement cultural potentiel dans des conditions climatiques données (Johnny, 2008).

Tableau 3. Paramètres de calcul des besoins en eau des cultures (Johnny, 2008).

Paramètres	Composants	Représenté/ Synthétisé par
Climatiques	Température et humidité de l'air, vent, ensoleillement ...	L'ETP
Pédologiques	Texture, structure (infiltrabilité), physicochimie du sol, disponibilité de l'eau de surface(RU)	Le potentiel hydrique

Biologiques	Caractéristiques propres au végétal	Le coefficient de culture(KC)
-------------	-------------------------------------	-------------------------------

➤ Evaporation

Nous appelons évapotranspiration, la quantité d'eau consommée, qui comprend d'une part l'eau transpirée par la plante, d'autre part l'évaporation directe à partir du sol, la dernière n'est importante que dans le cas de couverts végétaux discontinus (Jean R ,2006)

On distingue deux types d'évapotranspiration :

- Evapotranspiration potentielle ETP.
- Evapotranspiration réelle ETR.

- Evapotranspiration potentielle (ETP ou ET0) :

C'est en principe la valeur maximale possible de l'évapotranspiration dans les conditions climatiques données, cette définition se heurte à certaines difficultés d'interprétation, nous considérons plutôt dans la pratique, l'évapotranspiration potentielle comme une référence et nous la définissons comme étant l'évapotranspiration d'un couvert végétal bas, homogène dont l'alimentation en eau n'est pas limitant et qui n'est soumis à aucune limitation d'ordre nutritionnelle, physiologique ou pathologique. Nous employons couramment le terme « ETP » pour désigner la valeur approchée de l'évapotranspiration potentielle obtenue par calcul à partir d'une formule d'estimation fondée sur des données climatiques.

- Evapotranspiration maximale (ETM ou ETC) :

C'est la valeur maximale de l'évapotranspiration d'une culture donnée, à un stade végétatif donnée et dans des conditions climatiques données. Sa valeur est théoriquement inférieure ou égale à ETP, en fait il n'est pas rare de trouver pour certaines cultures des valeurs d'ETM supérieures à l'ETP (Jean R ,2006).

$$ETM = Kc * ETP_{penman}$$

Avec :

Kc : coefficient cultural qui dépend de la culture et des stades végétatifs

1.6. Besoins en eau d'irrigation

Le besoin en eau d'irrigation c'est le volume d'eau requis pour les cultures qui n'est pas fourni par les précipitations, la sur exploitation de l'eau du sol, ou par l'écoulement de l'eau vers la zone racinaire à partir d'une zone saturée (Boudjelal et Bammoun, 2006).

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

2.1. Présentation générale de la zone d'étude

2.1.1. Situation géographique

La plaine alluviale de Haut Chélif appelée aussi plaine d'El Khemis appartient à la wilaya de Ain Defla, Située à 120 km au Sud-ouest d'Alger et à 25Km à l'Est du chef-lieu de la Wilaya sur la route nationale N°4.

Appartenant au sous bassin versant du Cheliff d'une superficie de 359 Km² et un périmètre de 159 Km et de 270 m d'altitude moyenne. Elle est située entre les latitudes (36°18'36"6') N et les longitudes (2°-2°27') E, elle apparait sous la forme d'une dépression intra-montagneuse dans la partie nord de l'Algérie, et qui couvre des communes qui sont entre autre : Arib, Sidi Lakhdar, Khemis Miliana, Ain Sultane, Djendel, Bir Oueld Khelifa, et Djelida (Meziani et Bong, 2013).

La plaine de Khemis Miliana est limitée spatialement :

- ✓ Au Nord par la continuité occidentale du djebel Zaccar (1579 m d'altitude).
- ✓ Au Sud les contreforts de l'Ouarsenis qui culmine près de Bordj-Bounaama
- ✓ A l'Est par djebel Gantas (seuil de Djendel) 781m d'altitude
- ✓ A l'Ouest par le seuil de Djebel Doui

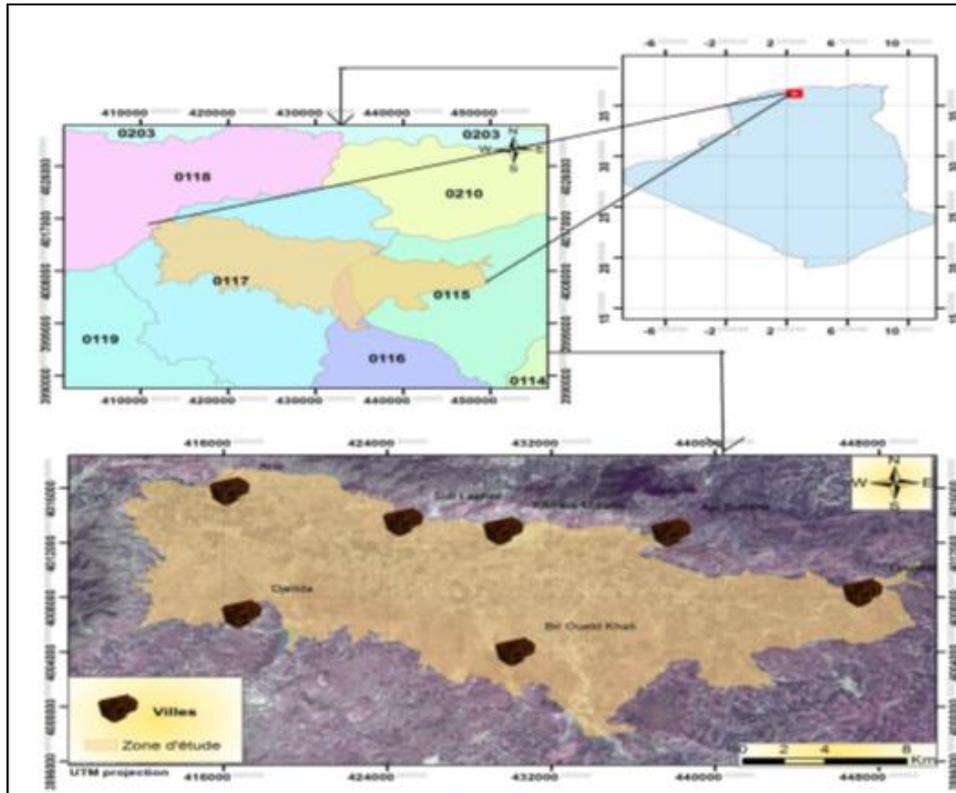


Figure 1. Carte de situation géographique de la région d'étude

2.1.2. Morphologie

La plaine a une pente relativement faible (15%) (Hattab.M, 1998). Elle est bordée au Nord par les cônes de déjection qui constituent la zone de transition entre la vallée et la montagne.

Ce secteur est entouré au Nord par le massif de Zaccar et au Sud par djebel Ouarsenis. La cote altimétrique varie de 200m au niveau de la plaine à 1000m au niveau des sommets.

2.1.3. Démographie

La population dans la plaine à la fin de l'année 2011 est estimée de 248178 habitants avec un taux d'accroissement de 1.3%. En 2015 la population a passé au 278485 habitas avec un taux d'accroissement de 8 %, elle sera environ 381 628 habitants en 2020 dont 82,55% sont concentrés agglomérée et 17.45% uniquement en zones rurales.

Cette population est concentrée surtout dans les agglomérations qui sont situées au Nord de la plaine. Les plus importantes sont respectivement d'Est en Ouest : Djendel, Ain Sultan, Khemis Miliana, Sidi Lakhdar et Arib, tandis qu'au Sud de la plaine la densité des agglomérations est minime et moins dense, les plus importantes agglomérations sont Djelida et Bir Oueld Khelifa (ABHCZ).

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

2.2. Contexte hydro-climatologique

2.2.1. Réseau hydrographique

Les eaux issues des principaux affluents représentés par les oueds (Souffay, Boutane au Nord et Oued Deurdeur, Massine et Harraza au Sud) sont collectées au centre de la plaine d'oued Cheliff qui draine toutes les eaux du bassin versant vers l'exutoire au niveau de Mostaganem.

Dans la plaine du Haut Chéiff, Oued Chleff partage ce périmètre en deux rives : la rive droite couvre 11303 ha, tandis que la rive gauche ne fait que 9730 ha. Les principaux Oueds qui convergent vers la plaine sont :

Oued Souffay : Qui draine le secteur Nord-est des monts du Zaccar et reçoit les eaux ruisselées de la ville de Khemis Miliana.

Oued Boutane : Qui collecte des eaux provenant du secteur Nord du Zaccar, puis traverse la plaine où il présente, par endroits, des intercommunications avec la nappe alluviale avant de rejoindre l'Oued Chleff à l'Ouest de la plaine.

Oued Deurdeur : qui prend sa source dans les amonts d'Ouarsenis au Sud du secteur d'étude. Il traverse la plaine sur plusieurs Kilomètre avant de confluer avec l'Oued Chéiff.

Oued Harraza : est également un Oued du Sud (Ouarsenis), il est caractérisé par un débit élevé du fait de l'impluvium. Dans la partie aval, il s'écoule dans la plaine où il présente un inféroflux en relation avec la nappe alluviale et rejoint plus en aval l'Oued Chleff.

Oued Massine : sa direction d'écoulement est SSE-NNO, il alimente la partie sud de la plaine.

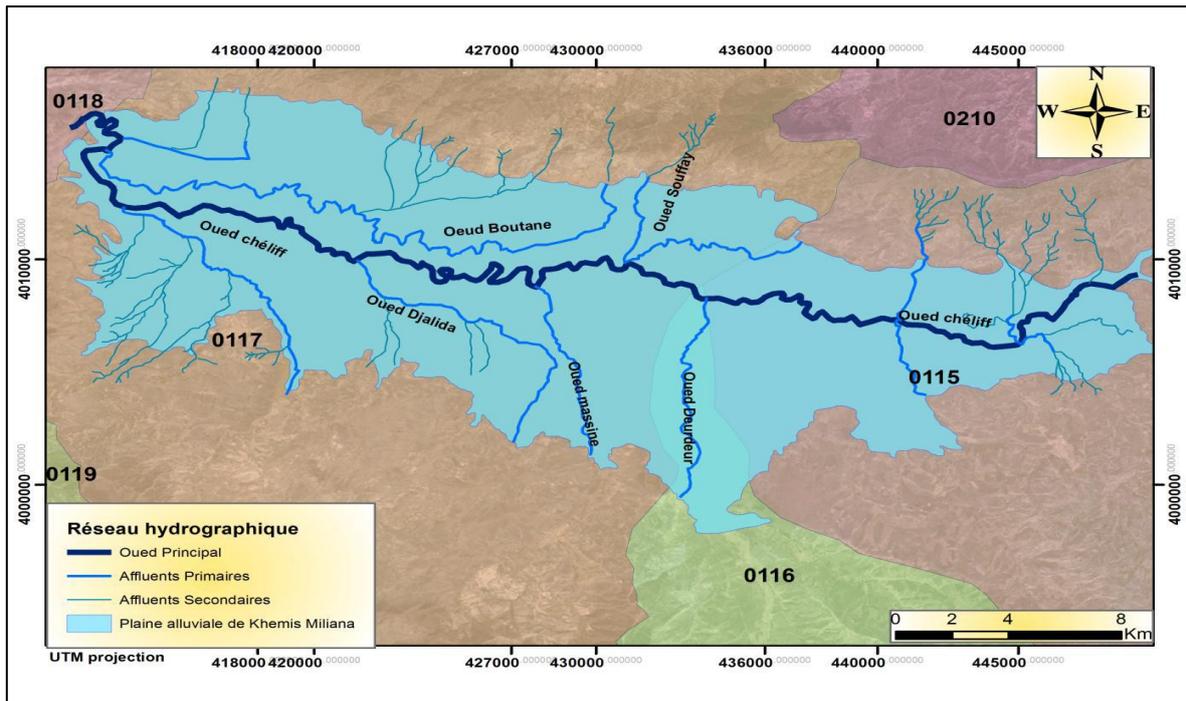


Figure 2. Réseau hydrographique de la Plaine d'El Khemis

2.2.2. Ressources en eaux superficielles

2.2.2.1. Barrages

Le périmètre du Haut Chélif développé entre Djendel à l'amont et Ain Defla à l'aval est essentiellement irrigué par les seuls barrages de Ghrib et de Deurdeur, les lâchers de Harraza se font en aval des stations de pompage qui assurent l'acheminement des eaux dans les réseaux d'irrigation.

Barrage Ghrib

Le barrage Ghrib est implanté sur l'Oued Cheliff. Il est situé dans la commune de l'Oued Chorfa (Wilaya de Ain Defla). Il alimente le réseau d'irrigation de la plaine du Haut Cheliff et alimente trois wilayas (Alger, Médéa et Ain Defla) en eau potable, sa capacité est de 186.320 Hm³ avec 82 Hm³ de volume régularisé (Djezzar M, 2008)

Barrage Harraza

Il a été mis en eau en 1984, sa capacité est de 76.650Hm³, il sert de régulateur lors des étiages de l'Oued Cheliff (Djezzar M, 2008). Actuellement il sert comme ouvrage de stockage des

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

eaux qui sont soit pompées à partir de l'Oued Cheliff à l'aide de la station de pompage Khemis II ou dérivées de l'Oued Deurdeur à l'aide du seuil de Kaf El Agab

Barrage Deurdeur

Il est construit en 1980 à 1984, sur l'Oued Deurdeur, la fonction de ce barrage est un ouvrage d'alimentation en eau d'irrigation, industrie et alimentation en eau potable. La capacité est de 105.120 Hm³ avec 44 Hm³ de volume régularisé.

Les caractéristiques des barrages Ghrib, Deurdeur et Harraza sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1. Caractéristiques des barrages en exploitation (DHW Ain Defla, 2018).

Barrage	Commune	Type	Année mise en eau	Stockage (Hm³)	Hauteur (m)	Destination
Ghrib	OUED CHORFA	ENR	1939	186.320	65	AEP Médéa, Berouaguia wilaya de Médéa AEP Oued Chorfa, wilaya d'Ain Defla Irr.périmètre du Haut Cheliff (20300 HA)
Deurdeur	TARIK IBN ZIAD	TERR	1984	105.120	41	AEP Teniet El-Had, wilaya de Tissemsilt Irr.périmètre du Haut Cheliff (20300 Ha)
Harraza	DJELIDA	TERR	1984	76.650	41	Irr.périmètre du Haut Cheliff (20300 Ha)

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

2.2.3. Contexte climatologique

On peut définir le climat comme un ensemble fluctuant de phénomènes météorologiques qui caractérisent principalement l'atmosphère d'un lieu donné et dont l'action complexe influence le comportement des êtres vivants (Attaf, 2008).

La connaissance exacte des différents paramètres caractérisant le climat de la zone étudiée est indispensable car ils nous permettront de mieux cerner les contraintes naturelles susceptibles de compromettre le développement de l'agriculture (Duthi, 1971).

Les stations climatiques existantes, susceptibles d'être considérées comme représentatives de la région d'étude, et possédantes des données fiables sont celles de Harraza et l'ITGC. Dont les caractéristiques sont portées dans le tableau suivant :

Tableau 2. Caractéristiques géographiques de la station de Harraza

Station	Code	Xm	Y (Km)	Z (m)	Pm mm
Harraza	01-17-18	455.350	321.400	315	373.52

Les données de l'humidité et d'ensellement sont celles de la station ITGC dont les caractéristiques sont les suivants : Longitude ($2.14E^{\circ}$), latitude ($36.16^{\circ}N$), l'altitude (289)

2.2.3.1. Précipitations

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre, ...) (Yann, 1993).

On dispose de données pluviométriques sur une période de 27 ans, les données disponibles relatives à ces stations nous ont permis de caractériser notre région du point de vue apport en eau météoriques et particulièrement pour la période (1987-2015).

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

Tableau 3. Pluviométrie moyenne mensuelle en mm (1987/1988-2014/2015)

Année	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Total (mm)
1987-1988	5.2	14.5	62.7	19.5	28.6	6.2	50.2	33.3	21.6	33.2	0	0	275
1988-1989	4.4	5.6	15.4	74.5	7.1	37.3	80.1	38.5	4.4	22.4	5.8	21.7	317.2
1989-1990	13.7	7.4	15.4	9	50.5	0	62.4	54.8	12.5	16	25.5	10.8	278
1990-1991	27.2	10.5	26.5	55.2	37	58.3	65.9	20.3	9.1	4.2	0.5	6.4	321.1
1991-1992	9.2	46.2	31.7	11.5	90.6	11.4	60.4	49.3	25	21	7	0	363.3
1992-1993	15.2	22.8	23.5	23.4	2.6	44	27.9	71.5	24.3	0.7	0	5.4	261.3
1993-1994	0	15	18.6	36.1	22.8	52.4	4.8	21.2	17.1	0	0	0.5	188.5
1994-1995	115.5	29.2	24.9	51.7	91.7	40.1	41.7	9	24.5	4.5	0	8.2	441
1996-1997	15.8	11.5	8.2	6.2	6.3	5.7	5.2	9.8	14	18	19.3	20.1	140.1
1997-1998	19.5	16.9	70.4	29.1	12.5	32	8.3	23.3	10.2	1.6	0	0	223.8
1998-1999	7.1	18.7	17.5	16.7	54.5	74.1	71.1	1.1	4.6	15.4	0.5	10	291.3
1999-2000	16.2	15.3	32.9	84.8	2.5	0	4.1	18.1	2	0.7	0	0	176.6
2000-2001	36.7	35.2	96.5	35.7	101.1	38.1	1.9	44.7	13.1	0	0	0	403
2001-2002	19.8	19.5	54.3	34.5	42.6	29.9	18.1	19.4	7.4	4.4	0	0	249.9
2002-2003	20.8	24	66.1	42.1	14.5	10.4	21.3	28.7	13.7	2.1	0	7.9	251.6
2003-2004	21.6	28.8	52.8	55.1	40.9	43.2	30.1	32.7	13.4	1.5	0	5.6	325.7
2004-2005	18.5	33.3	48.7	75.3	32.2	71	30.6	28	0.4	0	0	0	338
2005-2006	9.9	60.9	50.5	70.7	41	70	17.9	8	39	2.7	0	24.1	394.7
2006-2007	24.1	0.0	0.7	72.7	14.1	39.9	91.0	67.8	7.0	0.0	0	1.7	319
2007-2008	58.3	78.7	76.3	26.3	30.2	16.4	50.9	6.1	28.5	24.2	0.0	0	395.9
2008-2009	66	45.5	56.3	101.6	79.1	18.9	81.9	76.3	16.8	0	0.0	1.5	543.9
2009-2010	32.4	5.8	61.7	73.2	67.3	105.9	56.4	21.8	2.3	6.4	0.0	7	440.2
2010-2011	1.4	83.7	60.4	30.5	55.5	67.1	21.7	46.9	63.1	27.4	1.2	1.1	460
2011-2012	28.4	30.3	82.9	27.8	26.2	90.9	64.0	106.2	17.7	1.2	0.0	3.3	478.9
2012-2013	2.5	34.2	71.2	4.6	79	58.6	53.0	78.6	49.0	15.4	0.5	8.7	455.3
2013-2014	18.2	15.2	61.5	56.0	51.0	37.0	72.5	2.5	7.5	30.0	0.0	0.0	351.4
2014-2015	14.2	20.3	37.1	69.0	52.2	66.2	23.2	0.0	5.1	3.0	0.0	1.7	292
P moy (mm)	23.03	27	45.36	44.18	41.99	41.67	41.36	33.996	16.79	9.4815	2.233	5.396	332.47

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

2.2.3.2. Etude de la pluviométrie annuelle

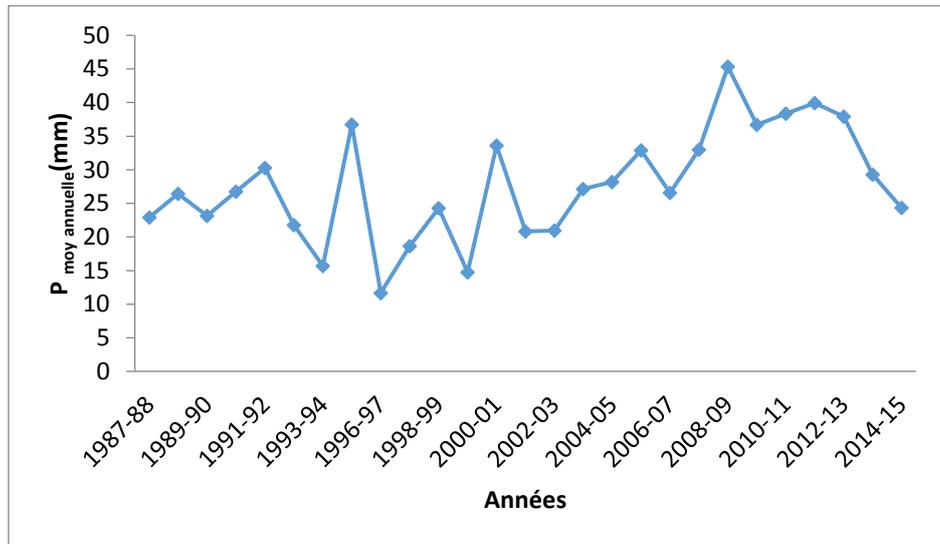


Figure 3. Variation des précipitations moyennes annuelles (1987/2015)

La variation des précipitations annuelle au niveau de station Harraza durant la période allant de 1987 à 2015 (Figure 09) indique que :

- La valeur maximale est de 543.9 mm a été enregistrée durant l'année 2008-2009.
- La valeur minimale est de 140.1 mm a été enregistrée durant l'année 1996-1997.
- la précipitation moyenne annuelle est de 332.47mm.

2.2.3.3. Etude de la pluviométrie moyenne mensuelle

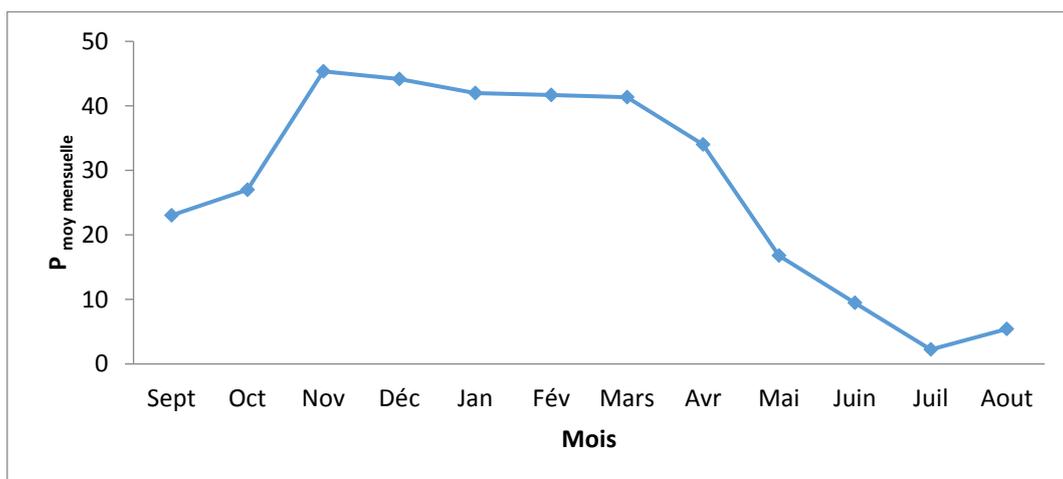


Figure 4. Evolution des précipitations moyennes mensuelles (1987-2015)

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

L'analyse des précipitations moyennes mensuelles nous a permis de constater que la répartition est caractérisée par deux saisons bien distinctes :

- Une saison humide d'octobre en mai, où la pluviométrie atteint en moyenne 85% des précipitations totales annuelles, avec un maximum enregistré en mois de novembre (45.36 mm).
- Une saison sèche qui dure quatre (04) mois : de juin à septembre, avec un minimum de 2.23 mm en juillet

Le passage vers la saison sèche s'effectue au début du mois de Mai, et la reprise de la saison humide, se fait à la mi-octobre. La pluviométrie atteint son maximum au mois de novembre avec, tandis que les précipitations sont très faibles ou presque nulles aux mois de juillet et août

2.2.3.4. Température

La température est le deuxième paramètre de climat d'importance majeure pour la caractérisation du type de climat. Elle dépend du rayonnement solaire, de la pression de l'atmosphère, de sa composition en gaz. (Le bourgeois, 2010)

Les températures extrêmes et moyennes de la région d'étude de (1987-2015) sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau 4. Températures extrêmes et moyennes mensuelles en °C (1987-2015)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout
T min	17.29	12.63	7.35	4.48	3.74	4.53	7.52	8.20	11.27	16.15	21.11	21.44
T moy	25.18	20.53	14.15	10.48	9.47	10.48	13.46	15.35	20.34	24.88	29.34	29.62
T max	34.67	29.13	22.23	17.23	19.76	17.23	22.49	23.15	29.84	36.11	39.08	38.42

T moy : moyenne mensuelle des températures.

T min : moyenne mensuelle des températures minimales.

T max : moyenne mensuelle des températures maximales.

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

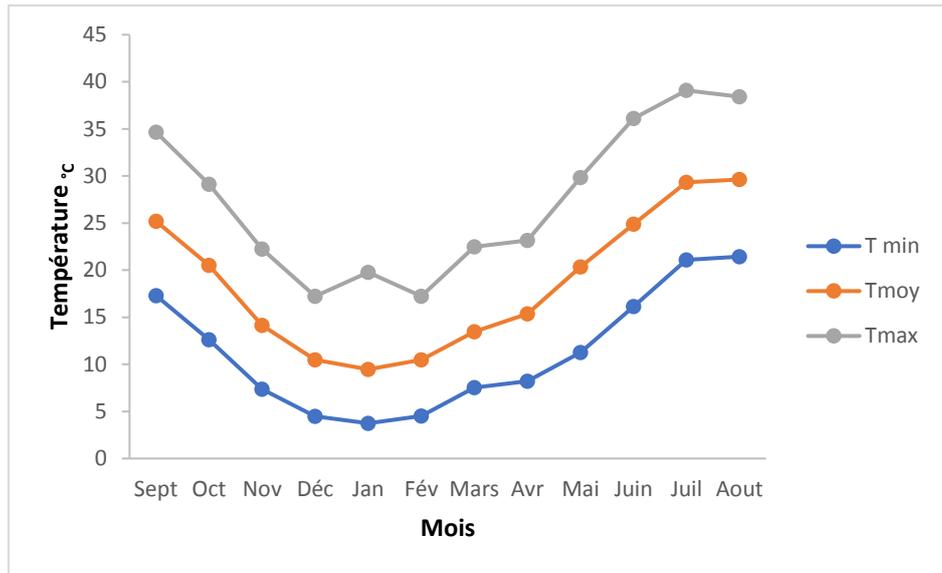


Figure 5. Températures extrêmes et moyennes mensuelles (1987-2015)

L'analyse de ces valeurs montre qu'il existe :

-Un pôle froid allant du mois de Novembre au mois d'Avril ou la température atteint 3.7°C (En mois de Janvier).

-Un pôle chaud allant du mois de Mai au mois d'Octobre ou la température atteint 39°C (En mois de Juillet).

-La température moyenne annuelle pour la période 1987-2015 est de 18.61°C.

2.2.3.5. Evaporation

L'évapotranspiration est un facteur important dans le bilan hydrologique. C'est un paramètre essentiel pour l'évaluation des besoins en eau des cultures, et par conséquent pour la demande en eau à prendre en compte dans la planification (Aithassou, 2013)

Tableau 5. Evaporation moyenne mensuelle en mm (1987-2015)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Moy (mm)	200.20	135.12	72.95	52.56	44.38	59.35	94.09	106.47	163.85	228.24	305.6	283.55

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

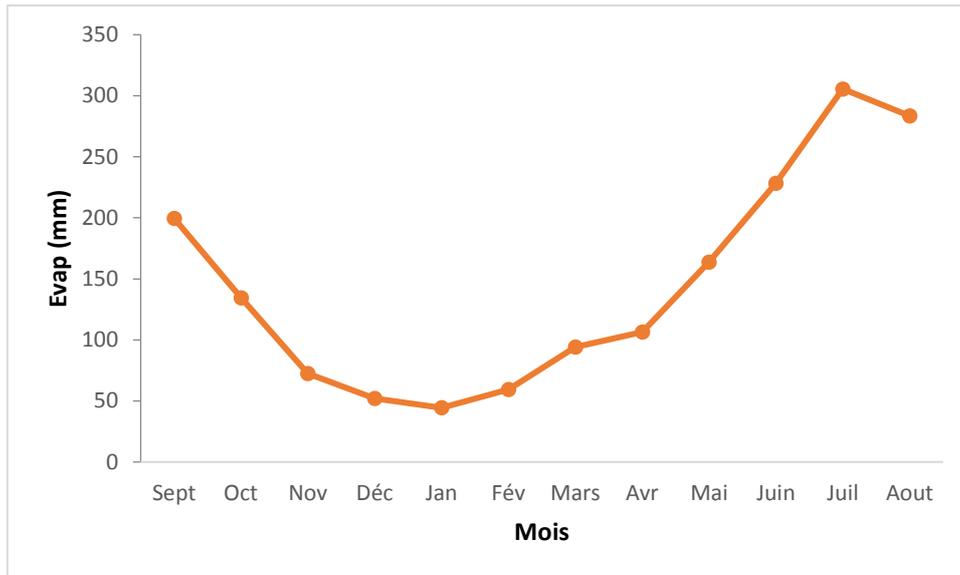


Figure 6. Evaporation moyenne mensuelle (1987-2015)

-La valeur maximale de l'évaporation est enregistrée dans le mois de juillet, elle atteint 305.6mm.

-La valeur minimale de l'évaporation est enregistrée dans le mois de janvier, elle est de 44.38mm.

2.2.3.6. Vent

Le vent est un déplacement d'air provoqué par une différence de pression d'un lieu à l'autre. Habituellement on donne sa direction, qui indique le lieu d'où provient l'air ambiant, et sa vitesse, qui agit en combinaison avec les autres éléments du climat (André H, 2005).

Le vent a une influence directe sur les sols, la végétation et d'autres facteurs tels que la précipitation et évapotranspiration. Il intervient aussi dans le choix du système d'irrigation. L'étude de vent est indispensable pour l'estimation des besoins en eaux d'irrigation ; il convient de connaître leur répartition mensuelle, leur vitesse, leur fréquence et leur direction.

Tableau 6. Vitesse moyennes mensuelles du vent en Km/h (1987-2015)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil.	Aout
Vitesse du vent (Km/h)	2.79	2.79	3.18	3.33	2.96	3.90	3.44	3.28	3.80	2.74	2.88	2.94

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

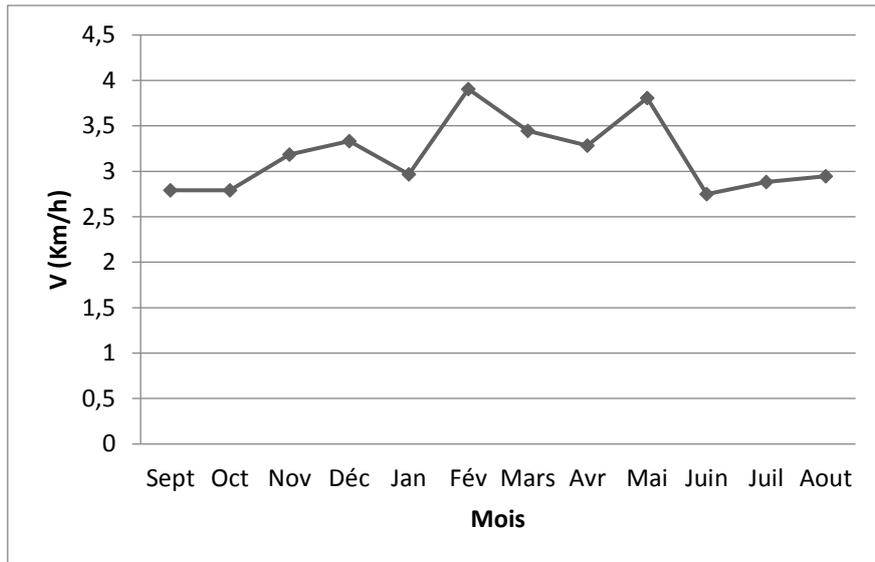


Figure 7. Evolution des vitesses moyennes mensuelles du vent (1987-2015)

D'après les données des vitesses moyennes du vent enregistrées au niveau de la station de Barrage Harraza, on remarque que la vitesse du vent est plus ou moins stable et on connaît bien qu'elle est située au Nord du périmètre, dont le relief est plus ou moins plat entourée par des massifs (Zaccar au Nord et l'Ouarsenis au Sud).

-La vitesse moyenne mensuelle maximale est de 3,90 km/h, elle est observée au mois de Février.

-La vitesse moyenne mensuelle minimale est de 2,74 km/h, elle est observée au mois de juin.

2.2.3.7. Humidité relative

C'est la quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans l'air, elle est exprimée en pourcentage % et elle dépend de la température de l'air (Perrin, 1993).

L'humidité est un élément climatique très important dans le cycle hydrologique contrôlant entre autre l'évaporation du sol et le couvert végétal.

Les moyennes mensuelles de l'humidité relative enregistrées au niveau de la station ITGC sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 7. Humidité relative (%) de la station ITGC de Khemis Miliana (1975-2006)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Août.	Moy
H (%)	34.3	65.2	72.7	70.4	71.5	70.2	59.2	54.6	55.3	51.1	51.9	66.1	60.2

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

D'après le tableau :

-La valeur maximale de l'humidité relative moyenne mensuelle est observée au mois de novembre avec une valeur de 72.7%.

-La valeur minimale est observée durant le mois de septembre avec une valeur de 34.3%.

-L'humidité relative moyenne de la région d'étude est autour de 60 %.

2.2.3.8. Ensoleillement

La durée moyenne mensuelle d'ensoleillement de cette station est représentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8. Durée moyenne mensuelles d'ensoleillement (1990-2005)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Durée (h/Mois)	83	66,4	56,3	45,9	51,6	61,3	71,8	76	89,1	103	106,5	100,5

(ITGC.2009)

D'après le tableau, la région d'étude est caractérisée par :

-Des durées d'ensoleillement inférieures à 80 heure par mois pour les mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril.

-Des durées d'ensoleillement supérieur à 80 heures pour les mois de Mai jusqu'à novembre.

Cela est logique car en période hivernale la durée des journées diminue donc le ciel est plus en plus couvert par les nuages, alors que c'est l'inverse dans la période estivale.

2.3. Synthèse climatique

La synthèse climatique est basée sur la recherche des formules qui permettent de ramener à une variable unique l'action de plusieurs indices climatiques tenant compte des variables telles que la pluviosité et les températures.

2.3.1. Diagramme ombrothermique de Bagnoles et Gausson

Le diagramme ombrothermique de Gausson est un graphique climatique qui représente les variations mensuelles, sur une année, des températures et des précipitations. Il est

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

principalement adapté aux climats relativement tempérés et donc aux latitudes moyennes de l'hémisphère Nord. Il fut conçu par le botaniste Henri Gaussen (1953) afin de faire apparaître les périodes ayant une influence favorable ou défavorable sur la végétation en fonction de l'évapotranspiration Bagnouls et Gaussen (1953) ont caractérisé un mois sec par la relation :

$$P \leq 2T, \text{ avec : } T = (M+m) / 2.$$

Avec :

M : Température maximale

m : Température minimale

Le cumul des mois secs constitue la saison sèche.

Quand la ligne des précipitations est en dessous de celle des températures, le mois est sec. Ces diagrammes permettent de calculer très facilement le nombre des mois secs, les saisons sèches et de comparer d'une manière élégante les régions à climat semblable (André H, 2005).

D'après Gaussen, on a les climats suivants :

- Désertique : plus de 300 jours secs.
- Subdésertique : de 200 à 300 jours secs.
- Tropical a une saison sèche ou a deux saisons sèches (on fait la somme des deux) : de 100 à 200 jours secs.
- Subéquatorial ou tropical atténué : moins de 100 jours secs.
- équatorial : pas de jours secs

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

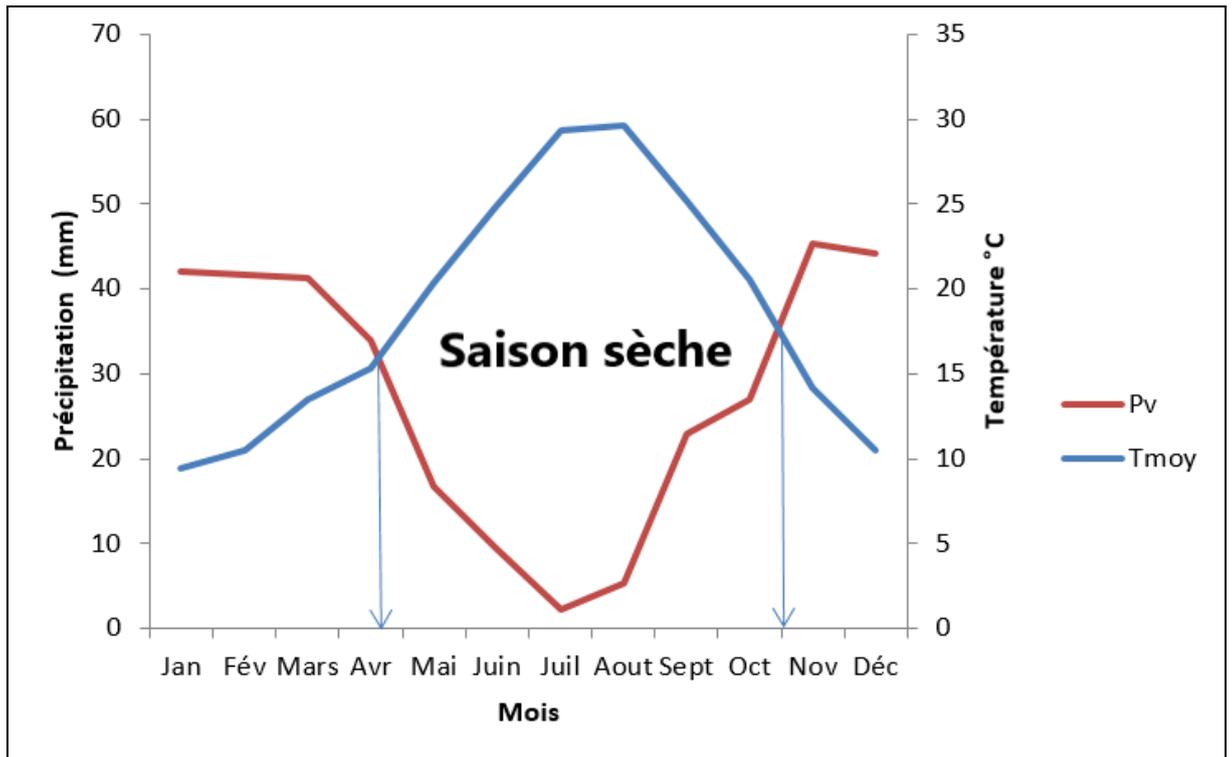


Figure 8. Diagramme de Gaussen pour la plaine d'El Khemis

Il ressort que pour la station de Harraza, la période sèche s'étale de mi-avril jusqu'à la fin d'octobre, soit six mois pendant lesquels l'irrigation est indispensable pour compléter les besoins en eau des cultures.

2.3.2. Quotient pluviométrique et Climagramme d'Emberger

La technique est fondée sur un diagramme dressé par EMBERGER (Figure 15) qui nous renseigne sur le climat, ainsi que le type d'hiver dominants d'une région.

Ce climagramme permet, grâce au quotient pluviométrique d'Emberger (Q2) spécifique au climat méditerranéen, de situer une zone d'étude dans un étage bioclimatique.

Nous avons utilisé la formule d'Emberger modifiée par Stewart (1969) adapté pour l'Algérie, qui se présente comme suit:

$$Q2 = 3.43 P / (M - m)$$

Q2: Quotient pluviométrique d'Emberger

P : moyenne annuelle des précipitations (mm)

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en (degré kelvin)

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid en (degré kelvin)

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

Pour : $T_{\max}=39.08^{\circ}\text{C}$, $\longrightarrow M=39.08+273=312.08\text{kelvin}$

$T_{\min}=3.74^{\circ}\text{C}$ $\longrightarrow m=3.74+273=276.74\text{kelvin}$

$P=332.74\text{mm}$.

Alors :

$Q_2 = 3.43 \times 332.74 / (312.08 - 276.74)$

$Q_2 = 32.29$

Le report de la valeur estimée du quotient pluviométrique ($Q_2=32.29$), nous a permis de situer notre région dans l'étage bioclimatique semi-aride à hivers tempérés (Figure 09)

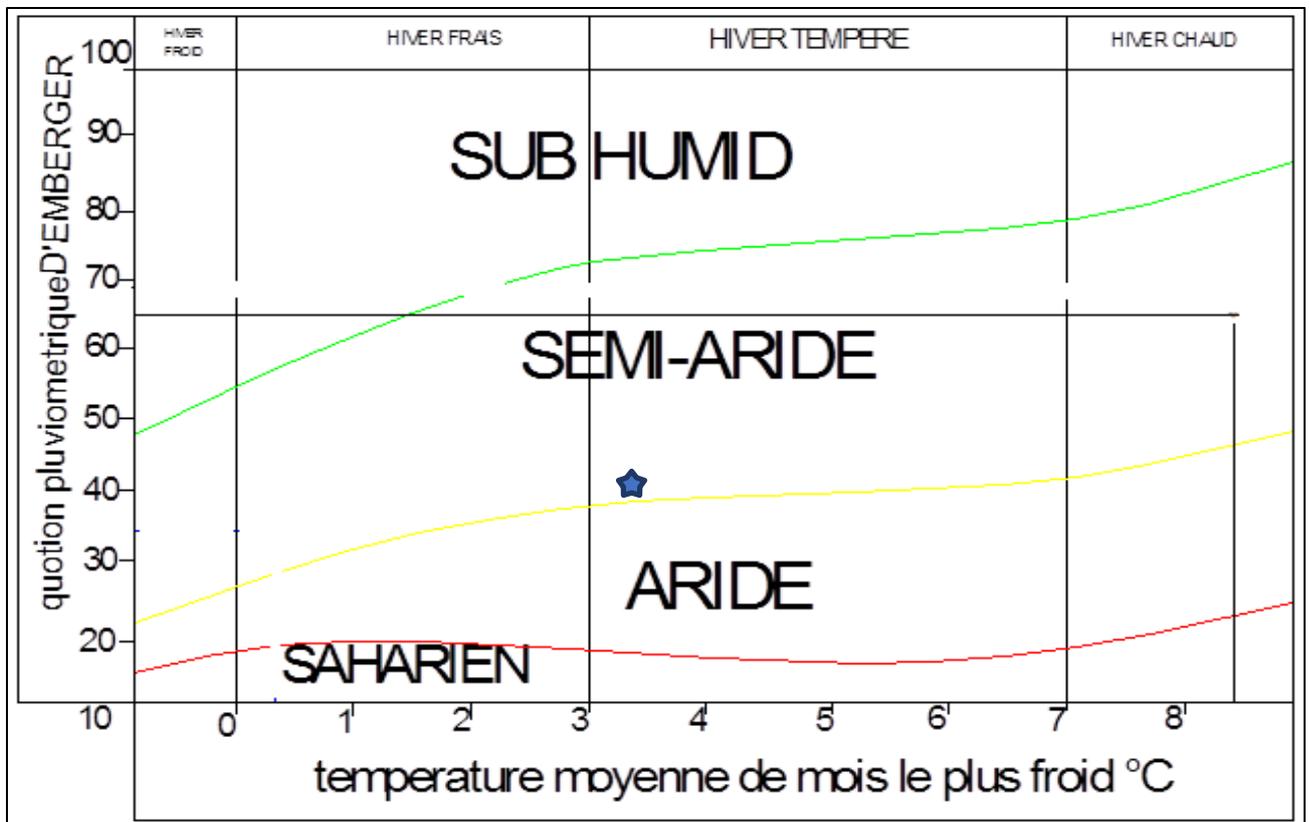


Figure 9. Diagramme bioclimatique d'Emberger (Station de Barrage Harraza).

2.3.3. Indice d'aridité de De Martonne

C'est le degré de sécheresse du climat de la région. Cet indice permet de préciser le degré de sécheresse de la région et par conséquent de renseigner sur l'indisponibilité de l'irrigation. Il est calculé par la formule suivante :

$$IA = P / T + 10$$

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

Avec :

IA: Indice climatique de Martonne.

P: Précipitation moyenne annuelle (mm).

T: Température moyenne annuelle (°C).

Donc : $IA = 332.74 / 18.6 + 10$

IA = 11.63

Tableau 9. Classification du climat selon l'indice de De Martonne

Valeurs de IA	Type de climat	Irrigation
$IA \leq 5$	Désertique	Indispensable
$5 < IA \leq 10$	Très sec	Indispensable
$10 < IA \leq 20$	Sec	Souvent indispensable
$20 < IA \leq 30$	Relativement humide	Parfois utile
$IA > 30$	Humide	Inutile

Selon l'indice d'aridité calculé, on constate d'après la classification ci-dessus, que la région est soumise à un régime de climat Sec, et que l'irrigation, est souvent indispensable.

2.4. Contexte pédologique

2.4.1. Pédologie de la plaine du Haut Chélif

La plaine du Haut Cheliff est située à l'amont est à l'Est du sillon inter Tellien, c'est à la fois la plus élevée en altitude et celle dont le climat est le moins aride. Elle est bordée par des massifs assez élevés, le Doui et le Zaccar, qui la domine d'un millier de mètres, du point de vue géologique c'est un bassin largement conservé notamment sur la bordure Sud (Boulaine J, 1957).

D'après la carte pédologique de la plaine du Haut Cheliff (Boulaine, 1957), indique que la majorité des sols constituent la région sont des sols limoneux argileux. Les sols sableux sont

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

principalement représentés le long d'Oued Cheliff. Alors que les sols argileux sont rencontrés dans la partie Nord, les sols limoneux sont plus présents aux bordures extrêmes Nord et extrême Sud.

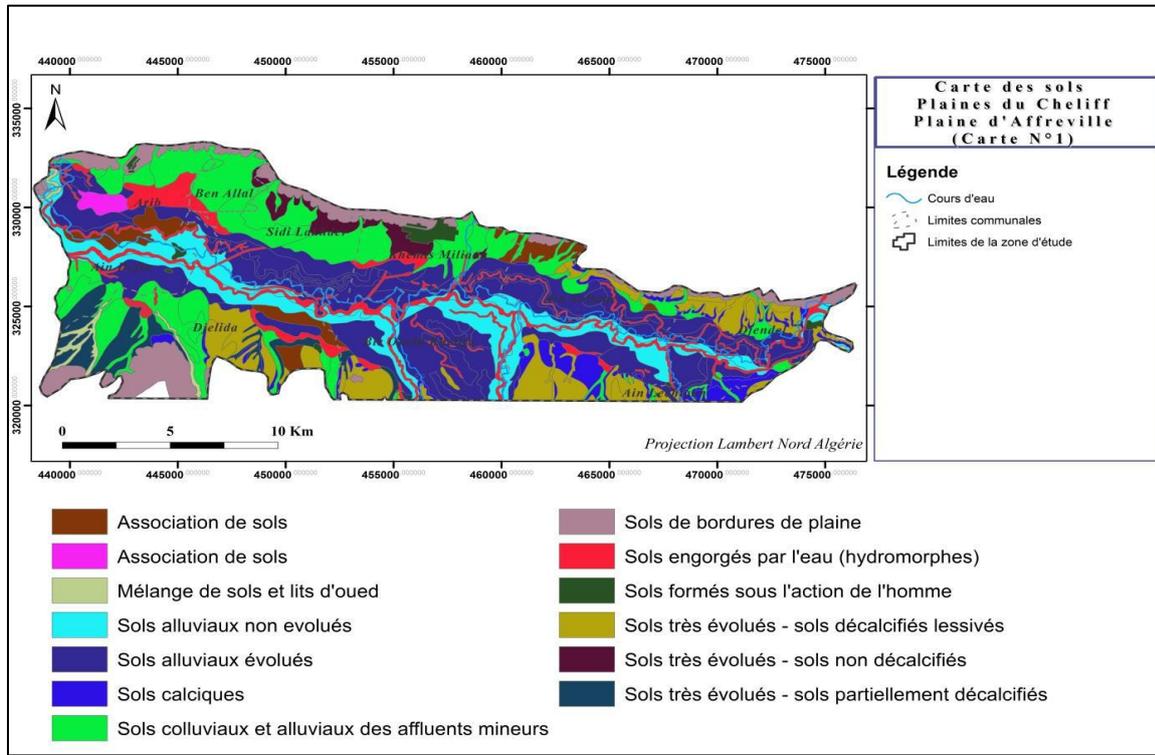


Figure 10. Carte pédologique du Haut Cheliff (Boulaine, 1957 modifiée par Bouhini et Beghdadi, 2017)

2.5. Contexte géologique

La plaine de haut Chélif forme un synclinal d'orientation ouest-est dans l'Atlas Tellien. La succession stratigraphique dans la zone d'étude des formations plus anciennes aux formations récentes est la suivante (Bouderbala and Gharbi, 2017)

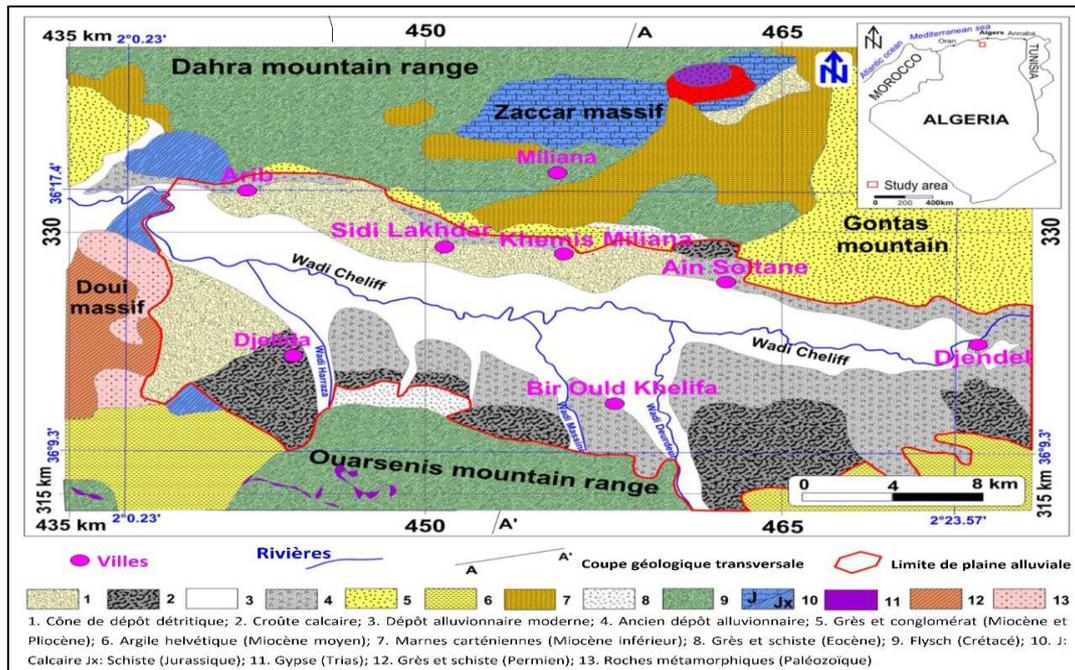


Figure 11. Carte géologique de la plaine du Haut Cheliff. (Perrodon, 1957).

Le primaire est observé dans le massif de Zaccar et de Doui, et il est formé par l'alternance de schiste noir, d'argile et de quartzite. Il est surmonté par le Trias qui se caractérise par des formations massives de gypse et de dolomite, observées dans le Montagne Ouarsenis. Le Jurassique du massif du Zaccar est représenté par le calcaire, la dolomite et d'autres roches carbonatées. Cependant, les formations jurassiques du massif de Doui sont principalement constituées de calcaire dolomitique. L'épaisseur du Jurassique peut atteindre 1000 m. Les affleurements crétacés sont observés sur les bords latéraux de la plaine, et ils sont principalement représentés par une haute série de schistes néocomiens d'une épaisseur d'environ 1000 m et un schiste gris alternant avec des bancs de quartzite d'Albain-Aptien, d'une épaisseur proche de 1000 m, et il est suivi par le calcaire jaunâtre du Sénonien. La formation miocène de 300 m d'épaisseur commence par le Miocène inférieur qui est essentiellement formé de marne bleue et d'argile, suivi du Miocène moyen représenté principalement par l'argile, le marne et quelques passages de grès et de conglomérats. Le Mio-Pliocène est formé principalement de calcaire, de grès, de conglomérat et d'argile ; On l'observe surtout dans la montagne Gontas, avec une épaisseur d'environ 100 m.

Les formations quaternaires sont principalement représentées par les anciens dépôts alluvionnaires formés de conglomérat et de galets. La croûte calcaire est formée par le tuf calcaire blanchâtre, compact ou pulvérulent ; il est spécialement développé dans la limite sud

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

de la plaine. Les cônes de dépression alluviaux sont développés sur les pentes dans la limite de la plaine. Les dépôts alluviaux récents sont formés de galets, de gravier, d'argile et de limon recouverts d'un sol organique.

2.6. Contexte hydrogéologique

L'aquifère principal de la plaine du Haut-Cheliff est formé de dépôts alluvionnaires, y compris des formations de galets, de gravier, de sable et d'argile, dont l'épaisseur peut atteindre 150 m. C'est un aquifère localement confiné, car il est recouvert de limon et d'argile en surface, de 5 à 20 m d'épaisseur au centre de la plaine. Nord-est du mont Gontas et au Sud-est de la ville de Djendel. Dans cette zone, plusieurs puits et forages ont été forés et ont montrés une bonne qualité des eaux souterraines et qui peuvent atteindre 200 m de profondeurs (Bouderbala, 2017).

Le système aquifère dans cette plaine peut être considéré comme des systèmes aquifères multicouches. La continuité hydraulique entre l'aquifère alluvial et l'aquifère du Mio-Pliocène n'existe que dans les limites de la plaine où il y a un contact entre les deux aquifères sans couche imperméable entre eux ; Cependant, au centre de la plaine, il y a une couche d'argile épaisse entre les deux aquifères. Nous notons ici que nous nous intéressons uniquement à l'aquifère alluvial quaternaire

Les eaux souterraines de cet aquifère alluvial s'écoulent vers le centre de la plaine où se situe l'axe de drainage principal, qui coïncide avec l'oued Cheliff, avec un écoulement principal d'est en ouest. La profondeur de la nappe phréatique varie de 5 m.

Dans la zone ouest (près des villes de Djelida et Arib) à 30 m dans la zone est (près de la ville de Djendel), tandis que dans la partie centrale de la plaine la profondeur des nappes phréatiques est d'environ 10 m (Bouderbala and Gharbi, 2017).

Chapitre 2. Présentation de la zone d'étude

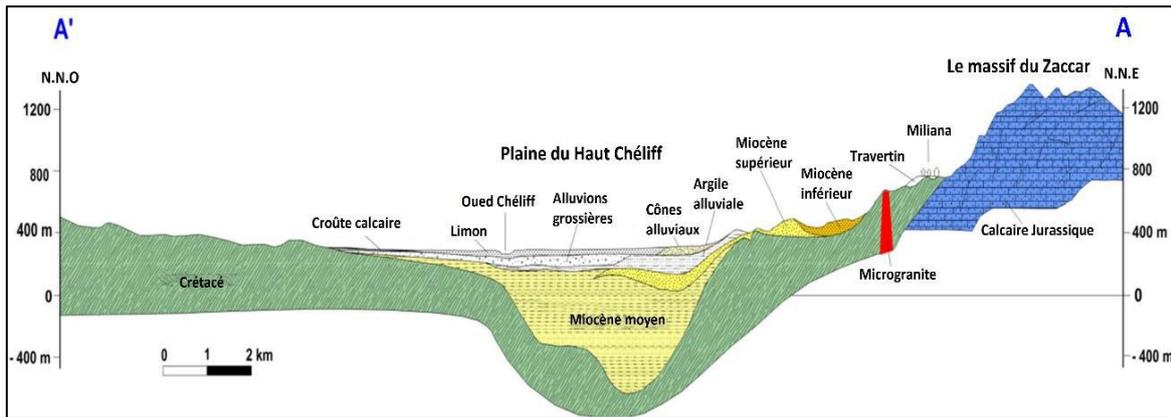


Figure 12. Coupe transversale de la plaine du Haut Chélif (ANRH, 1997)

Conclusion

La plaine de Khemis Miliana est caractérisée par des faibles précipitations, irrégulières et aléatoires. Le diagramme ombrothermique fait ressortir une période sèche étalée du mois de mai jusqu'au mois d'octobre et une période humide qui débute à partir du mois de novembre jusqu'au mois d'Avril. De ce fait, la zone d'étude est classée d'après le diagramme d'Emberger dans l'étage bioclimatique semi-aride avec un hiver tempéré.

Le climat est de type méditerranéen avec un caractère de continentalité marquée aux étés très chauds et hivers froids et rigoureux avec un printemps écourté et automne très bref (Claus et Legopil, 1972). Notons que les précipitations tombent sous forme d'averses intenses et causent des ruissellements importants.

De ce fait, on peut dire que le climat régnant sur la région d'étude est favorable à toutes les cultures et la nécessité d'une irrigation pendant la période sèche de 06 mois allant de mai à octobre.

Chapitre 3. Matériel et méthodes

2.1. Introduction

La caractérisation des sols et la compréhension de leur dynamique actuelle nécessitent des observations et des mesures de terrain ainsi que des mesures et des analyses en laboratoire.

Dans ce chapitre, nous exposerons la démarche méthodologique employée afin d'atteindre les objectifs de notre travail. Cette méthodologie est divisée en deux volets : un premier volet porte sur une enquête de terrain qui vise à mieux comprendre la motivation ainsi que les techniques adoptées par les agriculteurs ayant recours à l'induction du stress hydrique pour différentes cultures. Le second volet concerne le dispositif expérimental ainsi que les différentes analyses réalisées afin de caractériser le sol de la parcelle d'étude.

2.2. Travaux du terrain

2.3. I.1.Réalisation des enquêtes

Cette étape du travail de terrain consiste à recueillir les points de vue des agriculteurs par biais d'enquêtes de terrain pour savoir si oui ou non les agriculteurs appliquent la pratique du stress hydrique, quand et comment ? Pour répondre à notre problématique, nous avons élaboré un guide d'entretien afin de collecter les informations nécessaires, son contenu s'articule autour des axes suivants :

- ✓ Identification des exploitants et des exploitations ;
- ✓ Identification de la culture cultivée et du système d'irrigation utilisé ;
- ✓ Identification des périodes d'application du stress hydrique par l'agriculteur et les objectifs visés.

Nous avons ensuite entamé les enquêtes auprès des agriculteurs sur le terrain. Ces enquêtes ont porté sur plus de 54 parcelles agricoles situées dans le périmètre du Haut Cheliff et ont été effectuées durant les mois d'avril et mai 2019.

2.4. I.2. Présentation du site expérimental (site d'étude)

Le site expérimental retenu se situe au niveau de la ferme de Bensiamme qui se trouve entre Khemis Miliana et Sidi Lakhdar. Les coordonnées géographiques de la parcelle d'étude sont les suivantes :

Tableau 1. Caractéristique de la parcelle d'étude

Wilaya	Commune	Périmètre (m)	Superficie (m ²)	Latitude	Longitude
Ain Defla	Khemis Miliana	60	225	36°14'17.3"N	2°10'59.6"E

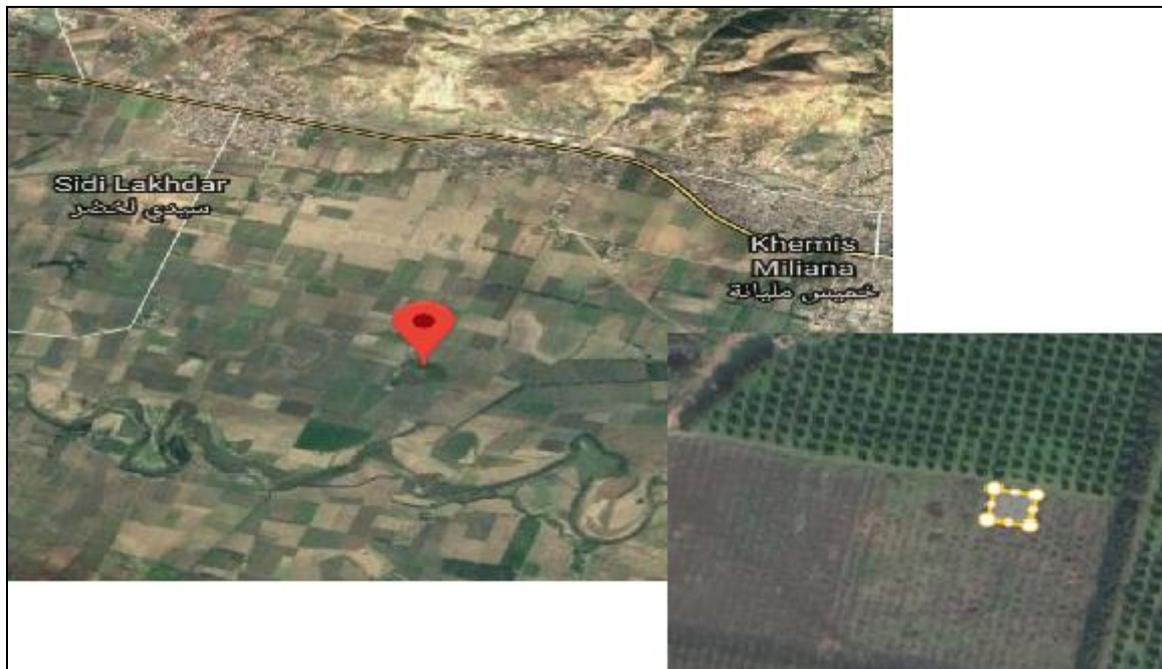


Figure 1. Localisation de la parcelle d'étude (Google Earth, 2019)

2.5. Echantillonnage du sol

Pour que le sol prélevé soit représentatif, nous avons divisé la parcelle d'étude en trois parties, au niveau de chaque partie nous avons effectué deux prélèvements : le premier à 20 cm et le deuxième à 40 cm de profondeur (Figure 2).

Les échantillons prélevés sont conservés dans une glacière et acheminés au laboratoire. Après deux jours de séchage, ils sont tamisés à 2 mm.

Matériel utilisé :

Pour effectuer les prélèvements sur le terrain, les outils utilisés étaient les suivants :

- ✓ Une tarière pour le prélèvement des échantillons ;
- ✓ Des sachets en plastique pour l'emballage des échantillons ;
- ✓ Des marqueurs pour numérotter les échantillons ;
- ✓ Un décamètre ;
- ✓ Des tubes cylindriques métalliques pour le prélèvement des échantillons non remaniés ;
- ✓ Une glacière pour conserver les échantillons.

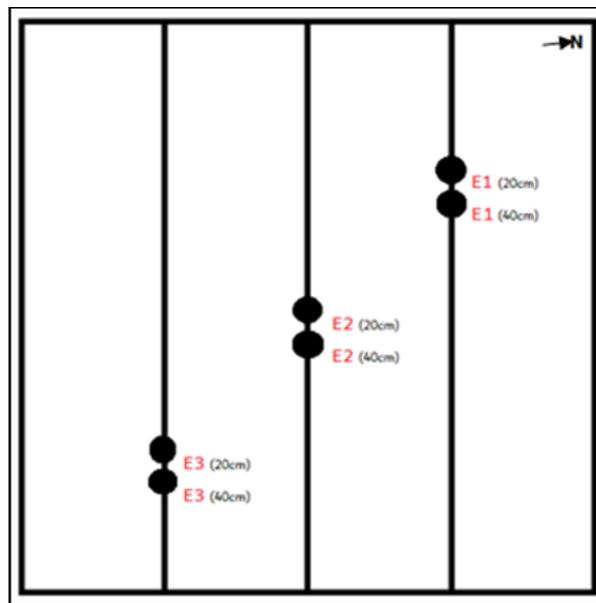


Figure 2. Plan d'échantillonnage

2.6. Préparation du sol avant la plantation

L'objectif principal du travail du sol est de créer un volume de pores suffisant pour absorber l'eau et l'air et permettre une pénétration facile des racines de plantes en ameublissant le sol dans la couche cultivable. Si le sol est retourné, la matière organique est enfouie à des niveaux profonds, les mauvaises herbes sont contrôlées et, sous certaines conditions, des particules fines de sol lessivées et des éléments nutritifs sont restaurés à la surface. Le travail du sol que nous avons réalisé se divise en deux phases :

- a. Le labour primaire, le plus profond, pour préparer le sol pour la culture suivante (courgette).

b. La préparation du lit de semences



Photo 1. Travail du sol (Crédit Harkat et Touaibia, 2019)

Les instruments utilisés pour effectuer le travail du sol primaire sont les suivants :

- ***La charrue à disque*** : Les charrues à disques sont des instruments très lourds munis d'un à huit disques concaves. La profondeur de travail est située entre 25 et 40 cm. Chaque disque est installé sur un bras avec un axe muni de roulements. Les disques sont installés sur une sous - structure et peuvent pivoter de 30 à 40 degrés. Lorsqu'on ajuste l'angle des disques, il faut également inverser la roue guide.



Photo 2. Labour primaire par la charrue à disque (Crédit Harkat et Touaibia, 2019)

- **La charrue chisel :** Le chisel est constitué de grandes dents, en nombre impair, rigides ou flexibles montées sur un châssis métallique et disposées en alternance (quinconce) sur 2 rangées pour les plus fréquents. le chisel est très efficace sur sols caillouteux, il est deux fois plus rapide que les charrues. Il est utilisé sur sols secs en été.



Photo 3. Labour primaire par la charrue Chisel (Crédit Harkat et Touaibia, 2019)

2.7. Choix de culture

D'après l'ensemble des enquêtes que nous avons réalisé, le choix de culture s'est porté sur la courgette. Cette plante annuelle produit des fruits allongés ou ronds, jaunes, blancs ou verts. Elle possède des tiges rigides. Ses fleurs jaunes comestibles fleurissent de mai à octobre.

La courgette aime un climat tempéré et une exposition chaude et ensoleillée. Elle préfère un sol léger, bien drainé et riche en humus. Elle se plante généralement en pleine terre. On peut la semer ou l'acheter en godet. La récolte a lieu environ 2 mois après le semis.



Photo 4. Culture de courgette (Crédit Touaibia et Harkat, 2019)

2.8. Choix de système d'irrigation à installer

Aujourd'hui, avec la hausse du coût de l'énergie et la restriction de l'usage de l'eau, le goutte à goutte est souvent présenté comme la solution idéale. Il existe différents modèles de produits et accessoires. Notre choix s'est basé sur les critères suivants :

- ✓ Le besoin en eau des plantes ;
- ✓ La nature du sol (texture, structure) ;
- ✓ Le dénivelé de la parcelle ;
- ✓ La taille de la parcelle ;
- ✓ La durée d'utilisation du matériel ;

- ✓ Les débits et pressions ;
- ✓ Le mode d'utilisation (goutte à goutte enterré ou de surface) ;
- ✓ Les schémas de plantation.

Notre choix s'est porté sur le goutte à goutte annuel qui représente une gaine à paroi fines. Elle est limitée par une faible pression d'utilisation et plutôt adapté aux terrains plats. Son utilisation est limitée à une année de production. La gaine demande une attention particulière lors de la pose, pour éviter les frottements au sol. Elle demande également une filtration et un contrôle de pression bien mené.

2.8.1.1. Calcul des besoins en eau des cultures

La détermination des besoins en eau d'une culture nécessite la connaissance de divers paramètres tels que les données d'occupation et de répartition culturale dans le périmètre ainsi que les données climatiques et pédologiques de la région.

2.8.1.1.1. Etude des pluies annuelles

Pour l'étude des pluies, nous avons exploré un échantillon de données pluviométriques de la station de Harraza sur une période de 27 ans.

2.8.1.1.2. Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique

L'homogénéité est une analyse statistique de l'information aidant à une prise de décision conséquente. Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique on procède au Test de Wilcoxon.

Wilcoxon a montré que la série est homogène avec une probabilité de 95% (Touaibia, 2004), si la relation ci-dessous est vérifiée.

$$W_{min} < W_y < W_{max}$$

$$W_{min} = \left[\left(\frac{(N_1 + N_2 + 1) * N_1 - 1}{2} \right) - 1.96 \left(\frac{N_1 * N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12} \right)^{0.5} \right]$$

$$W_{max} = [(N_1 + N_2 + 1)N_1 - W_{min}]$$

W_y : Somme des rangs des sous-séries

2.8.1.1.3. Ajustement statistique des pluies

Les données de pluies annuelles sont souvent ajustables à des lois statistiques nombreuses, ceci est dû à la faible variabilité interannuelle pour certaines stations (Touaibia, 2015).

Les lois d'ajustement les plus utilisées dans le cas des pluies annuelles sont :

- Loi de Gauss ou loi normale.
- Loi de Galton ou loi log–normale.

2.8.1.1.4. Choix du type de loi

Ces critères de choix sont liés à un ajustement graphique d'abord et ensuite à un test d'adéquation. L'allure des points sur du papier à probabilité nous permet d'accepter ou de rejeter la loi (toute sinuosité, mauvaise courbure ou cassure de pente est considérée comme un mauvais ajustement) (Touaibia, 2015). Nous avons utilisé le logiciel Hyfran pour les différents calculs.

2.8.1.1.5. Test de validité de l'ajustement à la loi choisie

La loi choisie pour ajuster la distribution statistique de l'échantillon ne représente qu'approximativement l'échantillon étudié. L'erreur commise en adoptant une loi donnée est une erreur d'adéquation.

Et puis, on compare l'adéquation de ces lois afin d'adopter le meilleur ajustement, une comparaison de l'adéquation de ces lois est nécessaire. Pour cela, nous avons utilisé le test du Khi carré (χ^2) qui est l'un des tests le plus employés.

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_i - v_i)}{v_i}$$

$$\lambda = K - 1 - P$$

Avec :

P : Nombre de paramètres, dont dépend la loi de répartition (P=2).

On cherche dans la table de Pearson la probabilité de dépassement correspondante au nombre de degré de liberté, définie ci-dessus par.

- On calcule χ^2 .
- On calcule le nombre de degré de liberté γ .

- On détermine $\chi^2_{\text{théorique}}$ sur la table de Pearson.

$$\text{Avec : } \chi^2_{\text{théorique}} = g(\gamma, \alpha)$$

La loi est adéquate pour une erreur $\alpha = 0.05$ si et seulement si :

$$\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{théorique}}$$

2.8.1.1.6. Détermination de l'année de calcul

Après le choix de loi la plus adéquate, nous la retenons pour l'estimation de la pluviométrie moyenne mensuelle représentative de la région.

Pour l'estimation de l'année sèche de fréquence de 80% ; on utilise la formule suivante :

$$P_{i \ 80\%} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times \frac{P_{\text{théorique (80\%) Annuelle}}}{P_{\text{théorique (50\%) Annuelle}}$$

Avec : i : mois

2.8.1.2. Calcul de l'évapotranspiration de référence (ET₀)

Pour le calcul de l'évapotranspiration de référence ET₀, nous avons utilisé le logiciel CROPWAT V.8.

2.8.1.3. Evaporation maximale de culture (ETM)

Le calcul de l'ETM se fait comme suit :

$$ETM = K_c \cdot ET_0 \text{ Penman Monteith}$$

Avec K_c : Coefficient cultural dépend du type de la culture et de son stade de développement

Formule de Penman – Monteith pour le calcul de l'ETP.

Lorsqu'on ne dispose que de données journalières on peut calculer l'évapotranspiration de référence à l'aide de la formule suivante, dérivée l'équation de Penman – Monteith (2). Cette équation est celle de la FAO (1998)

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta R_n \cdot d + \gamma \frac{900}{t + 273} v(e_w - e)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34v)}$$

ETP évapotranspiration potentielle (mm.j-1).

Rn rayonnement net (W.m-2).

d : longueur du pas de temps en k secondes (d=0.0864 ks).

t_{moy} température moyenne quotidienne de l'air à 2m (°C).

Δ pente de la courbe de la tension de vapeur saturante (kPa.°C-1).

γ Constante psychrométrique (kPa.°C-1).

e tension de vapeur (kPa).

e_w tension de vapeur saturante (kPa).

v vitesse du vent à 2m (m.s-1).

2.8.1.4. Réserve facilement utilisable (RFU)

La réserve facilement utilisable (RFU) est calculée suivant la formule :

$$RFU = (H_{cc} - H_{pf}) * Y * Z * Da$$

Avec :

Y : degré de tarissement égal à 2/3

Da : densité apparente (1.7)

Z : profondeur d'enracinement (mm)

H_{cc} : humidité à la capacité au champ, On prend (27)

H_{pf} : humidité au point de flétrissement, On prend (13)

2.8.1.5. Calcul de la pluie efficace (P_{eff})

La pluie efficace correspond à 80% de la pluie moyenne, soit :

$$P_{eff} = 0.8 * P_{moy}$$

Avec : P_{eff}: Pluie annuelle efficace en (mm/mois).

P_{moy} : pluie moyennes en (mm/mois).

2.8.1.6. Calcul des besoins en eau d'irrigation des cultures

Le calcul des volumes d'eau à apporter par irrigation est réalisé en effectuant période par période le bilan :

$$Bi = ETM - (P_{eff} + K * RFU_{i-1})$$

Avec : P_{eff} : pluie efficace en mm.

$i-1$: le mois précédent

RFU : Réserve du sol assimilée à la réserve facilement utilisable disponible au début de la période.

K : un coefficient généralement égal à 1/2 ou 1/3

L'irrigation est faite lorsque Bi (bilan hydrique) > 0

2.8.1.7. Calcul des besoins brut

C'est le volume d'eau d'irrigation exprimé en mm par jour, nécessaire en pratique (compris les pertes et les besoins de lessivage mais à l'exclusion de la contribution des autres ressources).

$$B_{brut} = B_{net} \times E_f$$

Avec : E_f : l'efficacité du réseau (95%)

2.8.1.8. Dimensionnement du réseau goutte à goutte à la parcelle

Le dimensionnement du réseau d'irrigation localisée nécessite la connaissance de données de base qui concerne la culture et le réseau à installer.

- **Culture** : Courgette
 - Espacement entre plantes : 0.6 m
 - Espacements entre rangs : 1.2 m
 - Besoins de pointe 92.18 mm
- **Caractéristique du gouteur**
 - Débit nominal : 2 l/h
 - Pression nominale : 12 m.c.e
 - Espacement des gouteurs : 0.1 m
 - Le nombre de gouteurs par plante : 2
- **Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée**
 - **Besoins journaliers**

$$B_j = \frac{\text{besoin du mois de pointe}}{\text{Nombre de jours}}$$

• **Dose d'irrigation nette pratique**

Le besoin d'irrigation nette (Bnet) est le volume d'eau d'irrigation théoriquement nécessaire pour obtenir une production normale sur l'ensemble de la surface cultivée.

$$D_{np} = (H_{cc} - H_{pf}) \cdot D_a \cdot Y \cdot Z \cdot P\% = R_{FU} \cdot P\%$$

- Avec :
- H_{cc} : humidité à la capacité au champ (H_{cc}=27%)
 - H_{pf} : humidité au point de flétrissement (H_{pf}=13%)
 - Y : degré d'extraction de l'eau du sol (Y=2/3)
 - Z : profondeur d'enracinement en mm (Z= 600 mm)
 - D_a : est la densité apparente du sol (D_a=1.7)
 - P% : Pourcentage du sol humidifié

$$P\% = \frac{\eta \times S_{pd} \times S_h}{S_a \times S_r}$$

- P : Volume du sol humidifié
- n : Nombre de point de distribution par plante (2 par plante)
- S_{pd} : Distance entre deux points de distribution voisins de même plante (0.1m)
- S_h : Largeur de la bande humidifiée (0.5m)
- S_r : Ecartement entre rangs (1.2m)
- S_a : espacement des plantes sur les rangs (0.6m)

• **Fréquence d'arrosage**

La fréquence d'arrosage est donnée par la formule suivante : Fr = Dose nette/ B_j

Après la détermination de la fréquence d'arrosage, on recalcule :

La dose réelle (D_r) : D_r = Fr * B_j

La dose brute (D_{brute}) : D_{brute} = D_r / (Cu*Eff)

- Avec :
- Cu : coefficient d'uniformité (90%)
 - Eff : efficacité du réseau d'irrigation (90%)

Durée d'arrosage par mois (θ) :

$$\theta = \frac{D \eta \times S_a \times S_r}{\eta \times qg}$$

Durée d'arrosage journalier (Dj)

$$Dj = \frac{\text{Durée d'arrosage}}{Fr}$$

Les débits de rampe (Qr) et de porte rampe (Qpr) :

$$Qr = Qg * Nr$$

$$Qpr = Qr. Nr$$

Avec: Qr : Débit de rampe
 Qg: Débit des goutteur
 Ng/r : Nombre de goutteurs par rampe
 Nr : Nombre de rampes
 Qpr: Débit de porte rampe

Avec :

Lr : Longueur de la rampe (15 m)
 Lpr : longueur de la porte rampe (15 m)
 N plantes : nombre de plantes par rampe (Lr/Er)
 Ng : Nombre de goutteurs par rampe (N plantes*n)
 Nr : nombre de rampes (Lpr/Er)

Diamètre de la rampe et porte-lampes

Pour le calcul des dimensions des canalisations (rampe et porte rampe), on propose des rampes en PEHD (Polyéthylène Haute Densité).

Le diamètre de rampes (Ør) ainsi que des portes rampes (Øpr) est calculé d'après les formules suivantes :

$$\varnothing r(cal) = \left[\frac{P.d.c (r)*2.75}{0.478*Q(r)^{1.75} L(r)} \right]^{-\frac{1}{4.75}}$$

$$\varnothing pr(cal) = \left[\frac{P.d.c (pr) * 2.75}{0.478 * Q(pr)^{1.75} L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4.75}}$$

Avec :

Pdc (r) : perte de charge dans la rampe
 Q (r) : débit de la rampe en l/h
 L (r) : longueur de la rampe en m

Ør (cal) : diamètre de rampes

Øpr (cal) : diamètre de porte rampe

2.8.2. Dispositif expérimental

2.8.2.1. Plantation et application du stress hydrique

Tout d'abord, nous avons fait germer les graines dans un papier mouillé pendant quatre jours. Après l'apparition des racines (23 Juin 2019), nous avons semé 2 à 3 graines par trou à 2 cm de profondeur environ avec un écartement de 60 cm entre les deux poquets. Le même jour, nous avons irrigué pendant une heure. La parcelle a été régulièrement irriguée depuis en suivant le calendrier d'irrigation établi.

Deux semaines plus tard (06 juillet 2019), nous avons procédé à la division de la parcelle en quatre (04) carrés comme suit :

- **La 1^{ère} partie** : Un stress hydrique a été appliqué sur cette partie de la parcelle à partir du 06 juillet et pour une période de 12 jours (après le binage). Des sondes Watermark sont placées à ce niveau ont permis de suivre l'état hydrique du sol.
- **La 2^{ème} partie** : Sur cette partie, une fertilisation au biostimulant VITA PLUS a été appliquée en deux fois : la première le 07 juillet 2019, la seconde 10 jours plus tard (17 juillet 2019).

La fertilisation consiste à apporter des éléments minéraux, afin de satisfaire les besoins de la culture et qui doit être raisonnée (Prevost, 1999).



Photo 5. Application du biostimulant (Crédit Touaibia et Harkat, 2019)

Caractéristiques du VITA PLUS :

- Engrais concentré d'azote et d'acides aminés d'origine végétal 100% naturel.
- Effet biostimulant de croissance
- Sa richesse en acide *bétaïne* lui confère un pouvoir mouillant très élevé.

Mode d'emploi du VITA PLUS :

- Application foliaire 1L/100L
- Il est conseillé de répéter la dose 2 à 3 fois durant le cycle végétatif
- **La 3^{ème} partie :** Pour cette partie, nous avons appliqué un stress hydrique et une fertilisation avec le biostimulant simultanément.
- **La 4^{ème} partie :** Carré témoin où seule l'irrigation a été effectuée, en respectant le calendrier préétabli.

2.8.2.2. Suivi de l'état hydrique du sol

2.8.2.2.1. Par tensiométrie

La tensiométrie est une technologie permettant de mesurer l'état hydrique du sol. Elle consiste à mesurer la tension exercée par le sol pour retenir l'eau : la force de succion du sol. Moins il y a d'eau dans le sol, plus cette force est grande.

Le tensiomètre, ou sonde tensiométrique, est l'appareil sur lequel on relèvera la mesure. L'information relevée est la force que doit développer la plante pour extraire l'eau du sol. En raison de leur nombre insuffisant, le suivi par sondes Watermark a été effectué uniquement dans le 1^{er} carré concerné par le stress hydrique.

L'équipement Watermark se compose de deux parties :

- **La sonde Watermark** : composée par un tube de plastique, deux fils éclectiques et un capteur ;
- **Boîtier de lecture Watermark** : qui permet de lire la valeur de tension mesurée par les sondes Watermark. Le boîtier est fourni avec sa pile 9 volts, et un câble avec pinces crocodiles qui permettent de connecter le boîtier aux sondes Watermark.

2.8.2.2.1.1. Mise en place d'un tensiomètre Watermark

Nous avons installé deux sondes Watermark, la première à 25 cm de profondeur et la deuxième à 50 cm. L'installation a été réalisée comme suit :

- Dans un bécher rempli d'eau distillée, plonger le tensiomètre pendant une nuit de manière à noyer complètement la bougie poreuse ;
- Maintenir la bougie poreuse dans l'eau jusqu'à l'installation au champ ;
- Pour réussir la bonne implantation des sondes il faut obligatoirement utiliser une tarière spirale spéciale de diamètre 25 mm tel que le diamètre du tuyau en PVC en sol non caillouteux ;
- Sur le tensiomètre on fait un repère de profondeur, on réalise un trou de la profondeur exacte de mesure retenue ;
- Remonter la tarière tous les 15-20 cm pour vider les spires, Une fois la profondeur atteinte, arraché sans tourner ;
- S'assurer qu'aucun élément grossier ne puisse tomber dans le trou une fois la tarière retirée ;
- Pour augmenter le contact et faciliter la pénétration, praliner la sonde et le capteur avec de la boue ;
- Enfoncez le tensiomètre dans le trou Jusqu'à la profondeur souhaitable (60 cm), l'opération doit se réaliser légèrement en force ; c'est ainsi la preuve d'un bon contact sol-tensiomètre.



Photo 6. Installation des sondes Watermark (Crédit Harkat et Touaibia, 2019)

2.8.2.2.1.2. Mode opératoire

Pour mesurer la tension dans le sol, il suffit de connecter le boîtier de lecture à une sonde Watermark. Un mode température permet d'ajuster la mesure en fonction de la température du sol. Pour cela il est conseillé de mettre un thermomètre dans le sol afin d'obtenir la valeur la plus juste possible de température.

2.8.2.2.2. Par sonde TDR TRIME-PICO

Au niveau de chaque carré, nous avons réalisé cinq (05) mesures d'humidité *in situ* du 09 au 20 juillet à l'aide de la sonde PICO 64. Cette sonde possède des capteurs intelligents et compacts qui permettent de déterminer de manière continue et non destructive l'humidité volumique et la température du sol.

La sonde doit être connectée à un boîtier de lecture portable HD2 en la branchant sur une prise à 7 points. Le HD2 a été conçu pour être utilisé comme appareil de lecture.



Photo 7. Suivi de l'état hydrique du sol par TDR (Crédit Harkat et Touaibia, 2019)

2.8.2.2.3. Suivi des caractéristiques morphologiques des cultures

Nous avons prélevé quelques échantillons sur l'ensemble de la parcelle pour faire le suivi de l'état morphologique des cultures. Les paramètres étudiés sont les suivants :

- ✓ Longueur (Rameau + Feuille)
- ✓ Nombre de feuilles par plant
- ✓ Longueur d'enracinement
- ✓ Nombre de fleurs/plan



Photo 8. Suivi de la croissance végétative (Crédit Touaibia et Harkat, 2019)

2.8.3. Contrôle visuel des cultures

Nous avons effectué un contrôle visuel sur l'ensemble de la parcelle depuis le jour de plantation jusqu'au 23 juillet 2019. Ce contrôle permet de détecter les maladies qui peuvent apparaître au cours du cycle végétatif des cultures.

2.9. Analyses physico-chimiques en laboratoire

Les échantillons de sols effectivement prélevés ont été soumis à des analyses permettant de déterminer leurs propriétés physico-chimiques.

2.9.1. Analyses physiques

2.9.1.1. Granulométrie

Une analyse granulométrique donne les pourcentages des différents groupes granulométriques dans un échantillon de terre. On discerne ces groupes selon les diamètres des particules.

- **Réactifs et appareillages utilisés**
 - Eau oxygénée, H_2O_2 à 6 %
 - Pyrophosphate de sodium, $Na_4P_2O_7 \cdot H_2O$
 - Agitateur mécanique, balance, étuve, 1 bec BUNSEN
 - Tamis de 0.05 mm, 0.2 mm et 20 mm
 - 1 bécher de 1 l

- 2 éprouvettes de 50 ml (ou 100 ml)
- 1 flacon de 1 l avec bouchon en caoutchouc
- 3 petites boîtes métalliques pour prélèvement

- **Mode opératoire**

- **Premier jour :**

- On tamise le sol avec un tamis de 2 mm pour séparer les éléments grossiers et fins
 - On prend 10 g de sol fin (2mm) dans un bécher

- Destruction de la matière organique :*

- Verser dans un même bécher 50 ml de l'eau oxygénée à 30 %
 - Laisser macérer pendant une nuit (on le met dans un grand bécher)

- **Deuxième jour :**

- On chauffe le bécher sur agitateur à température 100 °C jusqu'à disparition de la mousse.
 - On ajoute 20 ml d'eau oxygénée (on ajoute ces gouttes après l'échauffement de bécher).
 - L'opération est terminée lorsqu'il y a arrêt de l'effervescence.

- Disparition des éléments argileux :*

- On ajoute le contenu dans un grand bécher + 40 ml d'héxamétaphosphate à 4 %.
 - Agiter pendant 2h dans l'agitateur mécanique à une vitesse de 30 à 50 tours / min.
 - Mettre un entonnoir avec tamis de 0.05mm sur le cylindre et tamiser la suspension. Laver avec de l'eau distillée jusqu'à ce que toutes les particules < 0.05 mm passent à travers le tamis dans le cylindre.
 - Remplir le cylindre avec l'eau distillée jusqu'au trait ajusté au 1000 ml (1L).
 - Mettre le sable : restant dans le tamis dans une capsule de poids connu et sécher dans l'étuve à 150 c° pendant 15 heures.

- Sédimentation et prélèvement :*

- Mesure de la température des solutions qui se retrouvent dans le cylindre.

- **Mesure à la pipette de Robinson :**

- Avant de commencer les mesures, il faut agiter plusieurs fois avec un pied spécial.

Chapitre 3. Matériel et méthodes

- Pour la fraction totale < 0.05 mm (LG + LF + A + sels solubles) on agite le cylindre et on prend immédiatement un prélèvement de 10 ml du milieu du cylindre. Dans une capsule (avec couvercle) d'un poids connu.
- Pour la fraction < 0.02 mm (LF + A + sels solubles) on agite le cylindre et on prend un prélèvement à 10 cm après 4min 40 sec. Dans une capsule (avec couvercle) d'un poids connu.
- Pour la fraction < 0.002 mm (Argile + sels solubles) on agite 10 fois par le pied le cylindre et on prend un prélèvement à 6 cm qui correspond à la température de solution après 4h et 39min. Dans une capsule (avec couvercle) d'un poids connu.
- On met ces capsules du poids connu dans l'étuve à $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 15 heures pour le séchage.
- On laisse refroidir également le sable et on le pèse. Ensuite, on tamise à sec à l'aide de deux tamis superposés de 0.250 mm et 0.045 mm.
- On récupère les deux quantités dans les capsules de poids connu et on pèse ces capsules pour déterminer le sable fin (SF) et le sable grossier (SG).



Photo 9. Analyse granulométrique avec pipette de Robinson (Crédit Touaibia et Harkat, 2019)

2.9.1.2. Densité apparente

Un cylindre de volume V connu est introduit entièrement dans le sol en préservant la structure de ce dernier. Le sol contenu dans le cylindre est ensuite séché à 105°C à l'étuve, puis son poids P est déterminé par pesée. La densité apparente (D_a) est obtenue par le rapport $D_a=P/V$.

2.9.1.3. Porosité totale

La porosité exprimée en % du volume du sol non occupé correspond à l'ensemble des vides du sol non occupé par les substances solides. Elle est déduite de la densité apparente par la formule $P = (1-D_a/D_r) \times 100$ où 2,65 représente la densité réelle moyenne d'un sol séché désagrégé. Les normes d'interprétation de la porosité d'après le Mémento de l'Agronome (1993) sont consignées dans le tableau ci-après.

Tableau 2. Norme d'interprétation de la porosité (mémento d'agronomie, 1993)

<i>Porosité (%)</i>	35	35-40	40-45	45-50	50-55
<i>Appréciation</i>	Très mauvais	Mauvais	Médiocre	Bonne	Très bonne

2.9.2. Analyses chimiques

2.9.2.1. Mesure de pH

Le pH du sol est la mesure de l'acidité ou de l'alcalinité des sols. Le pH du sol est considéré comme l'une des principales variables dans les sols, car il contrôle de nombreux processus chimiques qui se déroulent dans ce sol. Ce potentiel Hydrogène affecte spécifiquement la disponibilité des éléments nutritifs des plantes, en contrôlant les formes chimiques des nutriments.

Tableau 3. Classification du sol selon le pH (Denis, 2000).

Dénomination	Gamme pH
Ultra acide	< 3,5
Extrêmement acide	3.5-4.4
Très fortement acide	4.5-5.0
Fortement acide	5.1-5.5
Modérément acide	5.6-6.0
Légèrement acide	6.1-6.5
Neutre	6.6-7.3
Légèrement alcalin	7.4-7.8
Modérément alcalin	7.9-8.4
Fortement alcalin	8.5-9.0
Très fortement alcalin	> 9.0

- **Réactif et appareillage :**

- KCL 0.1 n
- Balance
- Bécher de 100 ml, éprouvette de 50 ml
- Tube en verre ou agitateur magnétique

- **Mode opératoire :**

- **pH_{eau} :**
- On pèse 20g du sol (0.2mm)
- On le met dans un bécher et on ajoute 50 ml d'eau distillée.
- On agite pendant 5 min dans un agitateur rotatif.
- On passe au pH +mètre et on lit le résultat.

- pH_{KCL} :

- On ajoute à la solution du pH eau 3.72 g de KCL.
- Agiter à l'agitateur rotatif pendant 5 min.
- On passe au pH mètre et on lit le résultat



Photo 10. Dosage de pH (Crédit Touaibia et Harkat, 2019)

2.9.2.2. Détermination de la conductivité électrique

La conductivité électrique des sols détermine leur degré de salinité. Cette salinité se traduit par un comportement différent des cultures vis-à-vis des classes de salinité. L'échelle de Durand J.H. (Tableau 4) a été utilisée pour indiquer la classe de salinité des sols sur extrait 1/5 et l'effet sur le rendement des cultures.

Tableau 4. Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durant (1983)

Classe	CE en $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 25 °C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensibles au sel
Classe III	1000 à 2000	Salé	Diminution des rendements de la plus part des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent un rendement satisfaisant
Classe V	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

- **Réactifs et appareillage :**

- Eau distillée
- KCL (0.02N)
- Balance, agitateur mécanique
- Bêchers de 100 ml

- **Mode opératoire : (Extrait au 1/5)**

- Peser 20 g de terre (2mm) dans un bécher de 100 ml et ajouter 100 ml d'eau distillée
- Agiter 1 heure avec un agitateur mécanique
- Laisser reposer demi-heure (ou bien faire le filtrage)
- Pour l'étalonnage de l'appareil : On met le KCL (0.02N) à l'étuve, on mesure la température jusqu'à 25 °C

$$CE = CE3 * f(t) / k$$

$$K = CE1 * f(t) / CE2$$

CE1 : valeur de la solution KCL lue sur l'appareil à la température T.

CE2 : CE de KCL (0.02 N à 25 c°. Elle est égale à 2.76.

La valeur $K < 1$

CE3 : elle est lue sur l'appareil à la température T.

2.9.2.3. Détermination de la matière organique

La matière organique joue un rôle fondamental pour le maintien de sols vivants à long terme. Un taux de matière organique élevé favorise le développement des micro-organismes et de la faune des sols. Ce sont ces mêmes micro-organismes qui mettent ensuite les éléments minéraux à disposition des plantes grâce à la minéralisation de cette matière organique. Les caractéristiques des matières organiques et leur contenu dans les sols doivent donc être considérés comme des critères indispensables au diagnostic en matière de fertilité.

- **Dosage de la matière organique :**

- **Pour l'échantillon :**

- On met 1 g de sol (0.2 mm) dans un bécher

Chapitre 3. Matériel et méthodes

- On ajoute 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ (Dichromate de potassium) + 20 ml d'acide sulfurique concentré.
- On mélange la solution et on laisse reposer 30 minutes

- Pour le témoin :

- Dans un bécher on met 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ + 20 ml d'acide sulfurique concentré
- Laisser reposer 30 minutes.
- Mettre chaque préparation dans des fioles de 250 ml et compléter avec l'eau distillée.
- Prélever 20 ml de chacun des béchers (échantillons et témoin) et ajoute 1 ml de H_3PO_4 + 3 gouttes de diphénylamine et agiter pendant 5 minutes dans un agitateur rotatif.

- Titrage :

- On titre avec le sel de mohr à 0.2N, on le met dans une burette de titrage
- On titre les solutions jusqu'à ce qu'il y a virage du bleu foncé vers le vert
- On prend le volume descend sur la burette pour le témoin et aussi pour les échantillons

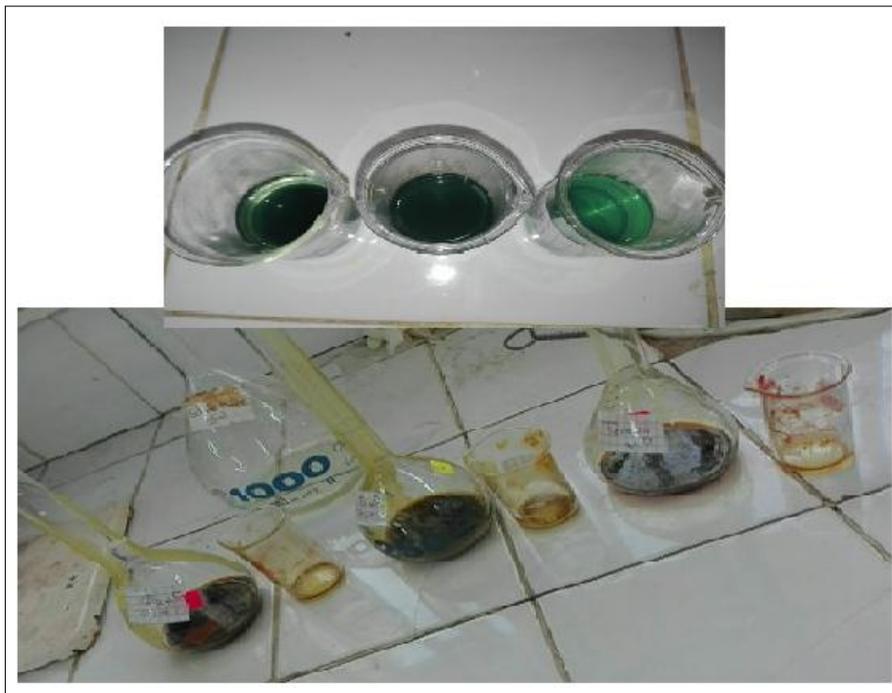


Photo 11. Dosage de la matière organique (Crédit Touaibia et Harkat, 2019)

$$\% C = (V \text{ témoin} - V \text{ échantillon}) * 0.615/p$$

P : poids du sol égale 1 gramme.

$$\% MO = \% C * 1.72$$

C% : Le pourcentage du carbone oxydé.

MO % : Le pourcentage du Matière organique.

Tableau 5. Norme d'interprétation de la matière organique (méthode Anne ISO 10693)

Sol	Taux de matière organique %
Très pauvre	<1
Pauvre	1-2
Moyen	2-4
Riche	>4

Chapitre 4. Résultats et discussion

2.1. Résultats des enquêtes

Le tableau suivant résume les résultats des enquêtes qu'on a réalisé avec les agriculteurs de la plaine de Khemis Miliana durant le mois d'avril et le mois de mai :

Tableau 1. Enquêtes du terrain

Type de culture	Système d'irrigation	Stress hydrique (Période et fréquence)	Objectif
Pomme de terre (04 enquêtes)	Aspersion	10 jours au début de premier stade végétatif (3 enquêtes)	-Développement de la partie racinaire et foliaire
		15 jours à la fin du premier stade végétatif	-Amélioration des rendements (Qualité et quantité)
		15 jours à la fin du premier stade végétatif	-Protection des sols contre la salinité
		15 jours durant le deuxième et le troisième stade	
Pastèque	Goutte à goutte	15 jours durant le premier stade végétatif (2 enquêtes)	-Développement des racines pour assurer leur fixation dans le sol
		10 jours durant le premier stade végétatif	
		10 à 15 jours durant le premier stade végétatif	
Tomate	Goutte à goutte	10 à 15 jours à la fin du premier stade végétatif	-Fixation et développement des racines
		20 jours au début du cycle végétatif	-Pour éviter l'asphyxie des racines
		20 jours au début du stade végétatif	- Développement de la partie foliaire
		Une semaine au premier stade végétatif	

Chapitre 4. Résultats et discussion

Melon	Goutte à goutte	Une semaine à la fin du deuxième stade végétatif	-Développent racinaire -L'amélioration du fruit
Courgette	Goutte à goutte	15 jours au 1 ^{er} stade végétatif après le binage Une semaine au premier stade végétatif	- Développement de la partie foliaire - Développement de la partie racinaire - Réduction de l'utilisation des produits phytosanitaire
Oignon	Aspersion	5 jours à la fin du premier stade végétatif	-Développement des racines -Améliorer les rendements quantitativement
		5 jours au début du premier stade végétatif	
Laitue	Aspersion	10 jours au début du premier stade végétatif	-Développement et fixation de la partie racinaire -Développement de la partie foliaire -Faciliter les travaux culturaux
		15 jours durant le premier stade végétatif	
Poirier	Goutte à goutte	10 à 15 jours à la fin du deuxième stade végétatif	-Amélioration de la qualité du des fruits
Pêche	Goutte à goutte	10 jours à la fin du deuxième stade végétatif	-Amélioration de la qualité des fruits

2.2. Caractérisation du sol de la parcelle

2.2.1. Résultats des analyses physiques

2.2.1.1. Granulométrie

Les résultats de l'analyse granulométriques à différentes profondeurs sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 2. Distribution granulométrique de la parcelle

	Premier horizon (0-20 cm)	Deuxième horizon (20-40cm)
Argile	55%	53%
Limon	34%	38%
Sable	11%	09%

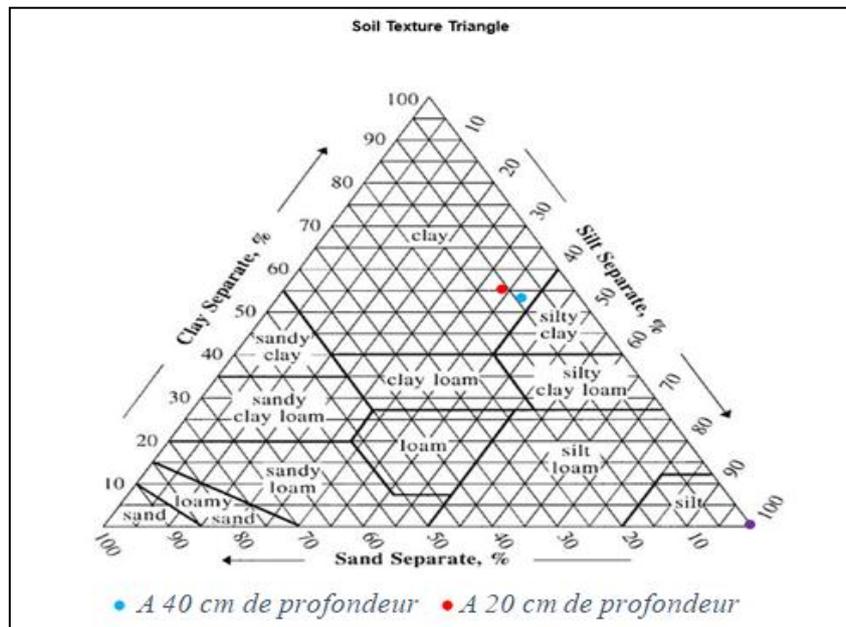


Figure 1. Triangle de texture

Les résultats de l'analyse granulométrique, montrent que le site d'étude enregistre de faibles variations des teneurs en sable entre 9 et 11 %, en limon entre 34-38 % et en argile entre 53-55 %.

La proportion en argile est la plus importante dans tous les niveaux de mesure. Selon le triangle de texture le sol a une **texture argilo-limoneuse**

2.2.1.2. Densité apparente (Da) et porosité

Les résultats obtenus pour les deux horizons sont portés dans le tableau suivant :

Tableau 3. La densité apparente et de porosité

Point d'échantillonnage	0 – 20 cm		20 – 40 cm	
	Da (g/cm^3)	Porosité %	Da (g/cm^3)	Porosité %
A	1.75	33.96	1.78	32.83
B	1.68	36.7	1.72	35.1
C	1.69	36.22	1.73	34.71
Moyenne	1.70	35.62	1.74	34.21

Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre précédent, la densité réelle égale à 2.65.

Pour l'ensemble des mesures réalisées au niveau des trois sites et à deux profondeurs différentes, la densité varie légèrement ; ses valeurs sont comprises entre 1.68% et 1.78%.

Ces valeurs de densité apparente sont dues à l'abondance des particules argileuses fines qui compactent et densifient le matériau (Duchauffour, 1977). Ce qui caractérise le sol de notre parcelle d'étude avec une dominance de texture argileuse.

Les valeurs de la porosité dans les différents points sont comprises entre 32% et 36%. D'après les normes d'interprétation de la porosité (Mémento de l'Agronome, 1993) représentées dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, les sols de ces sites présentent en général **une mauvaise porosité**.

Il est à noter qu'un horizon à faible porosité sera un horizon ayant une résistance mécanique plus importante à la pénétration des racines et il aura également un coefficient de perméabilité à l'eau nettement inférieur par rapport à un sol à porosité plus élevée.

2.2.1.3. Teneur en eau gravimétrique

Les résultats de la teneur en eau du sol dans les trois points d'échantillonnage sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 4. Teneurs en eau à 20 et 40 cm de profondeur

Point d'échantillonnage	Profondeur (cm)	W (%)
A	20	14,68
	40	18,6

B	20	10,63
	40	16,55
C	20	13,28
	40	17,43

Les taux d'humidité sont plus élevés à 40cm de profondeur (entre 16.55% et 18.6 %) qu'à 20cm de profondeur (entre 10.63% et 14.68%).

2.2.2. Résultat des analyses chimiques

2.2.2.1. pH et conductivité électrique

Tableau 5. Statistiques générales des caractéristiques du pH et de la CE

Variable	Profondeur	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Variance	Ecart-type
pH_{eau}	20 cm	6	7.12	7.96	7.57	0.13	0.36
	40 cm	6	8.1	8.2	8.15	0.002	0.044
pH_{KCL}	20 cm	6	7.4	7.44	7.41	0.002	0.016
	40cm	6	7.4	7.43	7.41	0.0001	0.010
CE (1/5) ds/m à 26 °C	20 cm	6	0.226	0.346	0.319	0.0012	0.035
	40 cm	6	0.31	0.346	0.33	0.0002	0.016

Les statistiques des caractéristiques du pH et de la CE (Tableau 5) indiquent la prédominance de sol à **pH légèrement alcalin**.

La conductivité électrique des sols pour la profondeur de 20 cm varie entre 0,22 et 0,34 ds/m de l'extrait dilué 1/5. Pour la profondeur de 40 cm elle varie entre 0,31 et 0.34ds/m de l'extrait dilué 1/5. La moyenne de la CE est comprise entre 0.319 à 0,33 ds/m, avec des écart-type très faibles. Donc ces valeurs de conductivité électrique ont un effet négligeable sur le rendement des cultures (**sol non salé**).

2.2.2.2. Matière organique

L'analyse des résultats de la matière organique montre que le sol présente **une teneur pauvre en matière organique** (Tableau 6).

Tableau 6. La matière organique

Point d'échantillonnage	Profondeur	MO %
A	20 cm	1.05
	40 cm	1.12
B	20 cm	1.22
	40 cm	0.98

2.3. Calcul des besoins en eau des cultures et des besoins en eau d'irrigation

2.3.1. Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique

Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique on procède au Test de Wilcoxon qui a restitué les résultats suivants :

Tableau 7. Test d'homogénéité de Wilcoxon

Rang	Série P (mm)	Série X (mm)	Séries-Y (mm)	TRI(mm)	X union Y
1	275	275	403	543.9	Y
2	317.2	317.2	249.9	478.9	Y
3	278	278	251.6	460	Y
4	321.1	321.1	325.7	455.3	Y
5	363.3	363.3	338	441	X
6	261.3	261.3	394.7	440.2	Y
7	188.5	188.5	319	403	Y
8	441	441	395.9	395.9	Y
9	140.1	140.1	543.9	394.7	Y
10	223.8	223.8	440.2	363.3	X
11	291.3	291.3	460	351.4	Y
12	176.6	176.6	478.9	338	Y
13	403		455.3	325.7	Y
14	249.9		351.4	321.1	X
15	251.6		292	319	Y
16	325.7			317.2	X
17	338			292	Y

18	394.7	291.3	X
19	319	278	X
20	395.9	275	X
21	543.9	261.3	X
22	440.2	251.6	Y
23	460	249.9	Y
24	478.9	223.8	X
25	455.3	188.5	X
26	351.4	176.6	X
27	292	140.1	X

On obtient : $W_y = 153$; $W_{\min} = 152.44$; $W_{\max} = 183.56$

La condition de Wilcoxon est vérifiée $W_{\min} < W_y < W_{\max}$ donc la série des précipitations moyennes annuelle de la station de Harazza est homogène à un seuil de $(1-\alpha)$ avec $\alpha=0.05$

2.3.2. Ajustement statistique des pluies

2.3.2.1. Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss

Nous avons utilisé le logiciel HYFRAN, les résultats obtenus sont portés dans le tableau suivant :

Tableau 8. Ajustement à la loi de Gauss

T = 1/q	q = F(X) (probabilité au non-dépassement)			
P. Retour	Fréquence	Quantile	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)
10	0.9000	460	26.1	409 – 511
5	0.8000	416	22.4	372 – 460
2	0.5000	332	19.2	295 – 370
1.25	0.2000	249	22.4	205 – 293

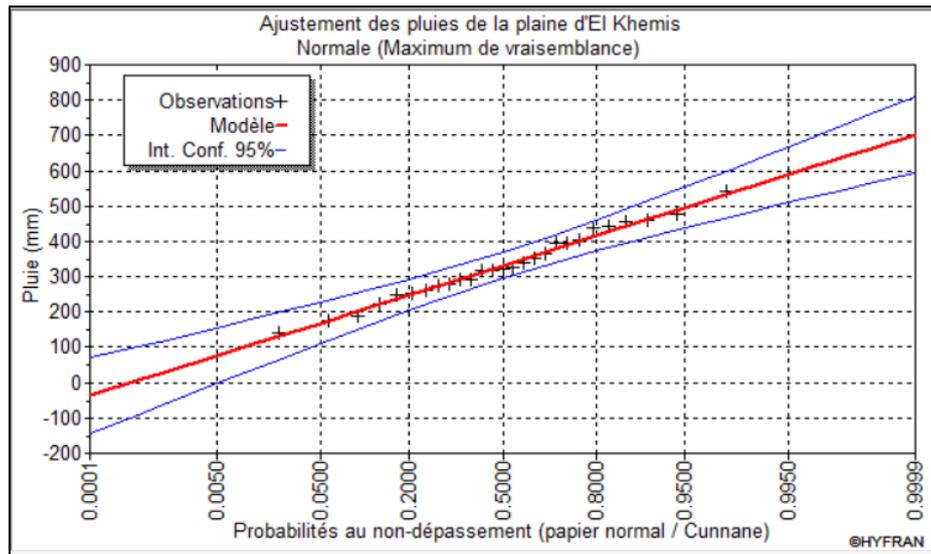


Figure 2. Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss.

2.3.2.2. Ajustement des pluies annuelles à la loi de Galton

➤ Ajustement des pluies annuelles à la loi de Galton :

Tableau 9. Ajustement à la loi log normale.

$T = 1/q$	$q = F(X)$ (probabilité au non-dépassement)				
P. Retour	Fréquence	Quantile	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	de
10	0.9000	481	40.8	400 – 561	
5	0.8000	417	30.4	357 – 476	
2	0.5000	317	19.8	278 – 356	
1.25	0.2000	241	17.6	207 – 276	

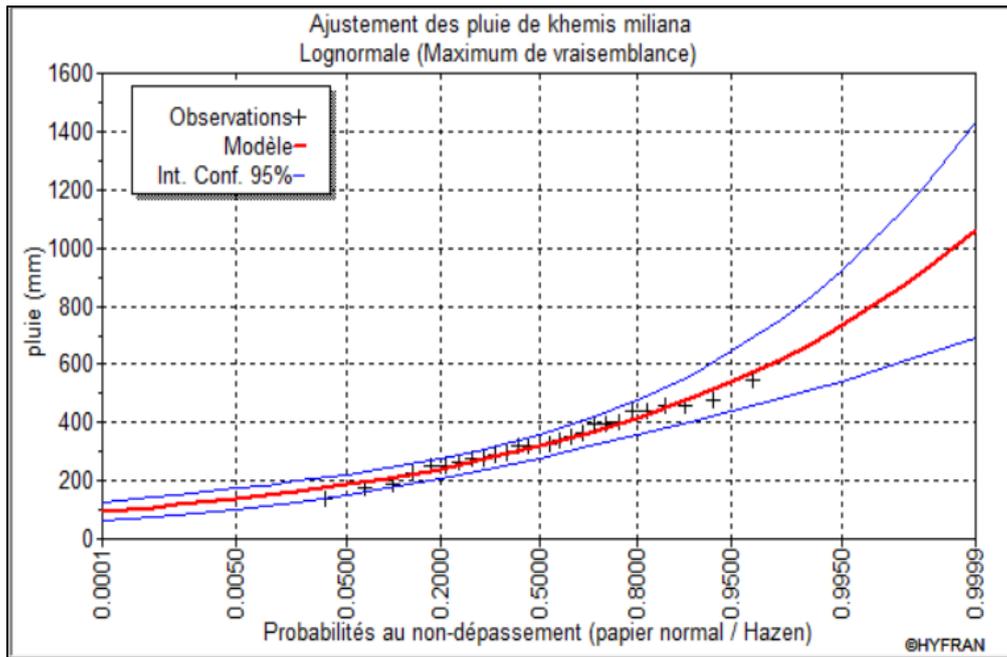


Figure 3. Ajustement des pluies annuelles à la loi log-Normale

2.3.2.3. Test de validité de l’ajustement à la loi choisie

Pour le calcul nous avons utilisé le logiciel HYFRAN

Tableau 10. Test de validité des deux ajustements

Loi normale	Loi log normale
$\chi^2_{calculé} = 2.81$	$\chi^2_{calculé} = 0.74$
Degré de liberté $\gamma = 4$.	Degré de liberté $\gamma = 4$.
$\chi^2_{théorique} = 9.488$	$\chi^2_{théorique} = 9.488$

D’après le test de Khi carré, on déduit que la loi log-Normale s’ajuste mieux aux pluies annuelles par rapport à la loi log normale ($\chi^2_{calculé} < \chi^2_{théorique}$).

2.3.2.4. Détermination de l’année de calcul

Puisque la loi log-normale est la plus adéquate, on l’a utilisé pour l’estimation de la pluviométrie moyenne mensuelle représentative de la région. On déduit les résultats suivants :

$$P_{théorique\ 80\%} = 250\text{mm.} \quad P_{théorique\ 50\%} = 300\text{mm.}$$

Les pluies mensuelles utilisées pour le calcul et pour le dimensionnement du réseau d’irrigation sont présentées comme suit :

Tableau 11. Précipitation moyenne mensuelle de l'année de calcul

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Pmoy 80% (mm)	19.19	22.49	37.79	36.81	34.99	34.72	34.46	28.32	13.49	7.9	1.86	4.49

2.3.2.5. Calcul des besoins en eaux des cultures

L'évapotranspiration de référence ET_0 a été calculée à l'aide du logiciel **CROPWAT V.8**

Tableau 12. Evapotranspiration de référence

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
ET0 (mm/mois)	70,99	52,08	32,1	21,08	21	30,69	45,6	61,07	74,4	91,45	95,7	98,27

Mois	P moy (mm)	pluie eff	ET0	KC	ETM	RFU réelle	Besoin net	Besoin Brute
septembre	23,03	15.35	68,7					
octobre	27	17.99	52,08					
novembre	45,36	30.23	32,1					
décembre	44,18	29.45	21,08					
Janvier	41,99	27.99	23,25					
Février	41,67	27.77	28,71					
Mars	41,36	27.57	47,12					
Avril	33,996	22.66	59,1					
Mai	16,79	11.19	76,88		0.00		0.00	0.00
Juin	9,4815	6.32	88,5	0,5	44.25	9.82	37,93	39,93
Juillet	2,233	1.48	98,89	1	98,89	19.64	87.58	92.19
Août	5,396	3.59	70,99	0,8	56.79	29.47	33.55	35.32

2.1.1.1. Dimensionnement du réseau goutte à goutte à la parcelle (Calcul hydraulique)

Tableau IV.26 : Calcul hydraulique du réseau

Indice	Valeur
Besoin de mois de point	92.19 mm
Les besoins journaliers	$B_j=2.97$ mm/j
Kr coefficient de réduction	$K_r=0.8$
Besoin journalier en tenant compte de la réduction Kr	$B_j=2.37$ mm/j
Pourcentage du sol humidifié	$P= 14\%$
Fr : la fréquence d'arrosage	$Fr= 5.30$ jours donc on prend $Fr= 5$ jours
Dp : la dose nette	$D_p= 13.33$ mm
La dose réelle	$D_r=11.91$ mm
La dose brute	$D_b= 13.91$ mm
Durée d'arrosage par mois	$\Theta=9$ h/mois
Durée d'arrosage journalier	$D_j= 2$ h/ jour
Le nombre de plantes par rampe	25 plantes
Nombre de goutteurs par rampe	$N_g=50$ goutteurs
Le nombre de rampes	$N_r=13$ rampes
Débit de la rampe	100L/h
Perte de charge dans la rampe	1.44 m
Diamètre de la rampe	$D_n= 16$ mm
Perte de charge dans la porte rampe	0.72m
Débit de la porte rampe	$Q_{pr}=1300$ l/h
Diamètre de la porte rampe	$D_n=20$ mm

2.4. Suivi de l'état hydrique du sol

2.4.1. Par sondes Watermark

Chapitre 4. Résultats et discussion

La date	Tension à 25 cm de profondeur	Tension à 50 cm de profondeur
23-juin	0	0
25-juin	0	0
27-juin	0	0
29-juin	0	0
01-juil	8	6
02-juil	13	11
05-juil	16	13
06-juil	22	13
07-juil	27	14
09-juil	38	14
10-juil	43	14
11-juil	67	15
13-juil	85	16
15-juil	102	16
17-juil	155	19
18-juil	170	19
20-juil	16	8

Tableau 30 : Evolution de la tension du sol en fonction de la température

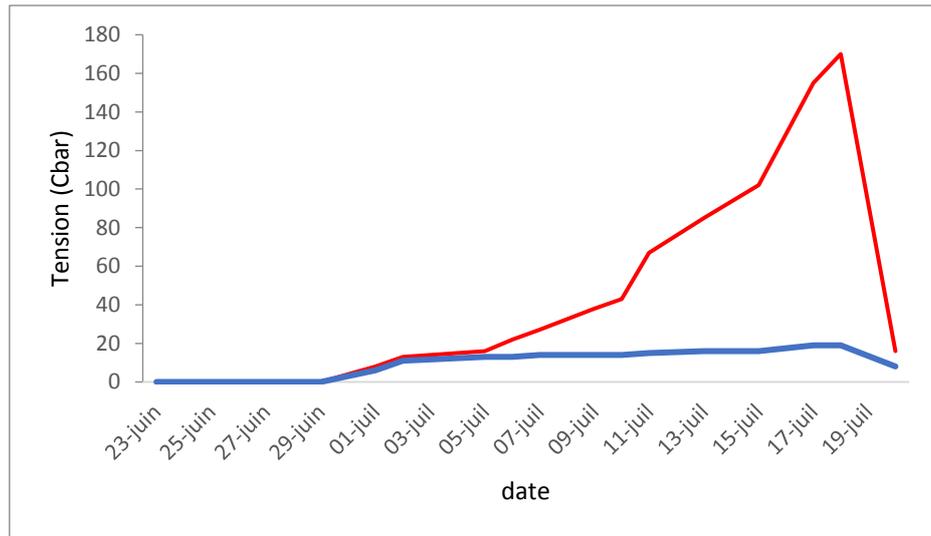


Figure 4. Evolution de la tension du sol à 30 et 60 cm de profondeur par les sondes Watermark durant la période du stress hydrique

On remarque que la tension enregistrée au niveau des tensiomètres placés à 25 et à 50 cm de profondeur, est nulle durant les quatre premiers jours avant de commencer à augmenter car le sol est saturé.

Avant la deuxième irrigation, au niveau du tensiomètre placé à 25 cm de profondeur, on remarque que la tension augmente, passant de 0 centibar à 16 centibars. Et pour le tensiomètre placé à 50 cm de profondeur, la tension passe de 0 centibar à 13 centibars.

Après la deuxième irrigation, on remarque qu'il y a une hausse de tension au niveau des deux tensiomètres, ceci explique l'utilisation accrue de l'eau par les plantes et la forte évapotranspiration qui due à une augmentation excessive de la chaleur.

Durant **la période du stress hydrique**, la tension augmente au niveau de la sonde placée à 25 cm de profondeur pour atteindre sa **valeur maximale (170 centibars)** le 18 juillet 2019 et pour la sonde placée à 50 cm de profondeur la valeur de pression enregistrée a atteint 19 centibars durant le même jour. Ceci explique la faible teneur en eau du sol qui due à sa consommation par les plantes d'une part et des pertes d'eau (évapotranspiration) d'une autre part.

Après la deuxième irrigation qui a été déroulée le 18 juillet 2019, on remarque que la tension a abaissée au niveau des deux tensiomètres. La tension passe de 170 centibars à 11 centibars pour le tensiomètre placé à 25 cm de profondeurs. Elle passe de 19 centibars à 8 centibars pour le tensiomètre placé à 50 cm de profondeur.

L'humidité varie beaucoup plus en surface, comme le montre le graphe. En effet, dans cette zone les effets couplés des paramètres climatiques (évaporation directe du sol en plus de l'eau par la culture, apport d'eau par irrigation et pluie) se font sentir davantage.

➤ **Mesure complémentaire :**

La date	w %
15-juin	18
23-juin	35,22
01-juil	30,58
09-juil	23,13
11-juil	11,05
18-juil	8,79
19-juil	23,57
20-juil	32,54

Tableau 32. Evolution de l'humidité gravimétrique du sol

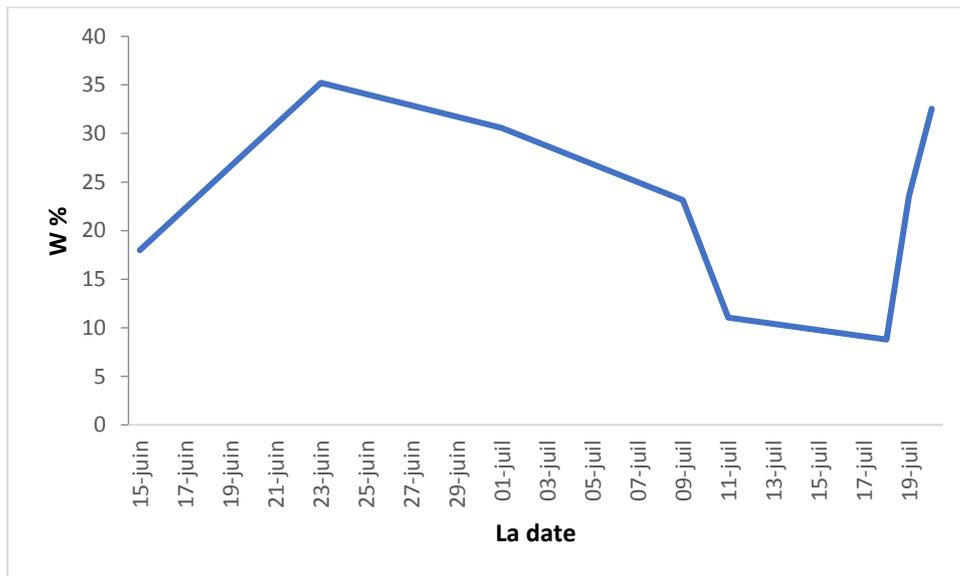


Figure 23. Evolution de l'humidité gravimétrique du sol

Si on compare le graphe de l'humidité gravimétrique du sol avec celui de la sonde watermark à 25 cm de profondeur, on observe que l'augmentation de la succion du sol est accompagnée avec une diminution de l'humidité (du sol).

Ce qui confirme que les valeurs obtenues par les sondes sont fiables.

2.4.2. Par TDR

Les résultats de chaque carré sont montrés sur les graphes qui suivent :

➤ **Témoin**

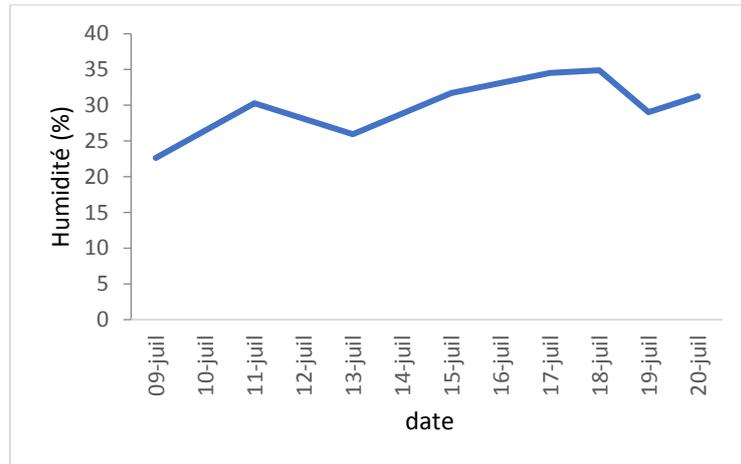


Figure 5. Evolution de l'humidité du sol par TDR (Carré témoin)

L'humidité du sol en fonction de l'irrigation et de la température de sol, comme le montre le graphe où elle augmente après chaque irrigation et diminue par la suite sous l'effet de la chaleur et de l'évaporation des couches superficielles.

➤ **Stress hydrique**

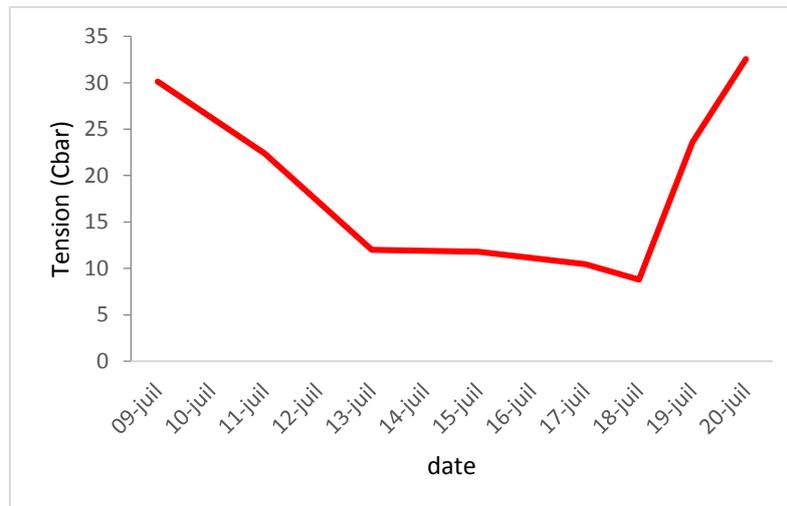


Figure 6. Evolution de l'humidité du sol par TDR (carré stress hydrique)

Le graphe montre que la teneur en eau chute au cours de la période qui s'étale du 09 au 18 juillet. Ceci est dû à l'absence de toute source d'eau (période de stress hydrique), aux effets d'évaporation du sol et de l'absorption de l'eau par les racines qui devient de plus en plus intense.

D'après les résultats obtenus par TDR, on remarque que la chute de l'humidité est en parallèle avec l'augmentation de température (32 °C)

A partir du 19 juillet, le sol a reçu un apport d'eau important de l'irrigation et des précipitations (averse du 20 juillet), ce qui provoque l'augmentation de l'humidité du sol passant par 8.79% jusqu'à 32.54% (C'est la valeur la plus élevée)

➤ Biostimulant avec stress hydrique

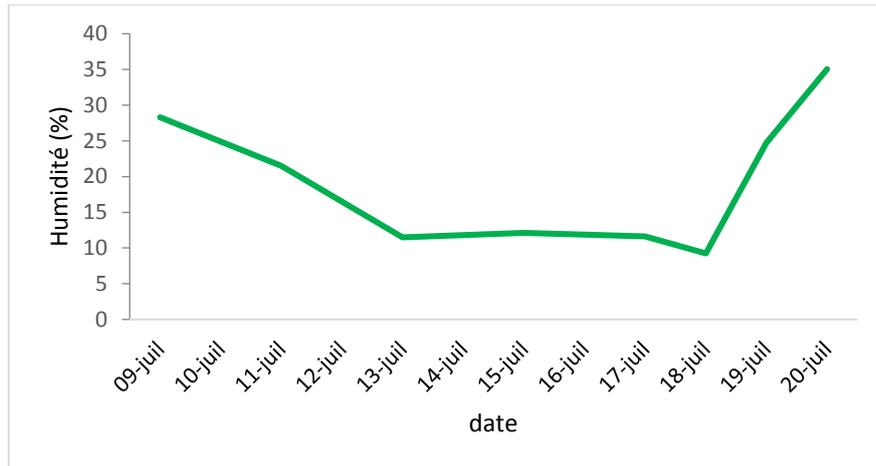


Figure 7. Evolution de l'humidité du sol par TDR (Carré Biostimulant + stress hydrique)

La teneur en eau du sol au niveau de ce carré, varie d'une manière similaire à celle du stress hydrique. Elle passe de 28.32% à 9.25% durant la période du stress hydrique. Après la deuxième irrigation (19 juillet 2019), la teneur en eau a atteint 35.04%.

➤ Biostimulant sans stress

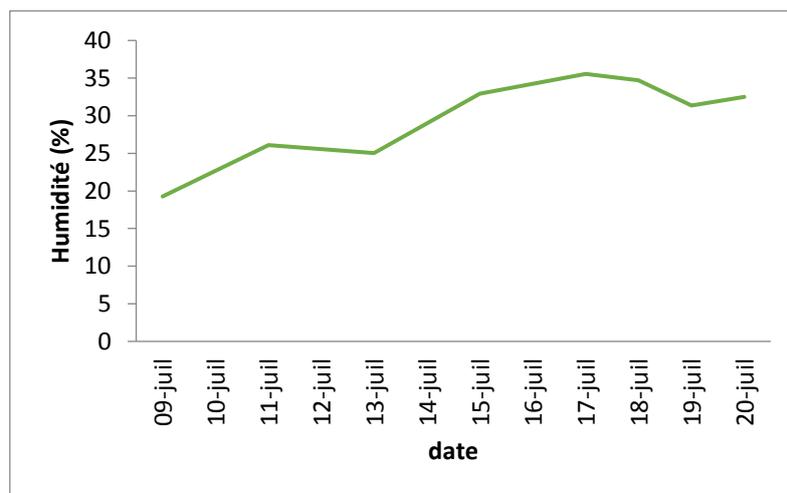


Figure 8. Evolution de l'humidité du sol par TDR (Carré Biostimulant)

L'humidité dans ce carré varie de la même manière que celle du témoin, car les deux carrés sont irrigués en même temps. Elle augmente après chaque irrigation et diminue en fonction de l'augmentation de la température.

2.5. Evolution de la croissance végétative

Les résultats finaux de l'évolution des paramètres étudiés pour les quatre cas durant la période qui s'étale du 06 juillet jusqu'à le 23 juillet sont portés dans les tableaux suivant :

Tableau 33. Evolution de la longueur (Rameau + Feuille) en cm

Date	06-juil	11-juil	13-juil	15-juil	17-juin	20-juil	23-juil
Témoin	21	33	36	48	55	55	68
Stress hydrique	22	33	37	42	45	49	75
Biostimulant	19	29	35	38	39	45	64
Biostimulant +Stress hydrique	23	35	39	46	47	50	57

D'après les résultats obtenus on remarque que la longueur (Rameau + Feuille) présente :

- Une augmentation progressive dans le carré témoin atteignant 68cm comme valeur maximale et une lente augmentation au niveau du carré biostimulant + stress hydrique. La plus faible valeur obtenue est de 57 cm

-Pour le carré (biostimulant), on remarque que la longueur augmente rapidement au début et à la fin où elle a atteint 68 cm.

-Pour le carré (stress hydrique), on voit que la longueur est très faible du 06 au 20 juillet, puis elle augmente très rapidement jusqu'à atteindre 75 cm. Si on compare cette valeur avec les valeurs maximales au niveau de chaque carré, on trouve que c'est la plus haute.

Tableau 34. Evolution du nombre de feuilles par plant

Date	06-juil	11-juil	13-juil	15-juil	17-juil	20-juin	23-juil
Carré Témoin	4	7	9	11	13	13	16

Carré Stress hydrique	4	8	10	13	13	14	20
Carré Biostimulant + Stress hydrique	6	9	10	11	11	13	15
Carré Biostimulant sans Stress	6	8	10	13	13	13	20

Le Tableau montre que :

- pour le carré témoin, il existe une augmentation progressive suivie d'une stabilisation du nombre des feuilles par plant puis une accélération jusqu'à la valeur maximale 16 ;
- Le nombre des feuilles par plant où on a appliqué le stress hydrique et ajouté le biostimulant est le plus faible, dont la valeur maximale atteinte est 15 feuilles/plant
- la valeur maximale atteinte au niveau du carré du stress hydrique et le carré du biostimulant est la même (20 feuilles/plant).

Tableau 35. Evolution de la longueur d'enracinement des cultures

Date	06-juil	13-juil	20-juil	23-juil
Témoin	6,3	19	25,2	28
Stress Hydrique	7,4	13,6	28	31
Biostimulant +Stress Hydrique	8	11,7	26	29
Biostimulant	9	16,6	26	28

Le suivi réalisé jusqu'au 23 juillet montre que la longueur d'enracinement maximale existe au niveau des cultures stressées.

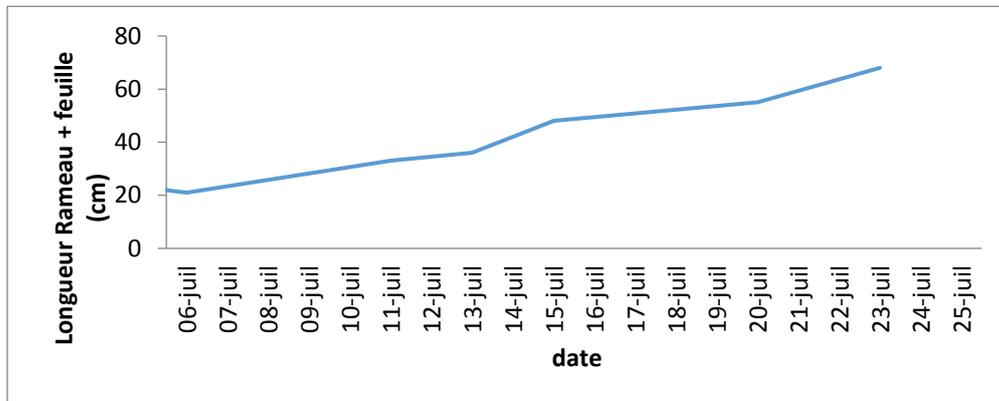


Figure 9. Evolution de longueur (Rameau + Feuille) (carré témoin)

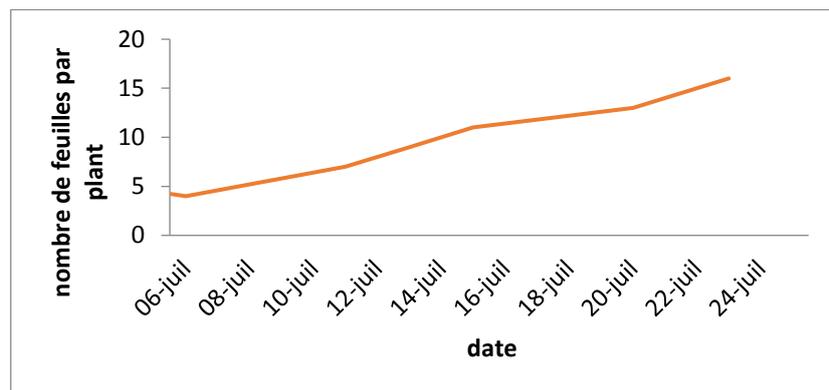


Figure 10. Evolution du nombre de feuilles par plant (carré témoin)

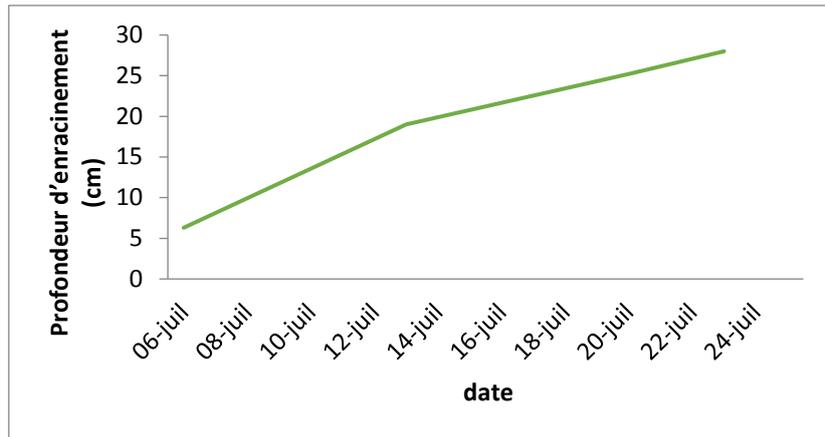


Figure 11. Evolution de la profondeur d'enracinement (carré témoin)

Les graphes montrent l'évolution des paramètres de croissances végétative étudiés. Dans chaque cas le paramètre étudié s'augmente progressivement en fonction de l'irrigation.

➤ **Stress hydrique**

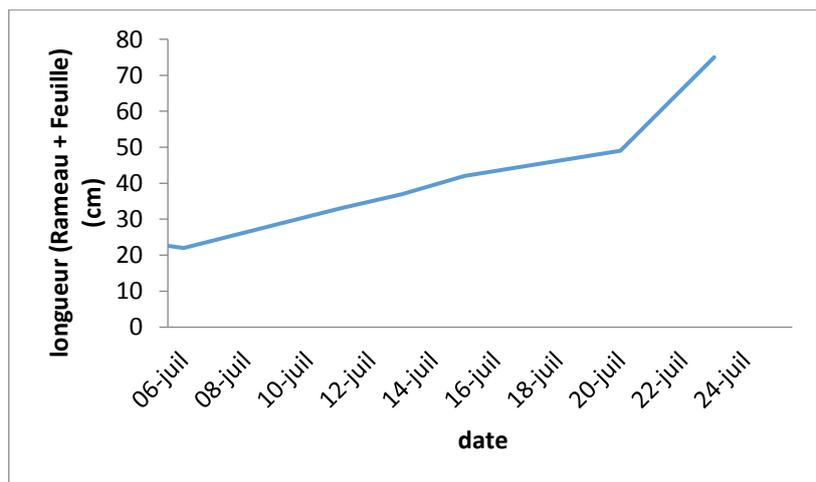


Figure 12. Evolution de longueur (Rameau + Feuille) (carré stress hydrique)

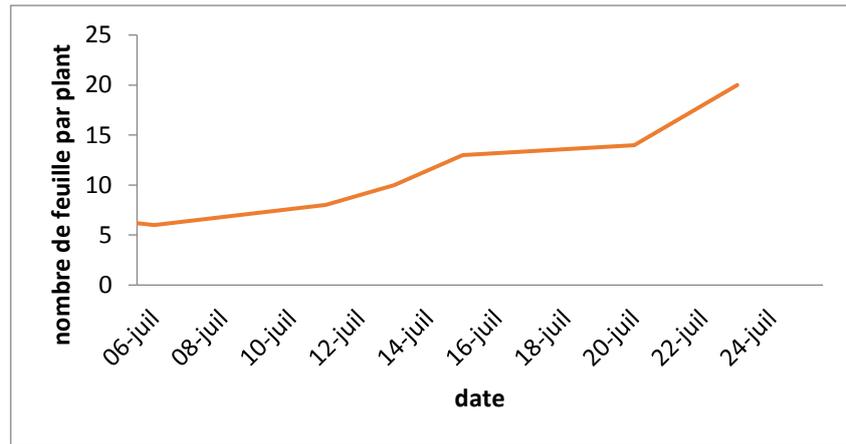


Figure 13. Evolution du nombre de feuille par plant (carré stress hydrique)

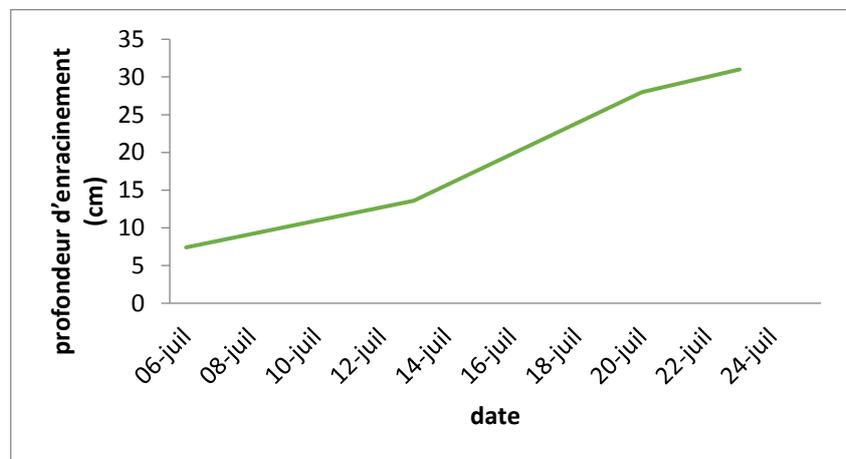


Figure 14. Evolution de la profondeur d'enracinement (carré stress hydrique)

- La faible longueur (Rameau + Feuille) du 06 jusqu'à le 20 juillet est due à l'absence du facteur eau dans le sol (Période du stress hydrique). Après la première irrigation qui suit le stress hydrique de 3 jours, on observe que la longueur et le nombre des feuilles ont augmenté très rapidement, ceci est dû à l'extraction et l'utilisation des apports d'eau d'irrigation par les plantes.

- L'absence d'eau dans le sol durant 12 jours a favorisé le développement des racines pour qu'elles puissent extraire l'eau.

➤ Biostimulant

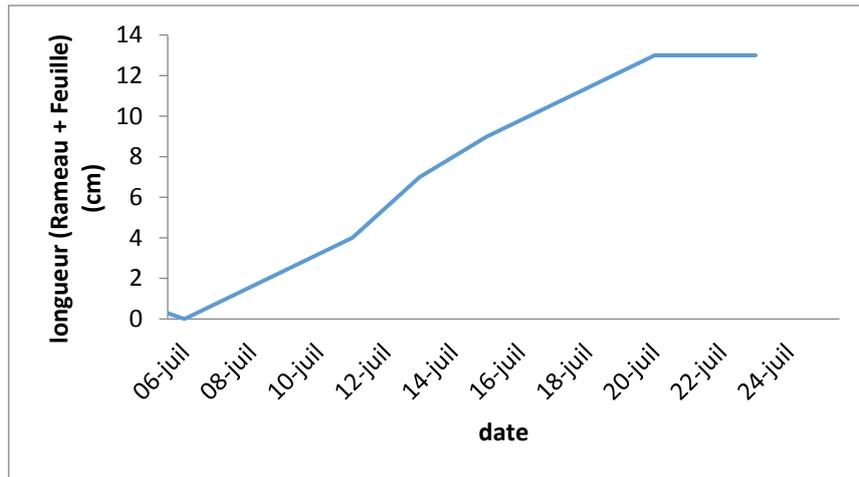


Figure 15. Evolution de longueur (Rameau + Feuille) (carré biostimulant)

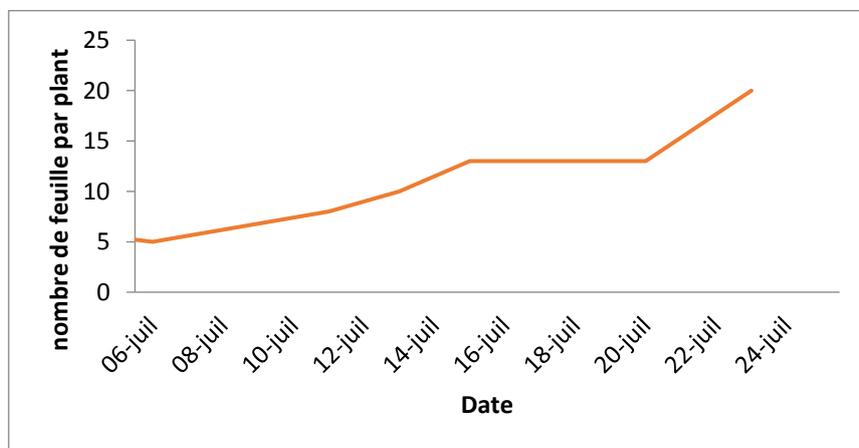


Figure 16. Evolution du nombre de feuille par plant (carré biostimulant)

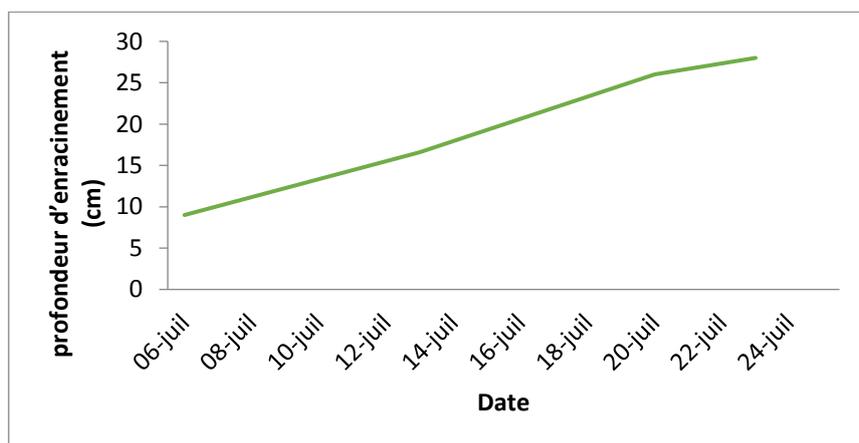


Figure 17. Evolution de profondeur d'enracinement (carré biostimulant)

- L'application du biostimulant sur la partie foliaire a favorisé le développement de cette dernière comme le montrent les deux premiers graphes.

- L'effet des deux doses du biostimulant est très clair alors qu'après chaque dose la courbe monte très rapidement ce qui reflète l'évolution de la longueur et le nombre des feuilles par plant
- La courbe de la longueur racinaire montre que les racines se développent progressivement ceci est dû à l'existence d'eau dans le sol, de manière que la plante utilise l'eau qui est à proximité de leurs racines, elle n'a pas besoin de les développer.

➤ Biostimulant + stress hydrique

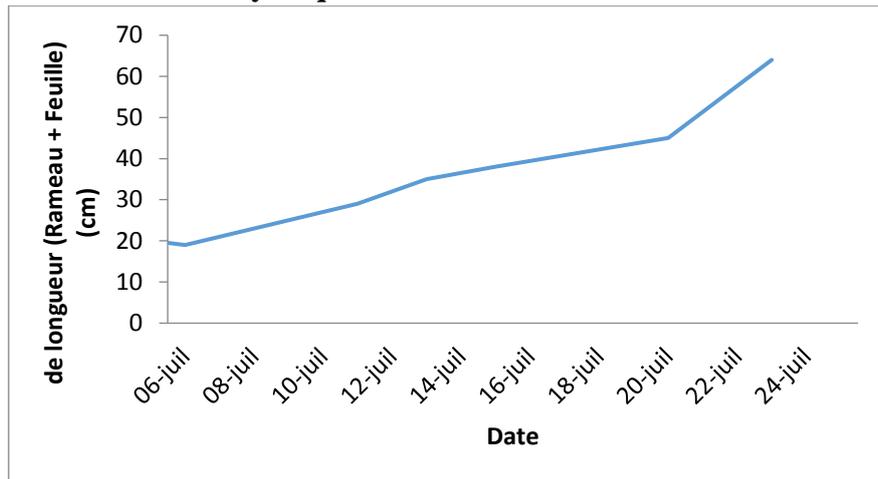


Figure 18. Evolution de longueur (Rameau + Feuille) (carré biostimulant + stress hydrique)

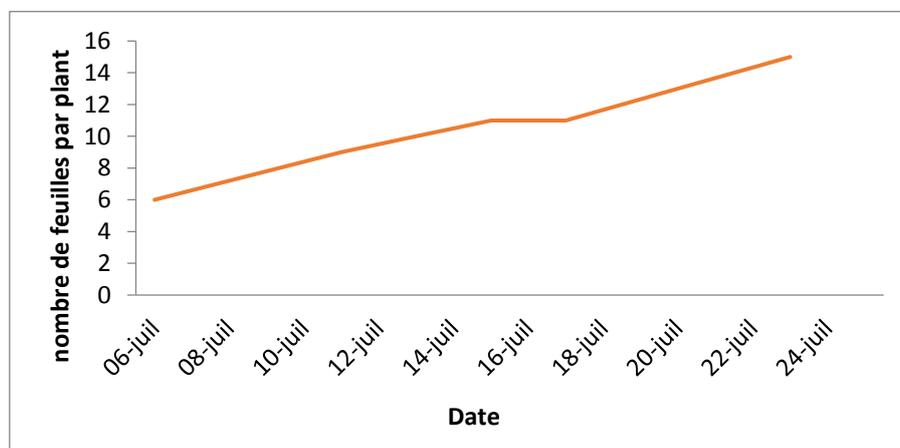


Figure 19. Evolution du nombre de feuilles par plant (carré biostimulant + stress hydrique)

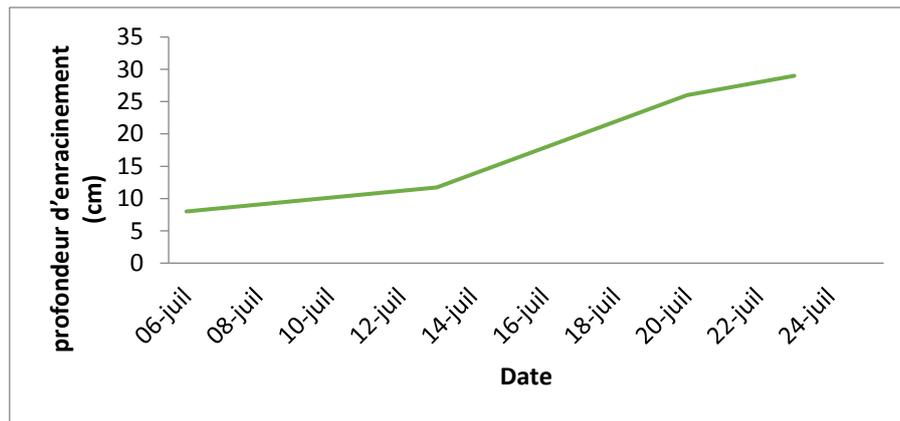


Figure 20. Evolution de la profondeur d'enracinement (carré biostimulant + stress hydrique)

- Durant la période où nous avons appliqué le stress hydrique et le biostimulant, on observe que l'évolution de la longueur des feuilles et leur nombre par plant est lente et après le déclenchement de l'irrigation elle monte rapidement mais par rapport aux autres cas la valeur atteinte est la plus faible. On constate donc que lors de l'application du stress on doit éviter d'utiliser le biostimulant et inversement.

- Pour les racines on observe que le stress hydrique a clairement favorisé leur développement et ce dès la première irrigation.

3.6. Evolution du nombre des fleurs par plan

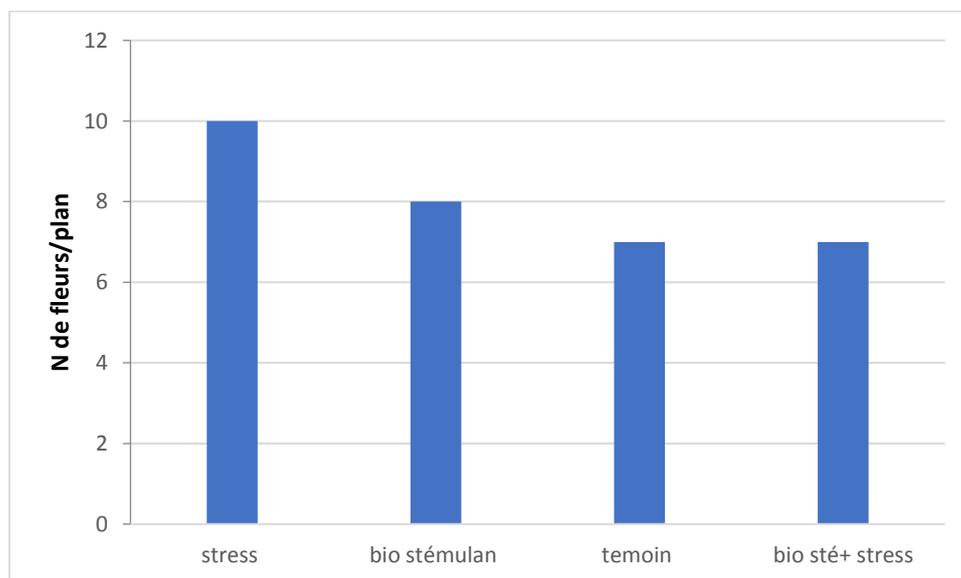


Figure 41. Evolution du nombre des fleurs/plant

- On remarque que le nombre des fleurs par plant qui reflète par la suite le rendement est plus élevé sur le carré du stress hydrique (10 fleurs par plant).
- Pour le carré du biofertilisant le nombre des fleurs atteint 8 fleurs par plant
- La valeur minimale du nombre de fleurs par plant (sept fleurs) est enregistré dans les deux carrés qui restent (témoin et biofertilisant + stress).

Ces valeurs sont enregistrées après l'arrêt du stress hydrique par trois (03) jours.

3.7. Contrôle visuel :

A partir du 13 juillet, nous avons remarqué une modification morphologique au niveau des feuilles de certaines cultures. Nous avons également remarqué la propagation des petits insectes surtout sur le carré témoin et les deux autres carrés où on a appliqué le biofertilisant.



Photo 12. Apparition des maladies

Après avoir examiné les feuilles, on a découvert que les cultures sont touchées par les pucerons.

Un puceron est un petit insecte parasite, qui s'accroche aux ramures ou feuillages des plantes pour en prélever la sève, ce qui peut provoquer la mort de la plante sur laquelle il est installé, notamment si la colonie de pucerons est importante.

Pour réduire la propagation de cette maladie, le 18 juillet 2019, nous avons utilisé un insecticide systémique polyvalent (Mospilan 20 sp) , S'applique en pulvérisation foliaire avec une dose de 10 à 12.5 l/ha.

Conclusion Générale

Au terme de ce travail mené sur l'étude et l'utilisation du stress hydrique induit par les agriculteurs dans la plaine du Haut Cheliff, le but de notre travail est d'étudier d'une manière plus détaillée la conception (mécanismes et impacts) de la pratique de stress hydrique comme une pratique agroécologique.

D'après les enquêtes que nous avons réalisées où nous sommes approchés à des agriculteurs (25 agriculteurs), afin de collecter les informations nécessaires pour répondre à notre objectif au travers l'utilisation de la pratique de stress hydrique.

Nous avons choisi la culture de courgette, afin de suivre sur terrain l'évolution de la rétention en eau des sols de la culture à l'aide des sondes watermark (sonde à 25cm et 50cm de profondeur), et la sonde TDR (25 positions in situ à chaque relever).

Les analyses du sol nous a permis de déterminer la texture des sols étudiés, qui est argileux limoneuse (A55%, L34%, S11%), et les valeurs de ses caractéristiques physico-chimiques tels que la densité apparente (1,7), conductivité électrique (CE= 0.34 ds), matière organique (1.22 %), la teneur en eau (14.68%), pH (7.5).

A l'issue de notre travail sur l'influence de la plante pour les quatre carrés (l'application de stress hydrique, sans stress hydrique, l'ajout de biofertilisant, stress hydrique et biofertilisant) sur le développement de la courgette nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- la plante végète d'une manière spectaculaire après l'application de stress.
- la croissance rapide de la plante après le stress hydrique compense.
- influence significative a été observée sur le rendement des fruits en comparaison avec une irrigation de confort et l'utilisation de biostimulant.
- Notre parcelle d'étude est affectée par la maladie de Puceron dans la parcelle où nous n'avons pas appliqué le stress, d'où la pratique de stress réduit l'apparition et la propagation des maladies
- L'application de stress hydrique, selon les critères définis pour cette expérimentation (L'arrêt d'irrigation pour 12 jours après le binage et seuil de potentiel à -177 cba) a permis de réaliser une économie d'eau de 30% par rapport à une irrigation de confort appliquée durant toute la saison.

Conclusion Générale

Un stress hydrique exagéré peut situer la plante dans une situation irréversible (point de flétrissement atteint). Une attention par observation est capitale pour les agriculteurs qui doivent surveiller leurs cultures et décider la reprise de l'irrigation avant l'irréversibilité.

Le maintien d'un niveau modéré de stress hydrique dans un verger peut être un outil efficace pour économiser de l'eau et diminuer l'utilisation des engrais (réduire la pollution des eaux souterraines).

Par conséquent on peut dire que le stress hydrique existe comme pratique agro-écologique.

Références

- ACHOUR F. et BOUZELBOUJEN M., 1998.** Variabilité spatio-temporelle des ressources en eau en région semi-aride : application au bassin du Cheliff, Algérie.
- ANDRE H., 2001.** Introduction à la climatologie. **Ed De Boeck Université ; 540 p**
- BAIZE D., 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie. Ed Lavoisier ; 172 p
- BENALAL S., 2016.** Gestion de l'irrigation par tensiométrie cas du tensiomètre watermark. Thèse de master agronomie ; Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem p 22
- BOULAIN J., 1957.** Étude des sols des plaines du Cheliff. 582 p
- BOULAIN J., 1989.** Histoire des pédologues et de la science du sol. Ed INRA ; 285 p
- CALVET A., 1988.** Etude sur les transferts d'eau dans le système sol-plante-atmosphère. Ed INRA ; Centre de Grignon ; Laboratoire des Sols ; France ; 274 p
- CALVET R., 2003.** Le Sol Propriétés Et Fonctions Tome 1. Ed France Agricole ; 455 p
- CHOL. P. et TRON. G., 2000.** La Tensiométrie pour piloter les irrigations. P 95, 96, 97,100
- CLEMENT M., Paul A. et Jean C., 2007.** Bases techniques de l'irrigation par aspersion. P 455-457.
- DANIEL H., 1984.** L'eau et le sol: principes et processus physiques. Ed Louvain-la-Neuve; 288 p
- DANIEL H., 1998.** Environmental soil physics. Ed Academic press; 771 p
- DHW (2009).** Etude d'inventaire de développement de la PMH
- DHW (2018).** Les barrages en exploitation au niveau de la wilaya
- DILMI A., 2009.** Prédiction des propriétés hydriques des sols d'Algérie par les fonctions de pédotransfert. Diplôme de Magister ; Université d'El Harrach ; Alger
- DSA (2018).** Bilan annuelle agricole dans la wilaya d'Ain Defla ; compagne 2017-2018.
- DUCHAUFOR P., 1984.** Abrégés De Pédologie. Ed Masson ; Paris ; 220 p
- DUCHAUFOR P., 1995.** Abrégé de pédologie : Sol, végétation, environnement. Ed Masson ; 291 p

GAGNARD, J., 1988. L'analyse du sol et du végétal dans la conduite de la fertilisation.

HAMMA Y., 2004. Relation Eau-Sol-Climat.130 p

HENIN S., GRAS R. et MONNIER G., 1969. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Ed Masson ; Paris ; 332 p

JEAN R., 2006. Traité d'irrigation. Ed Lavoisier ; 1262 p

LEGROS J., 2007. Les Grands Sols Du Monde. Ed Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne ; 574 p

MESSAHEL M., 1988. Irrigation au goutte à goutte : Régime d'irrigation. Ed O.P.U ; Alger

ONID (2009). Bilan annuel d'exploitation ; campagne d'irrigation 2009-2010.

OUAMER A., 2010. Thèse de mémoire : Estimation de la rétention en eau des sols de la Mitidja ouest.

POIRE M. et OLLIER C., 1983. Les réseaux d'irrigation théorie : technique et économie des arrosages. Paris ; p 75-80

ROBERT M., 1996. Le Sol : Interface Dans L'environnement : Ressource Pour Le Développement. Ed Masson ; 244 p

TOUAIBIA B., 2004. Manuel pratique d'hydrologie

TOUIL S., 2012. Elaboration et utilisation de fonctions de pedotransfert de prédire les propriétés de la rétention en eau des sols du bas Cheliff. Algérie. Ed Thèse mag ; UHBC. Algérie

Annexe

Annexe 01

Diamètre de conduite PEHD (Groupe CHI ALI)

TABLEAU N° 1 – Diamètre extérieur

Diamètre extérieur nominal d_n (mm)	Diamètre extérieur moyen	
	d_{ext} (mm)	d_{int} (mm)
16	16,0	16,3
20	20,0	20,3
25	25,0	25,3
32	32,0	32,3
40	40,0	40,4
50	50,0	50,4
63	63,0	63,4
75	75,0	75,5
90	90,0	90,6
110	110,0	110,7
125	125,0	125,8
140	140,0	140,9
160	160,0	161,0
180	180,0	181,1
200	200,0	201,2
225	225,0	226,4
250	250,0	251,5
280	280,0	281,7
315	315,0	316,9
355	355,0	357,2
400	400,0	402,4
450	450,0	452,7
500	500,0	503,0
560	560,0	563,4
630	630,0	633,8
710	710,0	716,4
800	800,0	807,2
900	900,0	908,1
1000	1000,0	1009,0
1200	1200,0	1210,8
1400	1400,0	1412,6
1600	1600,0	1614,4

Annexe 2

Caractéristique hydrique des quelque sols

Classe de texture	Humidité % à la capacité au champ	Humidité % au point de flétrissement	Eau utile	Densité apparente	Réservoir utilisable maximal
	HCC	HPF	%	da	U
S	8	3	5	1,35	0,70
SL	12	5	7	1,40	1,00
SA	19	10	9	1,50	1,35
LIS	15	7	8	1,50	1,20
LS	19	9	10	1,45	1,45
LmS	20	9	11	1,45	1,60
LSA	22	11	11	1,50	1,65
LAS	24	12	12	1,45	1,75
LI	17	8	9	1,45	1,30
Lm	23	10	13	1,35	1,75
LA	27	13	14	1,40	1,95
AS	33	22	11	1,55	1,70
A	37	25	12	1,45	1,75
AL	32	19	13	1,40	1,80
Alo	29	18	11	1,50	1,65
Sédimentaire Altération	38	25	13	1,30	1,70

Tableau : Réservoir utilisable maximal d'un horizon selon sa classe de texture, exprimé en mm d'eau par cm d'épaisseur. (Service de cartographie des sols de l'Aisne)

Annexe 3

L'Etat hydrique du sol	Lecture du tensiomètre (KPa)	Interprétation
Sol presque saturé	0 10	Le sol est presque saturé pendant le ou les deux jours qui suivent l'irrigation. Il peut y avoir danger de mauvaise aération du sol, d'une nappe d'eau haute ou de décharge du tensiomètre si la lecture persiste.
Capacité au champ	11 20 30	L'irrigation est interrompue à ces valeurs pour prévenir les pertes par l'infiltration profonde et le lessivage des éléments nutritifs de la zone des racines. Les sol sableux seront à capacité au champ vers 11 KPa et les sols argileux vers 25 à 30 KPa.
Irrigation	30 à 40 50 60	Valeurs habituel pour commencer l'irrigation. Pas de problème d'aération du sol en général l'irrigation commence à de lecture de 30 à 40 kPa dans les sols sableux (sable loameux et loam sableux), de 40 à 50 kPa dans des sols loameux (loam sableux très fin, loam Limoneuse). Et de 50 à 60 KPa dans les sols argileux (loam limono-argileux et argile limoneuse). en commençant l'irrigation à ces valeurs, on maintient la réserve utile à un niveau normal.
Sol sec	70 80	Valeur du stress hydrique. Toutefois, la culture n'est pas nécessairement endommagée ni le rendement compromis. Un peu d'eau est encore facilement utilisable par la plante, mais la réserve facilement utilisable devient changée basse. Valeur maximale qui peut être mesurée par un tensiomètre. Des lectures au-dessus de 80 KPa sont possibles, mais le tensiomètre se déchargera entre 80 et 90 KPa.

Tableau : Interprétation des relevés tensiométriques