



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI, OUM EL BOUAGHI  
FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

N° de série : .....

N° d'ordre: .....

## THESE

Présentée en vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences

Option : Ecologie et Environnement

### THÈME :



*Possibilités d'amélioration de la productivité  
céréalière du blé dur (Triticum durum Desf.) et  
maîtrise hydrique du sol du périmètre mis en valeur  
de F'kirina.*

Présenté par : FELLAH Sihem

Présenté devant le jury :

**\*Président :**

Mr. SENOUSSE M<sup>ed</sup> MORAD      Prof .Université d'Oum-El-Bouaghi

**\*Directeur de la thèse :**

Mr. KHIARI ABDELKADER      Prof .Université d'Oum-El-Bouaghi

**\*Examineurs :**

Mr. BENMAHAMMED AMMAR      Prof .Université de Setif

Mr. HOUHAMDI MOUSSA      Prof .Université de Guelma

Mr. ABABSA LABED      MCA .Université d'Oum-El-Bouaghi

Mr. CHAGRA ALI      MCA .Université d'Annaba

**Année universitaire : 2017/2018**

## **ABSTRACT**

Plant growth and yield of cereal crops are seriously affected in drought-prone environments, hence effective agricultural means are needed. This assay aims to evaluate the beneficial effects of supplemental irrigation at different phenological phases on yield components of two varieties (GTA-Dur and Vitron) of durum wheat under field conditions in semiarid regions of Algeria. Two field experiments were carried out, (i) the first covered two extreme water regime treatments, the first conducted under maximum evapotranspiration (ETM) throughout the growing season whereas as the second was led in rain mode (Pluv), (ii) the second assay, four supplemental irrigation treatments (T1-T4) were applied at the beginning of four phenological phases of wheat growth period: tillering phase, heading, flowering, and grain growth. Yield components were significantly influenced at the beginning of the breeding season, while the components expressed in weights were influenced at the end of the breeding season. Grain yield of the variety Vitron increased by 33.0% at T1, 84.3% at T2, 423.8% at T3, 902.0% at T4, and 1094.7% at ETM. Water use efficiency increased by 45–70% in irrigation treatments compared to rainfed conditions. Complementary irrigation substantially improves the valorization of water by crops in water-limited areas such as north African arid and semiarid lands.

As well, the adequacy between the choice of varieties and the water regime allows for more than double the performance, to increase the efficiency of the use of water and dab their variations. Of even the choice of a regime appropriate water has helped to conserve the water.

**KEY WORDS:** supplementary irrigation ; semi-arid regions; durum wheat ; yield ; water use efficiency; maximum evapotranspiration; potential evapotranspiration .

## RÉSUMÉ

La croissance des plantes et le rendement des céréales sont sérieusement affectés dans les environnements exposés à la sécheresse, d'où la nécessité de se disposer de moyens agricoles efficaces. Cette étude vise à évaluer les effets bénéfiques de l'irrigation de complément à différentes phases phénologiques sur les composantes du rendement de deux variétés (GTA-Dur et Vitron) de blé dur sur le terrain dans des régions semi-arides de l'Algérie. Deux expériences ont été effectuées, (i) la première porte sur deux traitements régime d'eau extrême, le premier effectué en vertu de l'évapotranspiration maximale (ETM) tout au long du cycle végétatif alors que le second a été conduit en mode pluvial (Pluv), (ii) le deuxième essai, quatre irrigations de complément aux traitements (T1, T2, T3 et T4) ont été appliqués au début de quatre phases phénologiques de la période de reproduction : phase de tallage, montaison, floraison et grossissement de grains. Composantes du rendement ont été influencé de manière significative au début de la période de reproduction, tandis que les éléments exprimés en poids ont été influencés à la fin de la période de reproduction. Le rendement en grain de la variété Vitron a augmenté de 33,0 % T1 à 84,3 % T2, 423,8 % T3 902,0 % T4 et 1094.7 % ETM . L'utilisation efficace de l'eau a augmenté de 45 à 70 % par rapport à des traitements d'irrigation en conditions pluviales. L'irrigation complémentaire améliore considérablement la valorisation de l'eau par les cultures dans des zones limitées comme l'Afrique du nord des terres arides et semi-arides.

Ainsi, l'adéquation entre le choix variétal et le régime hydrique permet de plus que doubler le rendement, d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de tamponner leurs variations. De même le choix d'un régime hydrique approprié a permis d'économiser l'eau.

**MOTS CLÉS:** L'irrigation d'appoint, les régions semi-arides, composantes du rendement, l'efficacité de l'utilisation de l'eau, cultivars de blé, évapotranspiration maximale, l'évapotranspiration potentielle.

## ملخص

محصول الحبوب من القمح الصلب (*Triticum durum Dest*) في المنطقة شبه الجافة يتأثر بشكل متكرر بارتفاع درجة الحرارة والجفاف أثناء ملء الحبوب. تهدف هذه التجربة إلى تقييم الآثار المفيدة للري التكميلي في المراحل الفينولوجية المختلفة على مكونات المردود من صنفين من القمح القاسي (GTA-Dur و Vitron) في المناطق شبه الجافة بالجزائر. تم إجراء تجربتين :

(1) الأولى تتعامل مع اثنين من المعاملات القصوى لنظام المياه ، الأولى أجريت تحت الحد الأقصى من التبخر (ETM) طوال الدورة الخضرية في حين أجريت الثانية تحت الظروف المطرية (Pluv)

(2) التجربة الثانية ، تم استخدام أربع طرق معالجة تكميلية (T1...T4) في بداية الأربع مراحل الفينولوجية في الفترة : التكاثرمرحلة ، الاستطالة ، الإزهار و من تضخم الحبوب. تأثرت مكونات المردود بشكل كبير في بداية موسم التكاثر ، في حين تأثرت العناصر المعبر عنها بالوزن في نهاية فترة التكاثر. زيادة المردود الحبوب Vitron من 33.0% T1 إلى 84.3% T2 ، 423.8% T3 ، 902.0% T4 ، و 1094.7% ETM. ازداد الاستخدام الامثل للمياه بنسبة 45 إلى 70% مقارنة بمعاملات الري تحت ظروف المطر. يعزز الري التكميلي إلى حد كبير قيمة المياه للمردود في مناطق محدودة مثل الأراضي القاحلة وشبه القاحلة في شمال أفريقيا.

وبالتالي ، فإن مطابقة الاختيار بين الأصناف مع نظام المياه يمكن أن يزيد عن مضاعفة المحصول ، وزيادة كفاءة استخدام المياه وتخفيف اختلافاتها. وبالمثل ، فإن اختيار نظام المياه المناسب قد وفر الماء.

**كلمات مفتاحية:** الري التكميلي في المناطق شبه القاحلة. مكونات إنتاج القمح. كفاءة استخدام المياه

؛ أصناف القمح ، الحد الأقصى من التبخر التبخّر المحتمل.

## ABSTRACT

Plant growth and yield of cereal crops are seriously affected in drought-prone environments, hence effective agricultural means are needed. This assay aims to evaluate the beneficial effects of supplemental irrigation at different phenological phases on yield components of two varieties (GTA-Dur and Vitron) of durum wheat under field conditions in semiarid regions of Algeria. Two field experiments were carried out, (i) the first covered two extreme water regime treatments, the first conducted under maximum evapotranspiration (ETM) throughout the growing season whereas as the second was led in rain mode (Pluv), (ii) the second assay, four supplemental irrigation treatments (T1-T4) were applied at the beginning of four phenological phases of wheat growth period: tillering phase, heading, flowering, and grain growth. Yield components were significantly influenced at the beginning of the breeding season, while the components expressed in weights were influenced at the end of the breeding season. Grain yield of the variety Vitron increased by 33.0% at T1, 84.3% at T2, 423.8% at T3, 902.0% at T4, and 1094.7% at ETM. Water use efficiency increased by 45–70% in irrigation treatments compared to rainfed conditions. Complementary irrigation substantially improves the valorization of water by crops in water-limited areas such as north African arid and semiarid lands.

As well, the adequacy between the choice of varieties and the water regime allows for more than double the performance, to increase the efficiency of the use of water and dab their variations. Of even the choice of a regime appropriate water has helped to conserve the water.

**KEY WORDS:** supplementary irrigation ; semi-arid regions; durum wheat ; yield ; water use efficiency; maximum evapotranspiration; potential evapotranspiration .

## RÉSUMÉ

La croissance des plantes et le rendement des céréales sont sérieusement affectés dans les environnements exposés à la sécheresse, d'où la nécessité de se disposer de moyens agricoles efficaces. Cette étude vise à évaluer les effets bénéfiques de l'irrigation de complément à différentes phases phénologiques sur les composantes du rendement de deux variétés (GTA-Dur et Vitron) de blé dur sur le terrain dans des régions semi-arides de l'Algérie. Deux expériences ont été effectuées, (i) la première porte sur deux traitements régime d'eau extrême, le premier effectué en vertu de l'évapotranspiration maximale (ETM) tout au long du cycle végétatif alors que le second a été conduit en mode pluvial (Pluv), (ii) le deuxième essai, quatre l'irrigation de complément aux traitements (T1 - T4) ont été appliqués au début de quatre phases phénologiques de la période de reproduction : la phase de tallage, la montaison, la floraison et de le grossissement de grains. Composantes du rendement ont été influencé de manière significative au début de la période de reproduction, tandis que les éléments exprimés en poids ont été influencés à la fin de la période de reproduction. Le rendement en grain de la variété Vitron a augmenté de 33,0 % T1 à 84,3 % T2, 423,8 % T3 902,0 % T4 et 1094.7 % ETM . L'utilisation efficace de l'eau a augmenté de 45 à 70 % par rapport à des traitements d'irrigation en conditions pluviales. L'irrigation complémentaire améliore considérablement la valorisation de l'eau par les cultures dans des zones limitées comme l'Afrique du nord des terres arides et semi-arides.

Ainsi, l'adéquation entre le choix variétal et le régime hydrique permet de plus que doubler le rendement, d'augmenter l'efficience de l'utilisation de l'eau et de tamponner leurs variations. De même le choix d'un régime hydrique approprié a permis d'économiser l'eau.

**MOTS CLÉS:** L'irrigation d'appoint, les régions semi-arides , composantes du rendement, l'efficacité de l'utilisation de l'eau , cultivars de blé , évapotranspiration maximale , l'évapotranspiration potentielle.

## Dédicaces

*Je dédie ce travail en premier lieu :*

### *A mes chers parents*

*A ma chère mère, femme d'exception, dont j'ai hérité la force, l'intelligence et la bonté du cœur.*

*Ta présence continuelle et tes sacrifices sont à l'origine de nos réussites nous tes enfants.*

*Merci Mère adorée de continuer à nous veiller tendrement malgré les soucis de santé, malgré l'âge et les péripéties de la vie...*

*Merci d'être... ma mère et ma lumière.....*

*A mon père, le pilier de ma vie, dont le modèle me guide et m'éclaire la voie.*

*Sans lui, peu de choses auraient pu être réalisées.*

*Merci cher père, je te voue toute mon affection.....*

*Chers parents, je suis fière de vous offrir cette réussite, c'est à vous que je la dois !!*

### *A mes frères et ma sœur*

*Veillez trouver en ces quelques lignes, le témoignage de ma tendre affection fraternelle, ainsi que ma reconnaissance. Je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, tout puissant, vous protège et vous garde.*

### *A mon beau-frère et mes belles-sœurs*

*Puisse dieu, le tout puissant vous préserver du mal, vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.*

### *A mes neveux et mes nièces*



*Aucune dédicace ne saurait exprimer tout l'amour et l'affection que j'ai pour vous, Votre joie et votre gaieté sont une félicité pour mon cœur et me combent de bonheur.*

*Puisse Dieu vous garder, éclairer votre route et vous aider à réaliser à votre tour vos vœux les plus chers.*

## Remerciements

*J'exprime ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail, en m'aidant ou en me soutenant durant ces années de dur labeur. Toutefois, mes remerciements et ma gratitude vont particulièrement à certaines d'entre elles sans qui je ne serai jamais arrivée là où je suis.*

*Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements :*

*A Monsieur, **Khiari Abdelkader**, Professeur à l'Université Larbi ben M'hidi d'Oum El Bouaghi, qui a procédé au bon encadrement de ma thèse. Il m'a laissé beaucoup de liberté et d'initiative et s'est toujours soucié de mes projets scientifiques et professionnels. Je tiens à lui exprimer ma sincère gratitude pour l'aide qu'il m'a apporté à découvrir le monde de la recherche, pour la passion et la générosité avec lesquelles il m'a fait l'honneur de partager ses connaissances.*

*A Monsieur. **Senoussi M<sup>ed</sup> Mourad**, Professeur à l'Université Larbi ben M'hidi d'Oum El Bouaghi, qui m'a fait l'honneur d'accepter d'être le président de jury de ma thèse. Je vous remercie Professeur pour votre disponibilité, votre patience, et votre aide précieuse pour les nombreuses discussions scientifiques.*

*A Monsieur. **Benmahammed Ammar**, Professeur à l'Université de Sétif, ainsi qu'à Monsieur **Houhamdi Moussa**, Professeur à l'Université de Guelma pour avoir porté de l'intérêt à ce travail, en acceptant d'en faire la lecture, l'examen et l'évaluation en tant que membres de jury.*

*A Monsieur. **Ababsa Labed**, Maitre de conférence à l'Université Larbi ben M'hidi d'Oum El Bouaghi et à Monsieur **CHAGRA Ali**, maitre de conférence à l'Université d'Annaba, d'avoir accepté de juger mon travail en faisant partie de mon jury de thèse en tant que membres.*

*A Monsieur. **Kribaa Mohammed**, Professeur à l'Université Larbi ben M'hidi d'Oum El Bouaghi, pour ses qualités humaines qui m'ont insufflé l'énergie et le dynamisme nécessaires pour faire de la recherche ; ainsi que pour ses connaissances diversifiées dans différents domaines scientifiques, qui ont contribué à la réalisation de ce travail.*

*A Monsieur. **Merzoug Djemoui**, Professeur à l'Université Larbi ben M'hidi d'Oum El Bouaghi, qui m'a fait l'honneur d'accepter mon invitation autant qu'un invité d'honneur et assister ma soutenance.*

*A Monsieur **Chenchouni Haroun**, Maitre de conférences à l'université de Tébessa, pour m'avoir encadré et conseiller pour réaliser l'étude statistique concernant ma thèse. Ses qualités pédagogiques et scientifiques, ainsi que sa franchise et ses conseils ont été d'une grande aide.*

*A Monsieur. **Arar Abdelkrim**, Doctorant à l'Université de Msila, pour son aide et au contact duquel j'ai beaucoup appris.*

*Aux membres de la Direction des Services Agricoles (DSA) d'Oum-El-Bouaghi, aux membres de la subdivision de F'kirina wilaya d'Oum-El-Bouaghi ; ainsi qu'aux agriculteurs de la zone d'étude pour m'avoir accueilli chaleureusement et avoir facilité le déroulement de la partie expérimentale de mon travail de recherche.*

*A mes collègues et mes amis du laboratoire de l'INSID, Fertial et le laboratoire de ressources naturelles et gestion des environnements sensibles 'RNAMS'- de l'Université Larbi ben M'hidi d'Oum El Bouaghi, pour leur encouragement, leur soutien moral, ainsi que leur gentillesse sans faille.... (Pour le meilleur et pour le pire).*

*Il y a des personnes à qui je dois beaucoup, et à qui je serai reconnaissante pour toujours : mon entourage de travail- l'université de Constantine, Faculté de Médecine, Département de Médecine Dentaire- je vous dis : que dieu vous bénisse.*

***Enfin**, à ma famille pour avoir cru en moi, pour m'avoir toujours soutenue dans mes déceptions ainsi que dans mes joies, et d'avoir supporté mes humeurs durant le périple de la recherche pour la thèse.*

*FELLAH Sihem*

« Un homme marche sur une terre nue et grossièrement écroûtée. Il y a dix mille ans. Plusieurs glaciations l'ont meurtri mais, peu à peu, du sud vers le nord, un réchauffement du climat l'a fait se redresser. Il porte noué à l'épaule un sac gonflé de graines, dans lequel il puise au rythme de son pas. Des semences qu'il envoie devant lui comme un sacrifice. Ferveur et amplitude du mouvement. Sans doute, avec la prière, le premier acte de foi de l'humanité. La confiance dans le ciel et la terre. L'espoir que de chaque grain, minuscule intercesseur entre le sol et le soleil, lèvera un épi. »

L'homme de terre, 1993  
Eric Fottorino

## Liste des abréviations

<b>L'abréviation</b>	<b>La signification</b>
<b>AFII</b>	Agence française pour les investissements internationaux.
<b>ARNH</b>	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.
<b>ARVALIS</b>	Institut du végétal-paris-
<b>CNCC</b>	Centre National de Contrôle et de Certification des Semences et des Plants
<b>CNIS</b>	Centre national de l'information et des statistiques.
<b>DHW</b>	Direction de l'Hydraulique de la Wilaya.
<b>DSASI</b>	Direction des services agricoles-statistique et investissement.
<b>FERTIAL</b>	Société des fertilisants d'Algérie.
<b>IAA</b>	Industrie agroalimentaire.
<b>INPV</b>	Institut National de la protection des végétaux.
<b>INSID</b>	Institut National des Sol, d'Irrigation et de Drainage.
<b>ITGC</b>	Institut Technique des Grandes Cultures.
<b>MADRP</b>	Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche.
<b>MEDA</b>	Pays du sud de la Méditerranée.
<b>OAIC</b>	Office Algérien Interprofessionnel des Céréales.
<b>OMC</b>	Organisation mondiale du commerce.
<b>OMS</b>	Organisation mondiale de la santé
<b>ONID</b>	Office National d'Irrigation et de Drainage.

## Liste des acronymes

<b>L'acronyme</b>	<b>La signification</b>
<b>EUE</b>	Efficienc e d'utilisation de l'eau.
<b>ETM</b>	Evapotranspiration maximum.
<b>ET0</b>	Evapotranspiration de référence.
<b>GLM</b>	Modèle linéaire généralisé
<b>HT</b>	Hauteur de tige.
<b>IC</b>	Intégrité cellulaire.
<b>Kc</b>	Coefficient cultural.
<b>LE</b>	Longueur épis.
<b>LR</b>	Longueur racine
<b>NGE</b>	Nombre de grains par épis.
<b>NP/m<sup>2</sup></b>	Nombre de plants par m <sup>2</sup> .
<b>NE/m<sup>2</sup></b>	Nombre d'épis par m <sup>2</sup> .
<b>Pluv</b>	Pluvial (sans irrigation).
<b>PMG</b>	Poids de 1000 grains.
<b>PSF</b>	Poids spécifique foliaire.
<b>RFU</b>	Réserve facilement utilisable.
<b>RU</b>	Réserve utilisable
<b>SF</b>	Surface foliaire.
<b>T1</b>	Traitement d'irrigation au stade tallage.
<b>T2</b>	Traitement d'irrigation au stade montaison.
<b>T3</b>	Traitement d'irrigation au stade floraison.
<b>T4</b>	Traitement d'irrigation au stade de grossissement de grain.
<b>TRE</b>	Teneur relative en eau

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.</b> Evolution de la sole céréalière irriguée en appoint / totale .....	09
<b>Figure 2.</b> Moyenne de 10 ans(2002-2012) de production du blé dans le monde.....	13
<b>Figure 3.</b> Situation géographique de la région d'étude.....	27
<b>Figure 4.</b> Carte géologique modifiée depuis les cartes 1/50.000 d'Oum el Bouaghi, Ain Beida, Gareat Taref, Khenchela et Dalaa .....	31
<b>Figure 5.</b> Légende de la carte géologique. ....	32
<b>Figure 6.</b> Carte Structurale et tectonique de la région d'étude.....	36
<b>Figure 7.</b> Température moyenne mensuelle (1990-2010).....	38
<b>Figure 8.</b> Pluviométrie moyenne mensuelle en (mm).....	39
<b>Figure 9.</b> Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS de Oum El Bouaghi.....	43
<b>Figure 10.</b> Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger de la zone d'étude.....	45
<b>Figure 11.</b> Evolution mensuelle de l'évapotranspiration potentielle calculée selon la méthode d'estimation de Thornthwait. La partie avec pointillés indique les périodes de déficits d'évapotranspiration.....	46
<b>Figure 12.</b> Bilan hydrique moyen de la période 1995-2015 de la station Oum el Bouaghi.....	49
<b>Figure 13.</b> Localisation du site experimental 'plaine de F'kirina' - Wilaya d'Oum-El-Bouaghi- Nord-Est Algerien .....	53
<b>Figure14.</b> Diagrammes ombrothermiques de Gausсен de la région d'Oum-El-Bouaghi (nord-est de l'Algérie), (A) pour la période 2003-2016 et (B) pour les deux saisons agricoles 2014-2015 (lignes continues) et 2015-2016 (ligne pointillée).....	55
Carte de position des profils au niveau de plaine de F'kirina ( l'échelle 1/50.000).....	54
<b>Figure 15.</b> Carte des sols de la plaine de F'kirina.....	62
<b>Figure16.</b> Carte de position des profils au niveau de la plaine de F'kirina.....	63
<b>Figure 17</b> Carte des aptitudes culturales de la plaine de F'kirina à l'échelle 1/50.000.....	87
<b>Figure 18.</b> Fluctuation de l'humidité pondérale des deux premiers horizons du sol au cours du cycle végétatif.....	90

<b>Figure 19.</b> Evolution de la réserve en eau du sol disponible pour la plante au cours des deux années d'étude.....	<b>93</b>
<b>Figure 20.</b> Répartition des besoins en eau maximum sur les phases de la culture.....	<b>95</b>
<b>Figure 21.</b> Variations des besoins en eaux maximums et consommations en eau du blé dur sous climat semi-aride.....	<b>96</b>
<b>Figure 22.</b> Répartition des taux de consommation en eau sur les phases de la culture.....	<b>97</b>
<b>Figure 23.</b> Comparaison des Surfaces Foliaires de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014-2015-2016).....	<b>99</b>
<b>Figure 24 a et b.</b> Comparaison des TRE et IC de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014-2015-2016).....	<b>102</b>
<b>Figure 25.</b> Comparaison de la longueur des racines principales de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014–2016). Les valeurs ayant la même lettre appartiennent au même groupe homogène.....	<b>104</b>
<b>Figure 26 a et b.</b> Comparaison des HT et LE de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014–2016). Les valeurs ayant la même lettre appartiennent au même groupe homogène.....	<b>105</b>
<b>Figure 27.</b> Comparaison des Nb de Plants/m <sup>2</sup> de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014-2015-2016).....	<b>109</b>
<b>Figure 28.</b> Comparaison des Nb d'épis/m <sup>2</sup> de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014-2015-2016).....	<b>110</b>
<b>Figure 29.</b> Comparaison des Nb de grain/épi de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014-2015-2016).....	<b>112</b>
<b>Figure 30.</b> Comparaison des PMG de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014-2015-2016).....	<b>114</b>
<b>Figure 31.</b> Comparaison des Rendements potentiel en grains de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014-2015-2016).....	<b>117</b>
<b>Figure 32.</b> Variation du rendement des deux variétés étudiées selon les traitements. Selon le GLM : effets significatifs (P<0.001) pour TRT, variété, et leur interaction sur la variation du RDT, mais pas de différence significative entre les deux années (P=0.069)...	<b>119</b>
<b>Figure 33 .</b> Matrice de corrélation appliquée entre les caractères d'adaptation (TRE, PSF,SF,LR,IC,HT et LE) et les caractéristiques de production (NP / m <sup>2</sup> , NE / m <sup>2</sup> , NG/E, PMG et Rendement). Les tests de corrélation de Pearson sont donnés comme valeurs de coefficient de corrélation (en dessous de la diagonale) et la valeur P (au-dessus de la diagonale)....	<b>120</b>

**Figure 34.** Effets de l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) sur le rendement en grains du blé dur à différents traitements d'irrigation dans les conditions de terrain dans le nord-est de l'Algérie. Les droites représentent une régression linéaire avec un ajustement GLM (modèle linéaire généralisé) avec des régions de confiance à 95% en gris clair. Les valeurs F et P sont des statistiques du GLM.....123

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1.</b> Bilan de la campagne 2015/2016 par modes d'irrigation.....	09
<b>Tableau 2 :</b> Production mondiale du blé dur en Tonne.....	12
<b>Tableau 3.</b> Température moyenne mensuelle (1990-2010).....	37
<b>Tableau 4.</b> Pluviométrie moyenne mensuelle (1990-2010).....	38
<b>Tableau 5 .</b> Vitesse moyenne mensuelle du vent en (m/sec).....	39
<b>Tableau 6.</b> Nombre mensuel de jours de neige.....	40
<b>Tableau 7.</b> Nombre moyen mensuel de jours de gelée.....	40
<b>Tableau 8.</b> Calcul des termes du bilan hydrique de la station d'Oum el Bouaghi.....	48
<b>Tableau 9.</b> Température et précipitations moyenne mensuelle (2003-2016) et (2014-2016). .....	54
<b>Tableau 10.</b> Résultats des analyses sol du profil P1.....	65
<b>Tableau 11.</b> Résultats des analyses sol du profil P4.....	68
<b>Tableau 12.</b> Résultats des analyses sol du profil P5.....	71
<b>Tableau 13.</b> Résultats des analyses sol du profil P6.....	74
<b>Tableau 14.</b> Résultats des analyses sol du profil P11.....	77
<b>Tableau 15.</b> Résultats des analyses sol du profil P8.....	79
<b>Tableau 16.</b> Résultats des analyses sol du profil P17.....	82
<b>Tableau 17.</b> Répartition des sols de la zone d'étude.....	85
<b>Tableau 18.</b> Résultats d'analyses du sol.....	89
<b>Tableau 19.</b> Calendrier et volume des irrigations.....	92
<b>Tableau 20.</b> Besoins en eau maximum (ETM) en mm du blé dur.....	94
<b>Tableau 21.</b> Evapotranspiration réelle (ETR) en mm du blé dur en pluvial.....	95
<b>Tableau 22.</b> Evapotranspiration réelle (ETR) en mm du blé dur en irrigué.....	96
<b>Tableau 23.</b> Répartition des taux(%) de satisfaction des besoins en eau (ETR/ETM) cumulées en pluvial.....	98
<b>Tableau 24.</b> Répartition des taux (%) de satisfaction des besoins en eau en irrigué.....	98
<b>Tableau 25.</b> Analyse de la variance à un critère de classification du Surface Foliaire : Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina).....	100
<b>Tableau 26.</b> Analyse de la variance à un critère de classification du TRE: Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina).....	102

<b>Tableau 27.</b> Analyse de la variance à un critère de classification du IC: Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina).....	103
<b>Tableau 28.</b> Analyse de la variance à un critère de classification du LR: Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina).....	104
<b>Tableau 29.</b> Analyse de la variance à un critère de classification du HT: Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina).....	107
<b>Tableau 30.</b> Analyse de la variance à un critère de classification du LE: Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina).....	107
<b>Tableau 31.</b> Analyse de la variance à un critère de classification du Nbr PL /m <sup>2</sup> : Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina).....	109
<b>Tableau 32.</b> Analyse de la variance à un critère de classification du Nbr d'épis/m <sup>2</sup> : Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina).....	111
<b>Tableau 33.</b> Analyse de la variance à un critère de classification du Nbr grain/épi : Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina).....	113
<b>Tableau 34.</b> Analyse de la variance à un critère de classification du PMG : Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina).....	116
<b>Tableau 35.</b> Analyse de la variance à un critère de classification du Rendements en grains: Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina).....	118
<b>Tableau 36.</b> Teneur en azote total en (%) de la matière sèche du grain.....	125
<b>Tableau 37.</b> Teneur en protéine en (%) de la matière sèche du grain.....	125

## Table de matières

ملخص

Resumé

Abstact

Remerciement

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Tables de matières

**INTRODUCTION GENERALE** 1

### Chapitre 1 : *Synthèse Bibliographique*

1.1. Irriguer : une obligation !	07
1.2. Intérêts et limites de l'irrigation	08
1.3. Evolution des superficies céréalières irriguées en appoint en Algérie	08
1.2.1. Bilan de la campagne 2015/2016 par modes d'irrigation	09
2. Rendement et qualité des grains : deux caractéristiques recherchées par les acteurs de la filière	10
3. Importance économique	11
3.1. Dans le monde	11
3.2. En Algérie	12
4. Eau et production végétale	14
4.1. Rôle de l'eau dans la plante	14
4.2. Estimation des besoins en eau des cultures	14
4.3. Efficience agronomique de l'eau	16
4.4. Exigences agronomiques	16
4.5. Tolérance des plantes à la sécheresse	17
4.6. Utilisation rationnelle de l'eau d'irrigation	18
4.7. Stress thermique chez le blé dur	19
4.8. Stress hydrique chez le blé dur	21
5. Irrigation d'appoint du blé dur	22
6. Pilotage de l'irrigation	24

### Chapitre 2 : *Cadre physique et hydro-climatique*

2.1. Situation géographique	26
2.2. Géomorphologie	28
2.3. Géologie de la région	29

2.3.1. Description stratigraphique et lithologique	29
2.4. Les styles structuraux	35
2.5. Les dépressions et fosses d'effondrement	35
2.6. Structure et tectonique	35
2.7. Hydro-climatologie de la zone d'étude	37
2.7.1. Les facteurs climatiques	37
1 La température	38
2 Les précipitations	39
3 Les vents	39
4 Neige	40
5 Les gelées	40
2.7.2. Synthèse climatique	41
2.7.3. Les indices climatiques	41
2.7.4. Estimation de l'évapotranspiration et calcul du bilan hydrique	44
1. L'évapotranspiration	44
2. Le bilan hydrique	47

### Chapitre 3: *Matériel et méthode*

<b>3.1. Etude pédologie de la plaine de F'kirina</b>	
3.1.1. Localisation du périmètre	50
3.1.3. Méthodologie	51
3.1.4. Principes de la classification	51
3.1.5. Les catégories de sols	52
<b>3.2. Etude expérimentale sur l'irrigation d'appoint sur deux variétés de blé dur</b>	
3.2.1. Méthodologie du travail	53
3.2.1.2. Localisation des sites expérimentaux	53
3.2.2. Caractérisation climatique des deux campagnes agricoles	54
1. Condition climatique	54
2. Paramètres étudiés	55
3.2.3. Notation et mesure	58
3.2.4. Analyse des données	61

### Chapitre 4 : *Résultats et discussion*

4.1. Les types de sols	62
4.2. Répartition des sols de la zone d'étude	85
4.3. Aptitudes des cultures	86
Conclusion	88
4.4. Caractéristiques du sol étudié	89
4.5. Estimation des besoins en eau du blé dur	91
4.6. Irrigation	91

4.7.Répartition et intensité annuelle de la contrainte hydrique	92
4.8.Evaluation des besoins et consommations en eau du blé dur	94
4.9.Effet du régime hydrique sur la surface, le statut hydrique, l'intégrité cellulaire	98
4.10.Effet de l'irrigation d'appoint sur Le rendement en grains et ses composantes	108
4.11.Typologie Spatio-Temporelle de rendement et ses composants	119
4.12.Efficacité d'utilisation de l'eau chez différentes variétés	123
4.13.Critères de qualité	125
Conclusion	126
 <b>Conclusion Générale et Perspectives</b>	 <b>129</b>
 <i>Références bibliographiques</i>	 <i>136</i>
 <i>Annexes.</i>	

# **Introduction générale**

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'évolution de l'être humain au détriment de son environnement, a entraîné des réactions en chaîne catastrophiques, dont Le réchauffement de la planète dû aux émissions des gaz à effet de serre en est l'exemple flagrant. Les répercussions désastreuses sur le changement climatique, opèrent des variations spectaculaires sur la surface de la terre ; inondant des régions entières sous des pluies torrentielles ou alors asséchant des régions jadis fertiles pour les rendre désertiques, rendant l'exploitation des terres à des fins agricoles impossible. Le cas en est témoin, le continent Africain qui subit de plein fouet les caprices de la météo, qui se répercutent évidemment sur l'économie, dont l'agriculture en est l'un des piliers porteur dans beaucoup de ses pays. Ce secteur stratégique nécessite l'utilisation de beaucoup d'eau pour l'irrigation des exploitations agricoles, or cette denrée commence à se raréfier et les efforts se mobilisent pour sensibiliser, le monde désormais, à apprendre à en rationaliser l'utilisation et ainsi préserver la vie sur terre.

En Algérie, comme dans beaucoup de régions dans le monde, le secteur agricole dépend essentiellement des précipitations (Schilling et al., 2012), l'agriculture pluviale ou agriculture sous pluie qui se différencie de la culture irriguée, couvre 98,6 % de la superficie agricole totale (Cline, 2007).

La céréaliculture est une activité ancienne du milieu agricole algérien. Elle est présente dans tous les étages bioclimatiques y compris les zones sahariennes, avec toutefois une prédominance de la culture du blé dur (BSA, 2007). La période de croissance de la culture de blé est limitée par l'humidité insuffisante au début et à la fin du cycle de la plante en raison des stress hydriques et thermiques (Adjabi et al., 2016). Pour atténuer les effets du climat, l'effort est principalement axé sur la gestion des cultures et des cultures intercalaires pour améliorer la valeur des précipitations (Lahmar et Bouzerzour, 2010, Merouche et al., 2014, Chamekh et al., 2016).

En Algérie, la production céréalière nationale reste bien en deçà des besoins du pays en raison des contraintes hydriques. En outre, la productivité des cultures céréalières devrait être affectée à l'avenir en raison de la variabilité climatique et de la diminution possible des ressources en eau disponibles (Reynolds et al., 2016).

Les précipitations étant faibles et aléatoires dans les régions semi-arides d'Afrique du Nord, les cultures céréalières incitent à identifier les limitations hydriques puis à caractériser leur datation à l'échelle de temps la plus courte possible et de manière quotidienne (Zucca, 2015). En effet, les pays de ces régions sont confrontés à la rareté des ressources en eau et à la nécessité d'augmenter la production agricole en raison d'une population toujours croissante.

Il devient impératif de promouvoir l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture irriguée (Khila, 2015 ; Saadi et al., 2015).

D'autre part, la conduite des céréales irriguées, bien qu'en augmentation continue, nécessiterait même son développement, notamment dans les conditions de changement climatique et de périodes de sécheresse de plus en plus fréquentes (Levrault, 2010).

De même, dans des environnements aux ressources en eau limitées, comme dans le cas de l'Afrique du Nord, une maximisation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau devrait être recherchée (Medina et al., 2016).

Compte tenu de ses caractéristiques climatiques et de sa situation géographique, l'Algérie devrait faire face à plusieurs problèmes liés à la pénurie d'eau, notamment pour le secteur agricole qui consomme 60-70% du potentiel hydrique du pays pendant une année pluvieuse normale et beaucoup moins pendant une année sèche. La priorité des utilisations de l'eau est donnée à d'autres secteurs (Chebil et al., 2014).

La plupart des régions arides et semi-arides sont confrontées au stress hydrique dû à la forte demande en eau agricole d'une part et à la rareté des ressources en eau disponibles d'autre part. Les problèmes de gestion des ressources en eau augmentent dans ces zones et ils seront encore pires dans les années à venir (Piao, 2010 ; Merouche et al., 2014).

Par conséquent, il est nécessaire d'utiliser rationnellement les quelques ressources en eau pour l'agriculture, tout en améliorant l'efficacité de l'utilisation de l'eau en réduisant son volume pendant les phases phénologiques moins sensibles au déficit hydrique (Chen et al., 2014), ce qui devrait améliorer la préservation de l'eau d'irrigation (Singh, 2014).

Les rendements céréaliers sont sujets à une fluctuation significative, en tenant compte de la variabilité des précipitations interannuelles, en plus des déficits hydriques saisonniers qui pourraient prévaloir, même pendant une année pluvieuse (Reynolds et al., 2016).

Le changement dans la disponibilité de l'eau est donc le déterminant le plus important du rendement (Habi et Morsli, 2013).

Aussi, l'irrigation complémentaire aide les cultures à faire face à la sévérité du climat et donc à obtenir des rendements relativement stables au fil du temps de produits de culture de qualité appréciable et constante (Mekhlouf et al., 2013).

La valorisation de l'eau de pluie associée à des irrigations complémentaires est importante car elle permet d'augmenter le rendement de 12 à 35 quintaux / ha (Bouthour et al., 2015). Cependant, il est nécessaire d'utiliser des variétés appropriées pour atteindre des niveaux de rendement élevés (Monji et al., 2016, Thameur et al., 2012).

En effet, le choix des variétés appropriées dans les cultures céréalières a toujours été une composante essentielle du succès de l'agriculture (Bonchev et al., 2017).

Les cultivars de blé diffèrent par leur tolérance intrinsèque à la sécheresse, qui s'exprime par des ajustements continus entre la disponibilité et les besoins en eau et par leur capacité spécifique à améliorer l'état de l'eau (Mihoub et Mokhtari, 2016). Les besoins en eau, exprimés par l'évapotranspiration maximale de la culture (ETM), qui est fonction des exigences climatiques, sont ainsi définis pour une parcelle donnée (Tiftonell, 2014). Toutes les expériences de cultures menées dans le monde et en Algérie confirment l'intérêt des irrigations supplémentaires pour l'amélioration et la stabilisation des rendements céréaliers, ainsi que pour la valorisation de l'eau d'irrigation dans des conditions de déficit pluviométrique (Zhang et al., 2014, Grahmann et al. 2016, Mihoub et Mokhtari, 2016).

En effet, l'eau est le facteur le plus limitant de la production. Pour produire 1 kg de grain, la culture du blé requiert 1 à 3 m<sup>3</sup> d'eau (Perrier et Salkini, 2012). Dans ce contexte, l'efficacité d'utilisation de l'eau est considérée comme un important paramètre sous stress (Blum, 2009).

Dans cette optique, les questions suivantes se posent : Dans quelle mesure la gestion hydrique, et en présence de quelles pratiques culturales, une quantité limitée d'eau peut-elle améliorer les rendements d'une culture donnée ? Comment peut-on augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau ?

Pour évaluer l'importance de ces interactions, une étude expérimentale Bi-annuelle a été menée en zone semi-aride, croisant deux gammes de géotypes - locale et introduit - et différentes contraintes hydriques variant par leur période d'intervention et leur intensité. Cette gamme de contraintes a été construite en combinant différents programmes d'irrigation et différents régimes pluviométriques plus ou moins déficitaires.

L'objectif global de la présente étude est la détermination des besoins en eau du blé dur et la maîtrise de l'irrigation d'appoint du blé-dur en zone semi-aride. Ceci nécessite une analyse des résultats de ces expérimentations en termes de réponse globale de la culture à l'irrigation et en termes de productivité de l'eau atteintes. Cette contribution rentre systématiquement dans un contexte de rentabilité économique régional et national. Nous envisageons d'atteindre un ensemble de recommandations qui seront apportées pour conseiller une meilleure optimisation de l'irrigation d'appoint en zones semi-arides.

Notre travail est divisé en quatre chapitres ; le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique, le deuxième chapitre porte sur le cadre physique et hydro-climatique, tandis que le troisième chapitre traite le matériel et méthode et le quatrième qui expose les résultats et discussion. Nous terminons notre travail avec une conclusion générale dont laquelle nous dégageons les perspectives.

*Chapitre 1 :*

# **Synthèse bibliographique**



**En Afrique du Nord**, la ressource en eau constitue le facteur majeur limitant le développement agricole, économique et social. En effet, l'environnement physique dans cette région est caractérisé par une pluviométrie faible, aléatoire et agressive, et des sols généralement peu productifs et une couverture végétale très éparse (Mrabet, 2001). La Tunisie est confrontée aux problèmes de pénurie d'eau et certaines de ses régions sont de plus en plus soumises à des restrictions d'eau. Les fortes pertes d'eau causées par le mauvais état des réseaux collectifs d'irrigation, les techniques d'irrigation adoptées, et l'absence de tradition de l'irrigation sous pression chez plusieurs exploitants (Louati, 2008) posaient une problématique grave et incitait l'Etat à établir une politique de modernisation des Périmètres Publics Irrigués (PPI) dans le cadre d'une stratégie nationale d'économie d'eau (Mare-Dggrr, 2007).

Pour le secteur agricole, les mesures de gestion de la demande en eau représentent un intérêt économique pour l'irrigant, lui permettant de sécuriser ses apports d'eau, voire de les augmenter. Des volumes annuels conséquents peuvent être dégagés grâce à la réduction des pertes dans les réseaux de distribution et à la modernisation des modes d'irrigation à la parcelle (Blinda, 2012).

Selon Benbella et al (2003), la valorisation de l'irrigation des céréales passe par l'adoption de nouvelles techniques permettant une utilisation rationnelle de l'eau. L'irrigation d'appoint est l'une de ces techniques. Le choix de l'époque d'apport et de la dose d'arrosage permet non seulement une économie de l'eau, mais réduit aussi le risque de pertes de fertilisants par lessivage, principalement les nitrates, en sols filtrants. Cette technique, contribue par ailleurs à stabiliser le rendement grain des céréales. L'effet bénéfique dû à l'irrigation de complément sur le rendement est indiscutable, le gain de rendement varie, selon l'époque d'apport, de 19 à 90% (Belbsir, 1990). Le tallage est considéré par Lahlou (1989) comme étant l'époque d'apport la plus appropriée, alors que Boutfirass (1990) trouve que l'épiaison est le moment le plus adéquat. La divergence notée entre auteurs trouverait son explication dans les conditions climatiques propres à chaque essai.

**La production algérienne** de blé dur est faible, essentiellement dépendante des conditions climatiques qui engendrent la variation des superficies récoltées, des productions et des rendements enregistrés (Benbelkacem et al., 2013). Parmi les alternatives offertes pour améliorer la production de cette espèce figurent l'augmentation des superficies au détriment de celles du blé tendre et/ou de l'orge, l'irrigation d'appoint, l'adoption d'un itinéraire

technique plus ambitieux, notamment en termes de désherbage et de fertilisation azotée et l'adoption de variétés adaptées à la variabilité climatique des divers milieux de production. Parmi ces différentes alternatives, l'adoption de variétés adaptées est plus efficace, vu que la variété, en tant que semence, est utilisée par tous les agriculteurs. La sélection pour la productivité est plus aisée, elle est basée sur le rendement ou sur la base des composantes, notamment le nombre d'épis/m<sup>2</sup> et le poids de 1000 grains. Le potentiel des géotypes issus de ce type de sélection ne s'exprime pleinement que sous conditions favorables (Nouar et al., 2010). Sous conditions variables, telles que celles sous lesquelles la production algérienne de blé dur se réalise, ces variétés se montrent peu adaptées et présentent des interactions significatives avec les lieux de production. Ces interactions engendrent une irrégularité des performances de rendement d'une année à l'autre et d'un lieu à l'autre (Annichiarico et al., 2005 ; Adjabi et al., 2007 ; Bendjamaa et al., 2014). Annichiarico et al., (2005) ainsi que Nouar et al., (2012) suggèrent que la sélection soit basée sur les caractères adaptatifs, et qu'il faut favoriser la sélection pour l'adaptation spécifique qui valorise les différents terroirs au détriment de l'adaptation générale plus difficile à obtenir. C'est sur cette base que différentes zones d'adaptation ont été identifiées (Annichiarico et al., 2005 ; Nouar et al., 2012).

La modulation de la durée de la phase végétative permet l'esquive du gel printanier et du déficit hydrique et des hautes températures de fin de cycle (Bouzerzour et al., 1998). Plusieurs auteurs dont Ali Dib, (1992) ; Ben Salem et al., (1997); Bouzerzour et al., (1998) ; Megherbi et al., (2012) mentionnent que le sens désirable de la sélection est vers une réduction de la durée de la phase végétative, notamment lorsque la sélection cible les variétés destinées aux zones sèches du sud de la méditerranée. La surface de la feuille étendard est aussi importante, vu que cet organe est le dernier qui reste en activité, avec l'épi, pour produire les assimilés nécessaires au remplissage du grain. Une feuille étendard aux larges dimensions est certainement désirable en milieux favorables (Lefi et al., 2004 ; Cherfia, 2010), mais en milieux défavorables, l'optimum est difficile à cerner. Ainsi sous stress, les variétés qui réduisent la surface de la feuille étendard tolèrent mieux les stress (Belkharchouche et al., 2009 ; Bouzerzour et Benmahammed, 2009). Le maintien d'un statut hydrique élevé sous stress est une caractéristique désirable à avoir chez les variétés destinées aux zones sèches (Belhassen et al., 1995). Pour une région où la pratique de la céréaliculture est intimement associée à l'élevage ovin, une paille haute est désirable, car une variété haute donne généralement un rendement en paille plus élevée et donc un rendement économique plus élevé (Annichiarico et al., 2006). L'association entre hauteur de la plante et le rendement en paille

n'est généralement observable qu'en conditions de sécheresse (Abbassenne et *al.*, 1997). En conditions favorables, la production de paille est plus liée à la capacité de tallage épis qui est plus élevée chez les géotypes courts. De plus, ce caractère varie, selon les environnements, plus chez les lignées hautes que chez les courtes de paille (Nouar et *al.*, 2010).

Pour la région ciblée des hauts plateaux, la hauteur de la végétation, la durée de la phase végétative et la surface de la feuille étandard semblent être proches de celles qui caractérisent le témoin Bousselam. La biomasse, le rendement, les composantes du rendement, l'indice de récolte, la longueur de l'épi et les indices de tolérance des stress (TRE et %Inj) sont, par contre, candidats à l'amélioration (Fellahi et *al.*, 2013 ; Hamli et *al.*, 2015b).

### **1.1 Irriguer : est-il une obligation !**

En Algérie, la pratique de la culture pluviale quoi qu'elle corresponde à une pluviométrie supérieure à 450 mm/an ne représentent que 4.8 millions d'ha, dont presque la moitié, soit 2 millions d'ha sont annuellement non travaillés, en raison du manque de pluie et surtout de sa mauvaise répartition dans l'espace et dans le temps (Smadhi et Mouhouche, 2009 ; Hammiche, 1993). Ainsi, malgré l'importance du blé dans le régime alimentaire, et bien que la production céréalière (toutes espèces confondues) ne couvre que 30% en moyenne des besoins du pays (Mouhouche et Khiati, 1999 ; Anonyme, 2003), selon ITGC (1998), durant la période de 1980-96 la céréaliculture n'a connu qu'une très faible amélioration de 6.21%.

Mis à part la zone de l'extrême Nord-est de l'Algérie, durant leur cycle végétatif, toutes les cultures pluviales sont soumises à des déficits de consommation en eau, parfois très importants, provoquant ainsi des stress d'intensité, de durée et/ou de fréquence variable ne permettant pas l'obtention de rendements compétitifs. En année sèche, des surfaces considérables sont déclarées non productives, à cause du stress hydrique terminal qui représente le principal facteur de limitation des niveaux du rendement des cultures céréalières non irriguées (ITGC, 1998).

Etant plus que convaincu que l'Algérie sera toujours confrontée au problème de manque d'eau, particulièrement pour le secteur de l'agriculture qui consomme 60 à 70% des potentialités hydrique du pays en année pluviométrique normale et beaucoup moins en année sèche à cause de la priorité donnée aux autres secteurs utilisateurs (Mouhouche, 2003). Il s'agira donc d'utiliser rationnellement le peu de ressources hydriques destinées à l'agriculture en améliorant son efficacité d'utilisation par des appoints d'eau de volume réduit durant les

phases phénologiques les plus sensibles au déficit hydrique (Oweis *et al.*, 2000) et qui valorisent le mieux l'eau d'irrigation (Smadhi et Mouhouche, 2009 ; ITGC., 1997).

Malheureusement, bien que toutes les expérimentations à travers le monde et en Algérie confirment l'intérêt des irrigations d'appoint pour l'amélioration et la stabilisation des rendements des céréales, ainsi que pour la valorisation de l'eau d'irrigation en condition de déficit pluviométrique (Bouthier *et al.*, 2004 ; Benseddik, 1998 ; Mouhouche et Boulassel, 1997), il n'en reste pas moins que cette pratique reste difficilement acceptable par la plupart des agriculteurs et elle représente une vraie nouveauté dans le déroulement de l'itinéraire technique des céréales.

## **1.2. Intérêts et limites de l'irrigation**

Dans l'Est de l'Algérie, le niveau de production des blés durs, semés en automne, est souvent limité par un déficit en eau du sol du fait de faibles niveaux de précipitation, associés à de forts niveaux d'évapotranspiration. Dans les régions plus septentrionales les déficits peuvent aussi apparaître du fait des faibles réserves en eau du sol. L'irrigation de complément est alors un levier d'action permettant de réalimenter la culture en eau afin de limiter le déficit hydrique (Debaeke et Hilaire, 1995).

Si la pratique de l'irrigation présente un certain nombre d'avantages, elle peut, si elle est mal maîtrisée, induire des effets indésirables. Une humidité excessive à l'intérieur du couvert est le terrain favorable pour le développement de maladies (Olesen *et al.*, 2000). Les risques de fusariose augmentent avec une humidité croissante à la floraison et pendant la période qui lui succède (Buerstmayr *et al.*, 2000; Cowger *et al.*, 2009).

Sans pour autant être préjudiciable au rendement, une irrigation pendant la montaison favorisant l'élaboration d'un nombre de grains par m<sup>2</sup> élevé peut se révéler inefficace si des températures élevées interviennent pendant le remplissage (Monotti *et al.*, 1982 in Debaeke et Hilaire, 1995). Les grains ne seront pas remplis au maximum de leur potentiel et les gains de rendement espérés par l'irrigation de complément risquent d'être limités.

## **1.3. Evolutions des superficies céréalières irriguées en appoint en Algérie**

La sole céréalière irriguée a connu une évolution significative depuis la mise en œuvre du programme en 2008, elle est représentée par le tableau 4 et le graphe 1ci-dessous :

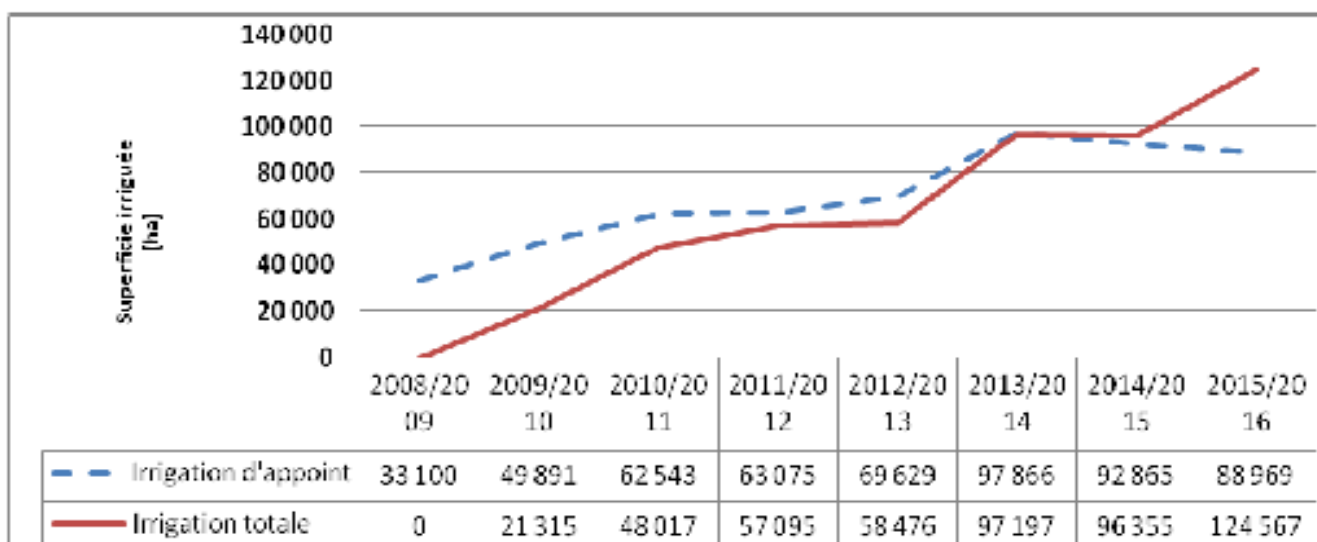


Figure 1. Evolution de la sole céréalière irriguée en appoint / totale

### 1.3.1. Bilan de la campagne 2015/2016 par modes d'irrigation

L'évolution de la superficie irriguée a été accompagnée par une incitation qualitative par la promotion de l'économie d'eau. La situation des superficies irriguées pour la campagne 2015/2016 élaborée à partir des données émanant des DSA.

Le tableau (1) montre que l'aspersion (92%) est le mode dominant pour la superficie irriguée en appoint dans la région Nord, ceci s'explique principalement par les mesures incitatives mises en place ainsi que l'accompagnement technique des Instituts Techniques (INSID, ITGC).

Au niveau des régions Sud, où on pratique de l'irrigation totale, on constate une prédominance de l'irrigation gravitaire sur 62 % des superficies irriguées (Cas de la Wilaya de Biskra et des zones sud des Wilayas de Khenchela, Tébessa et Batna).

Tableau 1. Bilan de la campagne 2015/2016 par modes d'irrigation

Désignation		Superficie irriguée (ha)		
		Submersion	Aspersion	Total irriguée
Irrigation d'appoint	Sup. (ha)	6814	82155	88969
	%	8	92	
Irrigation totale Sud	Sup. (ha)	77055	47512	124567
	%	62	38	
Total Général		83 869	129 687	213 536

(Source : INSID et ITGC)

(Source : INSID et ITGC)

## **2 .Rendement et qualité des grains : deux caractéristiques recherchées par les acteurs de la filière**

L'alimentation humaine est le débouché exclusif de la production de blé dur qui se doit donc de répondre aux attentes des transformateurs industriels. Pour assurer une fermeté et une viscoélasticité élevées, les semoules de blé dur destinées à la fabrication de pâtes doivent avoir une teneur en protéines élevée (Lerner et *al.*, 2006) ainsi qu'un taux de mitadin inférieur à 20%. Le mitadinage est un accident physiologique intervenant pendant la phase de remplissage des grains qui se traduit par une proportion de grains farineux importante et un rendement semoulier plus faible. Il est corrélé à des teneurs en protéines faibles (Robinson et *al.*, 1979 ; Samson et Desclaux, 2006).

La teneur en protéines des grains est le ratio entre la quantité d'azote et la des grains multiplié par un coefficient de 5.7. Elle est dépendante des facteurs génétiques, agronomiques et pédo-climatiques intervenant dans l'élaboration du rendement en grain ainsi que dans l'absorption d'azote par la culture (Rao et *al.*, 1993 ; Di Fonzo et *al.*, 2000 ; Rharrabti et *al.*, 2003 ; Araus et *al.*, 2003 ; Garrido-Lestache et *al.*, 2005 ; Arduini et *al.*, 2006).

La stratégie de conduite de la culture mise en place par l'agriculteur contribue à l'atteinte de ses objectifs de production en termes de quantité et de qualité. Cette stratégie comprend le choix de la variété, la conduite de la fertilisation, la conduite de l'irrigation et les choix de protection sanitaire. Le choix de la variété, au travers d'une capacité d'absorption d'azote et d'un potentiel de rendement différents (Arduini et *al.*, 2006), est un des leviers permettant à l'agriculteur d'atteindre un niveau de protéine cible. La protection phytosanitaire, en réduisant les pertes de rendement liées à la présence de ravageurs, les risques de maladies affectant la qualité et la compétition avec les adventices, est un élément important dans l'atteinte des objectifs. En France, et notamment dans le Sud, l'eau et l'azote sont les principaux facteurs limitant la production. Un déficit d'alimentation en eau et/ou azote a de multiples conséquences sur le fonctionnement de la culture et la qualité du produit fini qui dépendent du moment, de la durée et de l'intensité du déficit (Gonzalez-Dugo et *al.*, 2010).

### 3. Importance économique

#### 3.1. Dans le monde

Le blé vient en tête de classement des cultures stratégiques car il constitue une source alimentaire pour plus de 35% de la population humaine (Evans, 1993).

La production mondiale de blé pour la campagne 2011-12 a été de 672 millions de tonnes (t) sur une superficie de 215 millions d'hectares (ha) semés ; soit un rendement de 3.1 t/ha selon le département américain de l'agriculture en juillet 2012 (USDA). La Chine, l'Inde et les Etats Unis d'Amérique sont les plus grands producteurs, représentant à eux seuls, plus de 40% de la production mondiale de blé pour l'année 2012 (tableau 2).

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.,  $2n = 4x = 28$ , génome AABB) occupe 8 à 10% des surfaces emblavées en blés et fournit 30 % de la production mondiale de céréales et 20 % de la ration alimentaire consommée par la population mondiale selon le BGRI.

**Tableau 2.** Production mondiale du blé en Tonnes (FAOSTAT, 2014).

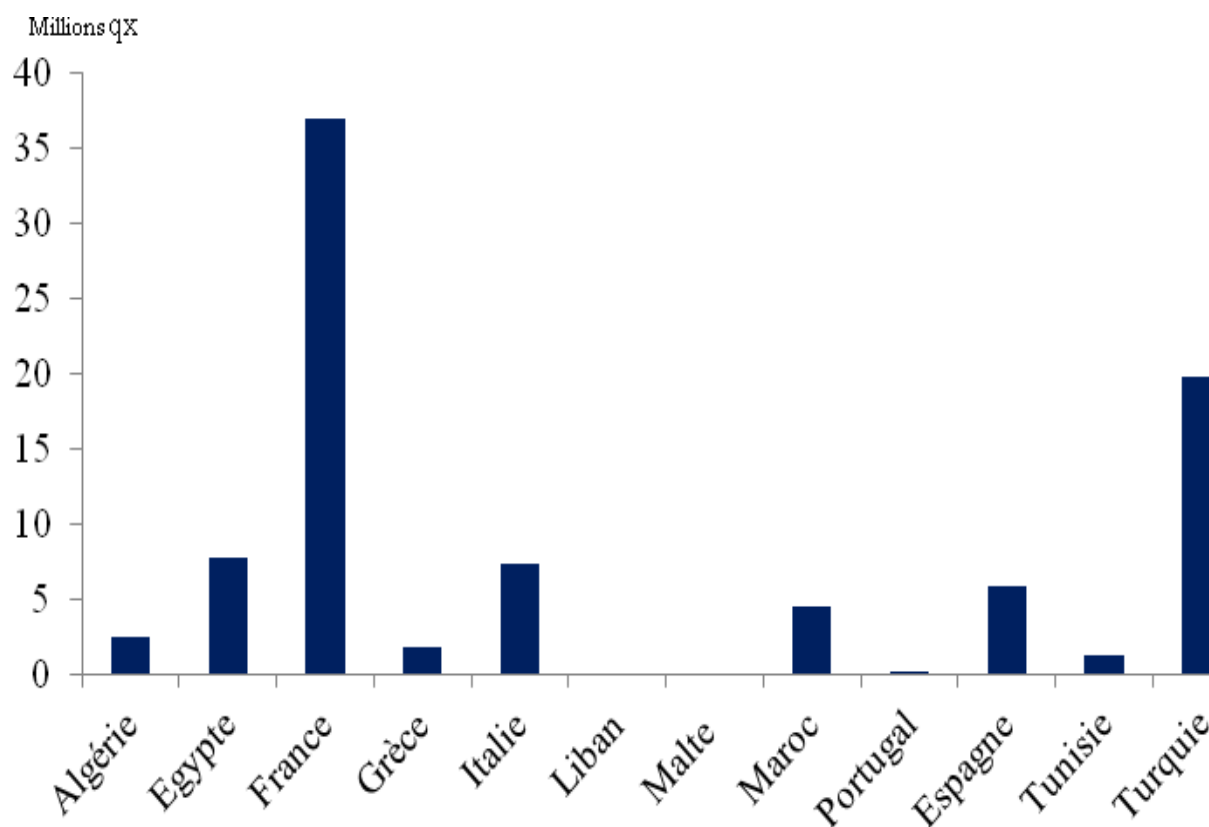
<b>Classement</b>	<b>Pays Producteurs de Blé en Tonnes (source: FAO)</b>	<b>2012</b>
1	Chine, continentale	120 580 000
2	Inde	94 880 000
3	Etats-Unis d'Amérique	61 755 240
4	France	40 300 800
5	Fédération de Russie	37 719 640
6	Australie	29 905 009
7	Canada	27 012 900
8	Pakistan	23 473 000
9	Allemagne	22 432 000
10	Turquie	20 100 000
11	Ukraine	15 762 600
12	Iran (République islamique)	13 800 000
13	Royaume uni	13 261 000
14	Kazakhstan	9 841 100
15	Egypte	8 795 483
16	Pologne	8 607 600
17	Argentine	8 197 855
18	Italie	7 767 300
19	Ouzbékistan	6 512 400
20	Romanie	5 297 748
21	Afghanistan	5 050 000
22	Espagne	4 650 300
23	Danemark	4 525 100
24	Bulgarie	4 455 100
25	Bésil	4 418 388

### 3.2. En Algérie

La superficie totale de l'Algérie est de 238 millions d'hectares dont 191 millions sont occupés par le Sahara, la superficie agricole ne représente que 3% de la totalité. La surface agricole utile est de 7,14 millions d'hectares, dont près de la moitié est laissée en jachère. Les cultures herbacées couvrent 3,8 millions d'hectares. La céréaliculture constitue la principale activité, notamment dans les zones arides et semi-arides. Les terres annuellement emblavées représentent 3,6 millions d'hectares, soit 50% des terres labourées (MADR, 2007).

Le blé dur est une culture traditionnelle dont l'origine remonte selon Laumont et Erroux (1961) à la venue des arabes. Cette spéculation se partageait avec l'orge, l'essentiel des emblavements alors que le blé tendre s'est développé après l'indépendance. La superficie occupée par le blé dur est de 1 457 913 hectares, en moyenne pour la période 1996/97-2003/2004. L'importance des superficies occupées par les blés, comparativement à celle de l'orge, est influencée par le prix à la production garanti par l'état. Ces prix sont de 4500, 3500 et 2500 DA le quintal respectivement pour le blé dur, le blé tendre et l'orge.

Une moyenne de 10 ans de production de blé depuis 2002 jusqu'à 2012, classe l'Algérie avant la Tunisie et après le Maroc soit 2.5 millions qx, 1.4 millions qx et 4.5 millions qx respectivement. En revanche, c'est la France qui possède la meilleure production (35million qx) ensuite la Turquie puis l'Egypte et l'Italie en même position (figure 2). Le taux faible de rendement est dû principalement aux contraintes climatiques et principalement le stress hydrique qui est un facteur limitant pour la plante.



**Figure 2.** Moyenne de 10 ans (2002-2012) de production du blé dur dans le monde.

## **4 .Eau et production végétale**

### **4.1. Rôle de l'eau dans la plante**

L'eau joue un rôle fondamental dans la croissance et la vie des plantes. Seules certaines plantes adaptées à des conditions de vie désertiques ou semi-désertiques peuvent résister à une sécheresse prolongée (quelques plantes à feuilles réduites en épine, cactées, plante crassulescentes). Toutes les activités physiologiques et métaboliques sont conditionnées par la présence de cet élément qui constitue un vecteur des éléments nutritifs (Riou, 1993). L'eau absorbée, qui entre dans la plante joue le rôle d'un liquide conducteur de sève (que ce soit la sève brute, riche en sels minéraux, où la sève élaborée, riche en sucre produites par les feuilles) et d'autre part pour la vie elle-même de chaque cellule de la plante.

Toutes les réactions biochimiques du vivant se produisent en effet en milieu aquatique. Il ne peut y avoir de division cellulaire, donc de croissance et de développement de nouveaux organes, sans eau. Selon Thiault (1977), la carboxylation photosynthétique qui s'effectue dans les chloroplastes utilise précisément l'hydrogène de l'eau pour la synthèse des glucides. Le manque d'eau peut ne pas être le seul élément freinant la photosynthèse : une température élevée supérieure à 30 °c provoque également la fermeture des stomates. En général la teneur en eau des tissus végétaux se maintient entre 60 et 90 % du poids frais (Binet et Brunet, 1967 ; Heller et al., 1993 ).

Selon Hillel (1984), en climat sec, les plantes qui croissent dans les champs consomment des centaines de tonnes d'eau par tonne de matière sèche végétale de croissance, c'est à dire que les plantes doivent véritablement transmettre à l'atmosphère instable la plus grande partie de l'eau qu'elles extraient du sol, souvent au-delà de 90 %.

### **1.2. Estimation des besoins en eau des cultures**

#### **1.2.1 Introduction**

Selon Poly (1979), le bilan d'eau au niveau d'une surface s'exprime en terme énergétique : C'est le bilan d'énergie. Il résulte d'apport et de pertes. Le climat est l'un des facteurs qui influe le plus sur le volume d'eau que la culture perd par évapotranspiration (Doorembos et Pruitt , 1975).

La détermination des besoins en eau des cultures se fait suivant deux grandes méthodes.

#### **4.2.2. Méthode directe**

Cette méthode est basée sur le principe du bilan hydrique à effectuer durant tout le cycle de développement de culture selon l'équation suivante :

$$ETM = I + P - D \pm V_s$$

I : Irrigation (mm)

P : Pluie (mm).

D : Drainages (mm)

V<sub>s</sub> : Variation du stock d'eau dans le sol

Les lysimètres sont les instruments nécessaires pour l'application de cette méthode. Deux types de lysimètres sont utilisés ; le lysimètre classique ou évapotranspiromètre à drainage et le lysimètre pesable. On doit donc réaliser des apports en irrigation quotidiennement, enregistrer les pluies, évaluer les pertes d'eau par drainage et déterminer la variation du stock d'eau dans le sol entre la réserve en eau initiale et finale du sol.

#### 4.2.3. Méthode indirecte

Le principe de cette méthode est basé sur l'utilisation de la fameuse relation suivante :

$$ETM = K_c \times E_{T_o}$$

K<sub>c</sub> : coefficient cultural

E<sub>T<sub>o</sub></sub> : Evapotranspiration potentielle de référence

On calcule l'évapotranspiration potentielle journalière ou décadaire selon le degré de finesse voulu. Puis, on choisit le coefficient cultural multiplicatif le quel est fonction de la nature de la culture, de la phase de vie du végétal et des conditions climatiques (Ollier et Poirée, 1981).

Plusieurs formules empiriques sont utilisées pour l'évaluation de l'évapotranspiration potentielle issue de deux méthodes :

Celles qui sont issues d'ajustement statistiques : Thornthwaite , Blaney - Criddle et Turc.  
Celles qui sont issues de l'analyse de l'ETP en tant que processus énergétique : Bouchet, Brochet Gerdier, Penman et Penman-Monteit

L'importance des pertes d'eau par transpiration des feuilles des plantes dans les conditions optimales d'alimentation en eau est d'autant plus grande que le rayonnement est important, la température élevée, l'air sec et le vent fort (Gallais, 1980). L'accroissement des

pertes d'eau transpirées semble provenir d'une augmentation de la tension de vapeur entre la feuille et l'air (Monteny, 1972).

### 4.3. Efficience agronomique de l'eau

L'efficience de l'eau consommée est définie comme étant le rapport entre le gain en matière sèche produite pendant un intervalle de temps donné et l'évapotranspiration d'un couvert végétal (Brunini et *al.*, 1984). Selon Marty (1997), l'efficience s'exprime par le rapport de matière sèche totale à l'eau consommée. Elle est sensiblement photosynthèse nette à transpiration.

Selon Gros (1979), en absence de facteurs limitant agronomique (manque d'eau, carence, parasites...), le stockage de la matière sèche dans les grains est l'aboutissement de trois processus physiologiques à savoir :

- ✓ la rapidité de mise en place de la surface, son importance et sa durée de fonctionnement.
- ✓ l'efficience de la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique par le végétal.
- ✓ la répartition des métabolites produits par les feuilles entre les différents organes de la plante.

### 4.4. Exigences agronomiques

#### 4.4.1. Exigences édaphiques

Les plantes ont besoin d'eau et d'éléments nutritifs, lesquels sont transportés, via les racines, du sol vers la partie productive des plantes. Si des caractéristiques défavorables des terres entravent le développement ou le fonctionnement du système racinaire, il en résultera un manque d'eau ou d'éléments nutritifs qui influenceront négativement sur la croissance et le rendement de la culture. L'état structural du sol conditionne l'implantation du système racinaire et donc le prélèvement d'azote par les plantes comme il modifie les conditions pédoclimatiques (aération et humidité) et l'activité des micro-organismes sensibles à ces variations comme la microflore nitrifiante (Houot et *al.*, 1990).

Les sols du type argilo-calcaire ou limoneuse à limono-argileux conviennent bien aux racines fasciculées du blé en assurant une grande surface de contact (Soltner, 2000).

Cependant, les sols à texture légère et acides, sont déconseillés pour le blé dur (Novak et *al.*, 2006). Les sols qui conviennent le mieux au blé sont des sols drainés et profonds. On évitera les sols contenant de fortes teneurs en sodium, magnésium ou fer. Le pH optimale se situe dans la gamme de 6 à 8 (Doorenbos et Kassam, 1979).

Les blés durs sont sensibles au calcaire et à la salinité ; un pH de 6,5 à 7,5 semble approprié puisqu'il favorise l'assimilation de l'azote (Soltner, 1988). Le sel a un effet dépressif sur le taux de germination, la croissance biologique et la production en grain (Ben Naceur et al, 2001).

#### 4.4.2. Exigences en eau

Les exigences en eau des cultures sont définies comme la lame d'eau nécessaire pour satisfaire l'évapotranspiration (Dorrembos et Pruitt, 1996). Les besoins sont évalués à partir de la demande climatique et le coefficient cultural (Tiercelin, 1998). **Les besoins du blé sont globalement situés entre 550 à 600 mm. Le blé a besoin de 4 à 5 mm par jour à la montaison, période qui voit s'élaborer une composante principale pour le rendement** (Moule, 1980).

Les besoins en eau de la culture du blé varient suivant les phases du blé. La répartition de cette consommation en eau présentée lors du colloque organisé par Arvalis, est selon Bonnefoy et Moynier (2014) comme suit :

**\*durant la phase (épis 1 cm - 2 nœuds), d'une durée de 20 à 25 jours, elle est de 60mm,**

**\*durant la phase (2 nœuds-floraison), d'une durée de 30 à 40 jours, elle est de 160mm,**

**\*durant la phase (floraison-grain laiteux), d'une durée de 20 à 25 jours, elle est de 140 mm,**

**\*durant la phase (grain laiteux- maturité), d'une durée de 15 à 20 jours, elle est de 90 mm**

Sur la base d'une étude sur l'évaluation des besoins en eau de cultivars de blé dur dans la région d'Oum el bouaghi (Etude du périmètre d'irrigation de f'kirina à l'aval de la retenue Collinaire d'Oulmene réalisé par Entreprise nationale de projets hydrauliques de l'Est Hydro-Projet-Est), il ressort que les besoins en eau du blé prennent de l'ampleur à partir du mois de mars, quelle que soit l'année climatique, la valeur maximale du coefficient cultural est atteinte au mois d'Avril (DHW-OEB, 2013).

Selon Musick et al (1994), les différentes recherches ont montré que pour le blé, la production minimale en grain nécessite une consommation située entre 200 à 210 mm.

#### 4.5. Tolérance des plantes à la sécheresse

La résistance à la sécheresse du blé dur est un phénomène très complexe qui fait intervenir plusieurs caractères phénologiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques (Daaloul et al, 2014). Les caractéristiques racinaires ne constituent qu'un des types

d'adaptation que la plante doit aligner aux autres (adaptation physiologiques, morphologiques et phénologiques reliées aux autres parties de la plante) pour faire face à la sécheresse (EL Fakhri *et al.*, 2010). Un système racinaire profond et puissant est une forme essentielle pour la résistance à la sécheresse. Selon Karrou, (1992), l'horizon superficiel 0-40 cm est la partie du profil cultural qui souffre le plus rapidement du déficit hydrique du fait qu'elle est exposée à une forte perte en eau par évaporation. Cette évaporation expose les racines à un dessèchement du sol et donc à la sénescence et au flétrissement rapide de la plante (Karrou, 1992 in Karrou, 2000).

Le développement racinaire est considéré comme l'un des facteurs importants de la variabilité inter et intra- spécifique de la tolérance à la sécheresse (Benlaribi *et al.*, 1990). Chez les blés dur et tendre, la diminution de l'indice foliaire soit la principale stratégie qui permet d'atténuer les effets de la diminution de la disponibilité de l'eau dans des conditions de stress. La diminution de l'expansion foliaire est soumise à un double contrôle, comprenant les équilibres hydriques et les signaux hormonaux provenant des racines (Alem *et al.*, 2002).

Selon Tardieu et Dreyer (1997), en situation de manque d'eau disponible pour la plante, cette dernière ferme ses stomates pour diminuer les pertes. Cependant, cette fermeture diminue les échanges gazeux et par conséquent, le système photosynthétique sera perturbé. Cette perturbation entraîne une diminution de la productivité de la plante.

#### **4.6 .Utilisation rationnelle de l'eau d'irrigation**

Selon Gillet, 1970 une meilleure utilisation de l'eau d'irrigation nécessite :

- Recherche les stades et les phases de développement critiques au cours desquels, les arrosages se révèlent plus efficaces et plus rentables ou tout rationnement ou excès d'eau sont néfastes pour l'avenir de la culture.
- Déterminer pour chaque région naturelle l'évapotranspiration potentielle et maximale (ETP), (ETM) entre autre le coefficient cultural ( $K_c$ ) des diverses espèces végétales pour évaluer correctement leurs besoins en eau des cultures ( $K_c = ETM/ ETP$ ).
- Tenir compte de la réserve utile (RU), et de la réserve facilement utilisable (RFU), car tout apport supplémentaire à la capacité de rétention ( $C_r$ ) sera perdu par percolation profonde.

L'analyse systématique des caractères phénologiques et morpho physiologiques d'adaptation au déficit hydrique montre que le problème de tolérance ne peut être envisagé indépendamment du type de sécheresse rencontré (Ali Dib *et al.*, 1992).

La sécheresse de début de cycle coïncide avec le démarrage de la culture (levée, tallage) et celle de fin du cycle, qui est la plus fréquente et qui affecte le remplissage des grains (Watts et El Mourid, 1988). Selon Debaeke (2009), la stratégie d'équise à la sécheresse consiste à décaler les stades phénologiques les plus sensibles au déficit hydrique (souvent la floraison) par le choix de variétés précoce ou de semis anticipées.

L'analyse des régimes pluviométriques à des échelles mensuelles et décennales décrit le type de régime pluviométrique et confirme le caractère erratique des précipitations sans toutefois permettre de situer la contrainte par rapport aux différents stades morphologiques de la plante (Benseddik et Benabdelli, 2000).

Classiquement, dans les études sur les effets de la sécheresse, la réduction de la croissance de la plante n'était envisagée que comme une conséquence du manque d'eau. Aujourd'hui, les chercheurs ont repensé cette relation, et considèrent la régulation de la croissance de la surface foliaire et du système racinaire comme un moyen de s'adapter au déficit hydrique. Ainsi, la croissance des feuilles est-elle directement régulée par les conditions climatiques: plus la demande évaporatoire est importante (atmosphère sèche, vent), plus la croissance des feuilles est faible, même pour des plantes bien alimentées en eau. Par ailleurs, en situation de déficit hydrique, un signal d'origine racinaire entraîne une réduction supplémentaire de la croissance des feuilles. Le déficit hydrique inhibe plus la croissance du système racinaire que le système aérien (Khaldoun et al, 1990 ; Benlaribi et al 1990).

Un changement, quel qu'il soit dans une des composantes environnementales du blé devient alors une opportunité pour la sélection à modifier les types génotypiques, afin de créer des cultivars mieux adaptés aux nouvelles conditions (Austin, 1999). De nouvelles technologies pour l'évaluation, la dessiccation, et la cartographie des composantes de la tolérance à la sécheresse ainsi que le transfert de cette information parmi les espèces, permettent d'accélérer la compréhension de ce phénomène. De plus, l'exploitation de la variation génétique et des avantages évolutifs de certaines espèces peuvent augmenter notre connaissance et nous apporter une source de gènes pour les transférer à d'autres espèces (Sorrells et al, 2000).

#### **4.7. Stress thermique chez le blé dur**

Les excès de température pendant la pleine croissance de l'épi (entre le stade de méiose et la floraison) se traduisent par des diminutions de rendement. Sur l'ensemble de la phase de remplissage, l'optimum thermique se situe vers 14 °c (Gate, 1997).

Aux températures élevées, l'activité respiratoire du grain croit de manière considérable et est en partie responsable des pertes de matière sèche. Les températures excessives pourraient aussi intervenir sur le contrôle de la synthèse de l'amidon et sur la régulation du transport des photosynthétats vers l'endosperme.

Contrairement aux basses températures survenant au même stade, le stress thermique induit surtout une stérilité femelle. A 30 °c, le tiers des ovaires a des sacs embryonnaires absents ou très peu développés (Gat, 1997). L'augmentation de la température des feuilles accélère le taux de transpiration et par conséquent ceci favorise l'apparition du stress hydrique chez la plante (Anderson, 1990).

L'effet dépressif peut résulter en parallèle d'un arrêt plus précoce de l'activité photosynthétique lié à l'apparition de la sénescence. Des températures extrêmes, supérieures à 30°C peuvent provoquer une altération des membranes des chloroplastes et diminuer l'activité de certaines enzymes de la photosynthèse comme la rubisco (Gate, 1997). Cet effet dépressif est accentué quand l'augmentation de température s'accompagne de l'élévation de la demande climatique ou d'un déficit hydrique. Le stade épi à 1cm constitue une limite critique dans le parcours de la plante car à partir de ce stade, la plante est très sensible au gel. Une seule journée de température inférieure à - 4° sous abris peut engendrer des dégâts. L'apparition de cette sensibilité au gel à ce stade précis s'explique par le fait qu'avant le stade épi 1cm, l'épi est logé au milieu du plateau de tallage situé au bas du sol et donc mieux protégé. Au cours de montaison, l'épi se situe d'une part à une hauteur de plus en plus élevée et d'autre part, il n'est plus entouré que par sa tige et par les gaines et limbes de feuilles qui cessent de l'abriter au fur et à mesure de leur émergence. Il est possible de limiter les effets du gel en créant par l'intermédiaire d'une densité faible, des décalages assez importants d'état de croissance entre les tiges d'une même plante. Dans les régions où la double contrainte climatique (risque de gel d'épis en cours de montaison et d'échaudage au cours du remplissage du grain) est fortement présente, le choix d'une date de semis précoce doit donc s'accompagner d'une faible densité de semis (Gate, 1997).

## 4.8 .Stress hydrique chez le blé dur

### 4.8.1. Concept du stress hydrique

Les stress hydrique et thermique (gel et hautes températures) affectent le développement de la céréale tout au long de son cycle (Bouzerzour et Monneveux, 1992). Cependant, la sévérité de l'incidence du stress hydrique sur le rendement dépend du stade végétatif auquel survient la contrainte hydrique (Mongensen et *al*, 1985).

Selon (Abbad et *al*, 2004) au fur et à mesure que le stress hydrique se développe, la photosynthèse de l'épi diminue moins que celle de la feuille étendard. Indépendamment du niveau du stress appliqué, on note une meilleure corrélation de la photosynthèse de l'épi avec la biomasse et le rendement par rapport à celle notée avec la feuille étendard. Parmi les acides aminés indicateurs du stress hydrique par leur accumulation est la proline. Plusieurs sélectionneurs et physiologistes se sont basés sur son accumulation dans le criblage de géotypes résistants au déficit hydrique (Benlarabi et Monneveux ,1988). Parmi les processus d'accumulation de la proline est la stimulation de sa synthèse par les stress (Morris et *al.*, 1969 ; Boggess et *al.*, 1976).

Tahri et *al*, (1998) à travers les résultats d'une étude sur l'effet du stress osmotique ont montré l'existence d'une connexion vraisemblable entre les voies de biosynthèse des pigments chlorophylliens et de la proline. Selon (Dekkaki et *al*, 2000), la fluorescence chlorophyllienne constitue un outil potentiellement intéressant pour l'évaluation de la tolérance du blé dur aux basses températures et au stress hydrique. Le comportement du cal vis-à-vis du stress n'est cependant pas toujours similaire à celui de la plante entière et la prise en considération de ces deux niveaux d'organisation apparaît nécessaire pour une meilleure compréhension de la complexité des mécanismes permettant à la plante de faire face au stress (Bajji et *al*, 2000). Les racines produites sous stress hydrique sont plus longues, plus fines et ramifiées. Un effet compensatoire apparaît entre les paramètres d'enracinement. Le nombre et le volume de racines sont réduits (Daaloul et *al.*, 2014).

Le phénomène du stress hydrique dépend également des facteurs internes relatifs à la plante comme le fonctionnement de leur système hormonal régulateur des plantes. En cas de stress hydrique, les stomates après élévation du gaz carbonique dans les chambres sous-stomatiques se ferment. Cette fermeture est commandée par l'hormone appelée acide

abscissique. En cas de déficience de certaines hormones, les stomates ne se ferment pas et par conséquent la plante flétrit suite aux pertes d'eau (Meyer et al., 2004).

Les effets du stress sont liés au degré et la durée du stress, au stade de développement du végétal et sa capacité génotypique (Welsch et al, 2008). Cependant selon Ben Naceur (1999), quel que soit le stade durant lequel survient le déficit hydrique, il affecte aussi bien la croissance que le rendement. Des déficits hydriques précoces pendant la phase tallage entraînent un arrêt du tallage (Davidson et Chevalier, 1990 ; Gate, 1995). Lorsqu'il survient juste avant l'épiaison (gonflement), ses conséquences sont les plus néfastes. Pendant cette période l'épi est déjà formé mais les organes floraux peuvent être sérieusement endommagés ce qui donne des épis dont la base et le sommet sont stériles. D'où l'intérêt d'apporter une irrigation de complément pendant cette période afin d'atténuer les effets de la sécheresse et sauver le maximum de production en cas de déficit hydrique.

La précocité d'épiaison est un mécanisme d'adaptation très important qui permet l'esquive des stress de fin de cycle (Ceccarelli et Grando, 1992 ; Monneveux P, This D, 1996; Richards et al, 1997).

## **5. Irrigation d'appoint du blé dur**

On définit généralement l'irrigation comme l'apport d'eau au sol dans le but d'assurer l'humidité nécessaire à la croissance des plantes. Cependant l'irrigation de complément ou d'appoint a été définie par plusieurs auteurs convergeant pratiquement aux mêmes attentes.

Afin de faire face aux effets négatifs de la sécheresse, toute stratégie d'amélioration et de stabilité des rendements sous conditions climatiques méditerranéennes nécessite des apports d'eau supplémentaires pour la culture du blé dur qui était habituellement conduite en pluvial.

Selon Gros (1979), l'irrigation constitue le moyen le plus normal d'augmenter l'offre d'eau à la plante. La définition du concept de l'irrigation d'appoint a été définitivement arrêtée dans les recommandations du séminaire de Damas en 1990 par le comité du projet national de la gestion de l'irrigation d'appoint en culture pluvial et l'amélioration de la gestion de l'irrigation au niveau de l'exploitation agricole comme « l'irrigation d'appoint des céréales consiste dans l'apport d'une quantité d'eau complémentaire en vue d'augmenter la production et de la stabiliser sous des conditions où les cultures céréalières sont habituellement réalisées grâce aux seules précipitations pluviométriques, et sous lesquelles

les apports effectués n'auraient pas suffi, seuls à conduire, et ce, quel que soit le niveau des ressources en eau disponibles pour l'irrigation rares ou abondantes ». Ce concept a évolué, actuellement plusieurs auteurs l'expriment en irrigation déficitaire.

L'irrigation déficitaire est l'un des moyens permettant l'économie d'eau dans les régions à ressources hydriques limitées, sans toutefois pénaliser les rendements des cultures. L'efficacité de cette approche peut être testée en établissant de façon expérimentale la relation eau-rendement (Radhouane et Jamil Mellouli ; 2007).

Dans les zones semi-arides du sud de la méditerranée, la faiblesse des précipitations et leur distribution aléatoire se traduisent souvent par une situation de contrainte hydrique qui est présente pratiquement tout au long du parcours du rendement du blé dur. La région du Chélif fait partie des zones céréalières de l'Algérie frappées par cette sécheresse. Des baisses de rendements considérables du blé dur y sont enregistrées, parfois les rendements sont nuls. L'irrigation d'appoint y est devenue donc l'une des principales alternatives à entreprendre pour l'amélioration et la stabilité des rendements.

La valorisation des eaux de pluie par des irrigations de complément, en zone semi-aride, est souvent intéressante ; le rendement moyen peut passer du simple au triple à condition d'utiliser des variétés adaptées (Merabet et Bouthiba, 2004). Selon Lacoix (1989), en matière de dose et de fréquence d'irrigation, la marge de manœuvre s'inscrit dans la limite du niveau d'équipement de l'installation dont dispose l'irrigant au regard des surfaces à irriguer. Les caractéristiques essentielles en sont le débit maximum effectif d'irrigation et la surface à irriguer. Le niveau d'équipement peut s'exprimer en débit mobilisable moyen en mm/jour.

$$Q = (1/10 q \times t) \div S$$

Q : débit mobilisable (mm/jour)

q : Débit de pompage (m<sup>3</sup>/h),

t : Temps effectif moyen d'irrigation (h/jour),

S : surface à irriguer (ha).

## **6. Pilotage de l'irrigation**

### **6.1. Définition**

Le pilotage de l'irrigation est encore appelé conduite ou programmation des arrosages. Il vise à prédire les besoins en eau d'irrigation et le contrôle de l'état de l'eau dans la plante. Il consiste donc à définir pour chaque irrigation, la date et la dose jugée optimale (Decroix et Peuch, 1985).

### **6.2. But du pilotage de l'irrigation**

L'objectif du pilotage consiste à optimiser l'irrigation en répondant aux questions :

Quand et combien faut-il apporter de l'eau d'irrigation ? (Decroix et Puech, 1985). Le pilotage tient compte également des façons de distribution de l'eau aux cultures tout en évitant les pertes importantes. Le pilotage préconise une maximisation des rendements et donc une optimisation de l'utilisation de l'eau d'irrigation en situation de déficit. Le pilotage permet d'éviter les effets des excès d'humidité dans le sol. Une irrigation pilotée, permet d'éviter tout type de stress hydrique que ce soit due à un excès ou manque d'humidité dans le sol. Elle aide donc l'optimisation de la gestion des périmètres irrigués.

En face de rareté de cet élément précieux, il devient plus qu'indispensable d'adopter une gestion rigoureuse des pratiques d'irrigation permettant une meilleure économie des volumes d'eau d'irrigation et la protection de l'environnement, car on considère que l'irrigation est aussi une source de pollution. Actuellement ces pratiques fond l'objet de l'agriculture de précision (Seelan et *al.*, 2003).

### **3.3. Méthodes de pilotage**

#### **3.3.1. Pilotage par tensiométrie**

Le principe de cette méthode est basé sur le suivi régulier de la tension de chaque tensiomètre après étalonnage de ce dernier entre deux valeurs, une valeur minimale à partir de laquelle se déclenche l'irrigation et une valeur maximale lorsque elle est atteinte l'irrigation. Les mesures doivent être effectuées sur la zone racinaire active à différentes pas de profondeur (Aidaoui et Hartani, 2000). Cependant, on doit noter que cette méthode ne convient pas bien aux cultures céréalières comme le cas du blé dur à cause des niveaux élevés de dessèchement que peuvent atteindre ces sols en absence de pluie. Les

tensiomètres ne possèdent pas toute la souplesse de réagir entre des valeurs extrêmes de tension pour longtemps.

### **6.3.2 .Pilotage par mesure de la température de surface**

Cette méthode consiste à suivre quotidiennement l'écart entre la température du couvert végétale  $T_s$  et la température de l'air  $T_a$ . Les écarts positifs ( $T_s - T_a$ ) sont cumulés et on considère que ce cumul est représentatif du déficit hydrique de la plante lorsqu'il atteint une valeur seuil estimée entre 4 et 5 °C. Au-delà, le rendement est pénalisé et il faut déclencher l'irrigation. Cette méthode est contraignante puisqu'elle nécessite un suivi quotidien au environ du midi solaire.

Les mesures étant de plus perturbées en cas de vent ou de passage nuageux. Cependant elle offre des avantages, les mesures fournissent une information sur l'état physiologique de la plante et la mesure peut être répétée en n'importe quel endroit de la parcelle (Aidaoui et Hartani, 2000).

### **6.3.3. Pilotage par mesure du potentiel foliaire**

Cette méthode est moins utilisée car elle présente l'inconvénient d'être laborieuse et délicate, parfois incertaine. Le principe consiste à mesurer la pression de l'eau dans les feuilles grâce à une chambre à pression appelée "chambre de Scholander". La mesure du potentiel foliaire s'effectue le jour sur une feuille fraîchement cueillie. On insère la feuille dans la chambre à pression en ne laissant sortir qu'une partie du pétiole, la mesure est d'autant plus précise que la portion sortante du pétiole est faible.



*Chapitre 2 :*

**Cadre physique et hydro-  
climatique**

### 2.1. Situation géographique

La plaine de F'kirina appartient au sous bassin versant de Garaet Tarf. Le sous bassin versant de Garaet Tarf d'une superficie de 2430 km<sup>2</sup>, appartient au bassin versant des hautes plaines Constantinoises (9578 km<sup>2</sup> de superficie).il présente une dénivelée de 1269m, sa forme allongée, sa faible pente, la nature géologique des terrains d'affleurement, ses températures spécifiques et sa couverture végétale ; sont des paramètres qui favorisent l'évapotranspiration et l'infiltration sur le ruissellement

La plaine de F'kirina est située à l'Est du pays, à la limite des hautes plaines constantinoises, des monts du Mellegue , des monts des Harectas et de ceux de Nememchas Sa superficie est de l'ordre de 760 km<sup>2</sup>

Pour les limites naturelles on distingue les zones suivantes:

-**Au Nord** : la ligne de partage des eaux formé par le djebel El Galaa Kebira(1246 m), Djebel Ammamrat El Kebira (1203 m),et le djebel El Forne (1184).

- **Au Sud**: la ligne de partage des eaux formé par le djebel Boutakhma (1291m), djebel fedj Amer (1259m), et le Djebel Bou Tebina (1226m).

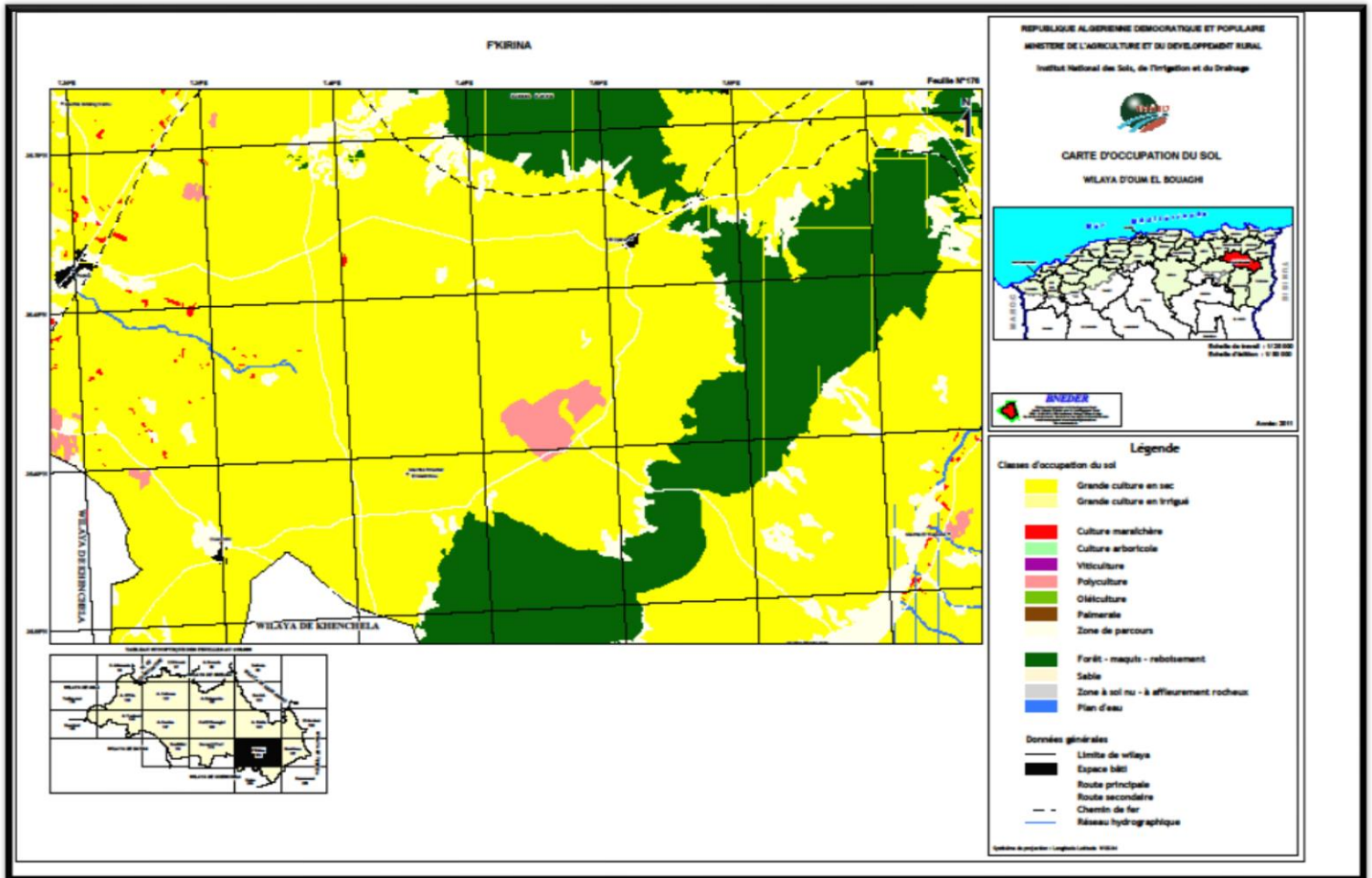
- **A l'Est**: la ligne de partage des eaux formé par le djebel El Medjifla (1174m), le Djebel Fedjijet (1291m), et le Kef El Assa (1117m).

- **A l'Ouest**: une vaste zone plate limite des hautes plaines constantinoises et par la Garaet Et Tarf.

Du point de vue administratif, la région d'étude appartient à la wilaya d'Oum El Bouaghi, avec deux principales agglomérations:

La ville de Ain El Beida et la ville de F'kirina qui sont distantes l'une de l'autre de 17 Km. Les voies de communication sont nombreuses, avec le principal axe routier Ain Beida - Khenchla. La route Meskiana-Khenchla dans la partie sud.

La voie ferrée (Constantine - Oueled Rahmoune) traverse la zone septentrionale.Avec l'existence de voies sous forme de pistes praticable et commodes à la circulation.



**Figure 3.** Situation géographique de la région d'étude (INSID,2011)

A partir de ces massifs de nombreux cours d'eaux temporaires donnent naissance; et forment le réseau hydrographique.

D'une façon générale l'écoulement se fait de l'Est vers l'Ouest, en direction de la sebkha de Garaet Et Tarf.

Les trois oueds temporaires les plus importants sont:

- Oued Nini.
- Oued oulmene.
- Oued Isfer.

## 2.2. Géomorphologie

En se référant à la carte topographique et géologique de la région de F'kirina à l'échelle de 1 /50000, on remarque que la géomorphologie de la zone d'étude n'est pas très complexe.

### 2.2.1. Le relief

Aux bordures de la plaine, sont réparties plusieurs montagnes qui forment la principale ligne du relief, d'altitudes très élevées et variables (supérieur à 1000m), et de direction générale NE-SW.

### 2.2.2. La plaine

Avec des altitudes variant de 840 à 950 m, la surface est donc pratiquement plane, avec des pentes qui ne dépassent pas les 2% à l'Ouest et 7% à l'Est

La plaine, est entièrement recouverte de formations plio-quadernaires ou on distingue :

- **Les éboulis à blocs** : sont des grosses masses de calcaires situées au piémont des montagnes et qui proviennent des éboulements
- **Les alluvions** : forment l'unique et restreinte de l'oued Nini
- **Les sols salés** : ils sont dispersés dans la plaine, surtout on allant vers l'Ouest près de Gareat Et Tarf
- **Les glacis** : on distingue deux types de matériaux constituant les glacis, les uns d'âge récent : couvrant de très vastes surfaces, les autres d'âge ancien formé de croûtes calcaires et sont perchés par rapport aux surfaces précédentes.

### 2. 3. Géologie de la région

L'étude géologique générale de la région de F'kirina est basée sur les cartes géologiques aux 1:50.000 N°148 (Oum El Bouaghi), N°149 (Ain Beida), N°176 (F'kirina) et N°204 (Ain Delâa) ainsi que sur les travaux effectués par Salah Guellal et J.M.Vila (1973). Les formations secondaires et tertiaires sont localisées à l'extrême Est, au Nord-Est et au Sud de la plaine de F'kirina.

En ce qui concerne la plaine, elle est recouverte par le Quaternaire.

#### 2.3.1. Description stratigraphique et lithologique (Fig 4) :

##### 2.3.1.1. Le Secondaire

Le Secondaire de cette région comprend des formations allant du Trias au crétacé supérieur.

- **Le Trias**

Dans la zone d'étude, les formations triasiques sont représentées de façon très discontinue. Quelques affleurements du Trias ont été observés dans les zones Nord-Est et Sud-Ouest d'Ain Delâa et de F'kirina.

Dans les deux cas, ces affleurements sont très réduits et constituent vers le Nord-Est leurs prolongements vers le Nord-Est sont représentées par Djebel El Krouma et Knif, (Nord de Khenchela). Le matériel triasique rencontré en ces différents points présente régulièrement la même composition lithologique, faite d'argiles versicolores représentées par des dolomies sombres, rubanées et crypto cristallines, des cargneules finement gréseuses et des grès.

##### 2.3.1.2. Le Jurassique

Aucun affleurement du jurassique n'apparaît dans la zone d'étude.

##### 2.3.2. Le Crétacé Basal : (Berriasien à Hauterivien)

Le crétacé basal se retrouve rarement à l'affleurement.

##### 2.3.3. Le Barrémien et L'Aptien

Ce crétacé inférieur a été reconnu

- Dans l'axe Bou-Arif - Fedjoudj - Et-Tarf.
- Dans la région de Khenchela (Djebel Pharaoun).
- A la limite Est de la feuille d'Ain Beida (Koudiat El Hadjel).

\***Le Barrémien sup.** Il est composé de marnes grises noires schisteuses et de grès blanc, fins argilo carbonatés à tendance quartzeuse. Son épaisseur est d'environ 80 m.

\***L'Aptien inf.** Il est représenté par des marnes gris noir à intercalations de marnocalcaires gris. Son épaisseur est de 100 m.

\***L'Aptien sup.** Il est formé de micrites et de bio-sparites et d'alternance de marnocalcaires, l'épaisseur atteint environ 300 m.

**2.3.4. L'Albien** Représenté par des marnes, des grès ferrugineux et des biosparites.

- **L'Albien sup. à Cénomaniens inf.** composé par des marnes et des biomicrites grises.

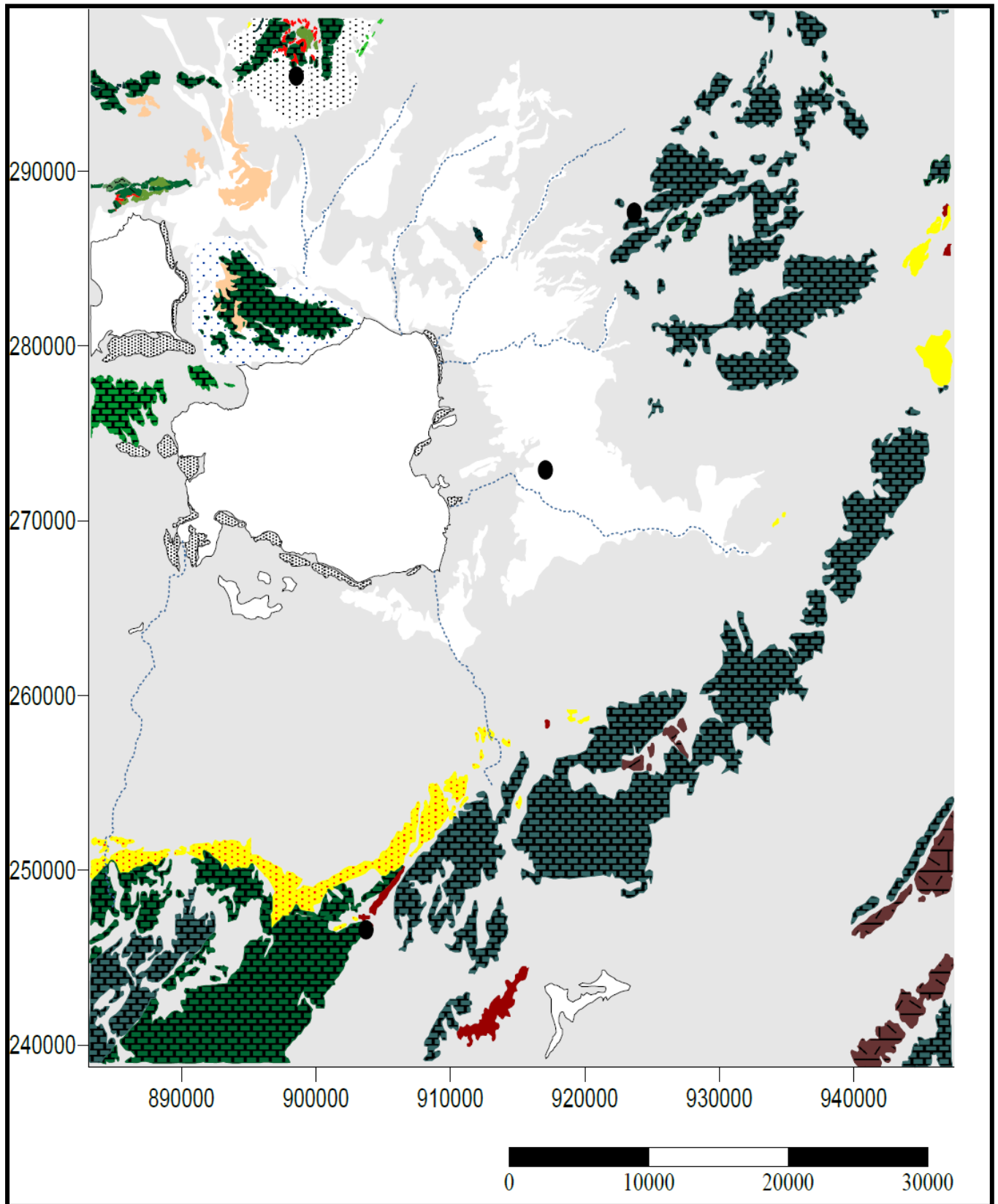
**2.3.5. Cénomaniens sup.** Il affleure dans la marge septentrionale de la feuille d'Ain Beida. Ce sont des marnes écrasées par la fracturation et des filons de calcite.

**2.3.6. Turonien** représenté par des marno-calcaires avec des calcaires en plaquette à la base. Il affleure lui aussi dans la marge septentrionale de la feuille d'Ain Beida où il est fortement fracturé.

**2.3.7 Sénonien** Du fait de l'importance de l'érosion antérieure au dépôt du Miocène marin, le Sénonien affleure de façon très irrégulière, il est très épais et atteint les 1200m à 2000m. La partie supérieure de l'étage, formée régulièrement de calcaires massifs, donne des crêtes continues formant un des éléments caractéristiques de l'orographie de l'ensemble de la région.

Les séries Sénoniennes rencontrées, sont essentiellement marno-calcaires et souvent très fossilifères. Vers le Nord-Est de Khenchela, elles montrent une nette variation de faciès qui se poursuit jusqu'au Djebel El Bardo sous forme de calcaires bréchiques, récifaux et bioclastiques.

- **Coniacien** alternances de marnes grises et de calcaires noduleux beiges ou ocre contenant parfois des grains de quartz; l'épaisseur de ce dernier est de centaine de mètres.
- **Santonien** alternances de calcaires noduleux et de marnes grises l'épaisseur est de l'ordre de 100 à 150 mètres



**Figure 4.** Carte géologique modifiée depuis les cartes au 1.50000 d'Oum el Bouaghi, Ain Beida, Gareat Taref , Khenchela et Dalaá ( Dib, 2018).



Figure 5. Légende de la carte géologique (Dib, 2018).

- **Campanien** le Campanien est constitué à la base par une barre de calcaires de 75 à 90 m. d'épaisseur surmontée par des marnes grises ou beige et des alternances de marne et de marno-calcaires 60m.
- **Maestrichtien** Il est illustré par :
  - ✓ **Le Maestrichtien Inf.** Il est représenté par 40 m environ de marnes grises-beiges, suivis d'une alternance de marnes beiges et de biomicrites argileuses ocres.
  - ✓ **Maestrichtien Sup.** Ses niveaux déterminent la ligne principale des reliefs, ils sont représentés par :

Des bio-microsparites grises, noduleuses, phosphatées et glauconieuses à passage marneuses à la base, alors qu'au sommet ce sont des biomicrites gris blanchâtres, massives (cassure blanchâtre) à passées noduleuses et à rognons de silex, la puissance de cet ensemble est de 120 m.

Une diminution de la puissance du Maestrichtien supérieur du sud vers le Nord, est à signaler. La séquence inférieure du Maestrichtien à marnes et biomicrites argileuses est régulièrement homogène, sa partie supérieure, du sud au nord, change de faciès, les biomicrosparites péricifales, massives, passent rapidement dans la région d'Ain Dalâa et de La Meskiana à des micrites crayeuses, au Dj. Taffrent (F'kirina), le toit du Maestrichtien est souligné par une surface ferrugineuse.

### 2.3.1.2.. Le Tertiaire

**1. L'Eocène** La répartition de l'Eocène est irrégulière au sud (secteur d'étude) où de rares témoins subsistent à la suite des érosions successives.

Il a été reconnu sur les flancs Est et Ouest du vaste anticlinal de la Meskiana, à Garaet Said et au Djebel Taffrent où il affleure à la faveur de larges replis synclinaux.

Il s'agit des termes inférieurs de l'Eocène qui ne montent pas plus haut que l'Yprésien supérieur (du fait de l'érosion) et qui présentent une séquence marneuse et une séquence carbonatée séparées par une discordance légèrement gréseuse.

La série inférieure de l'Eocène qui paraît la plus complète se situe à 1 Km au sud de la localité d'Ain Dalaa. Ainsi, au-dessus du toit raviné du Maestrichtien supérieur, viennent en concordance :

- 70 m de marnes grises verdâtres à la base.
- Une alternance de marnes gris beiges et de biomicrites finement gréseuses, beige et noduleuses.

- 80 m d'une alternance de micrites gris blanchâtres à nodules phosphatés et de biomicrites, blanchâtres souvent noduleuses à grains de phosphates à nombreux rognons de silex.

On signale l'absence de l'oligocène.

## 2. Le Miocène

Il est constitué de quatre faciès différents :

-**L'Aquitano-burdigalien** : Correspondant à la base du Miocène, il est discordant sur le Crétacé et est composé de conglomérats rouges dont l'épaisseur ne dépasse pas les 80 mètres.

-**Le Langhien- Serravalien** : Peu épais, environ 40 mètres, et discordant, il est composé par des marnes, des biomicrites et des grès blancs.

-**Le Tortonien Gréseux** : (Discordant sur des terrains allant du Sénonien à l'Albien). Composé de grès blancs grossiers en bancs avec rares intercalations argileuses. Cette formation à une puissance d'environ 300 mètres.

-**Le Tortonien Supérieur Continental** : Environ 150 mètres d'épaisseur, il est représenté par des argiles silteuses de couleur beige et rouge et par des grès.

## 3. Le Quaternaire

Il couvre la quasi-totalité de la plaine et est présenté par :

-**Les éboulis à blocs** : ces éboulis proviennent du démantèlement des corniches calcaires du Maestrichtien supérieur.

-**Les alluvions actuelles ou récentes** : il s'agit de limons gris et des graviers, ces alluvions ont une extension limitée aux vallées de l'Oued Nini à l'Ouest et surtout de l'Oued Meskiana à l'extrême Sud-Est de la région d'étude.

-**Les sols salés de Sebkh**a : ils ont une extension de quelques hectares et ils sont observables au milieu de la vallée de l'Oued Meskiana.

### -**Les terres arables et les alluvions anciennes** :

La partie occidentale de la région est recouverte de limons sombres, ils correspondent à des alluvions anciennes dont la morphologie est très plate.

### -**Les glacis polygéniques** :

Ces glacis couvrent de très vastes surfaces, leur organisation en pente douce, sont tout à fait caractéristique, ils ravinent le cycle antérieur des glacis, caractérisées par des croûtes massives.

Il s'agit d'un nappage complexe à débris bien calibrés, parfois légèrement en croûtes, l'aspect est celui des croûtes calcaires rosâtres feuilletées.

**-Les croûtes calcaires :**

Ces formations sont perchées au-dessus des glacis polygéniques. Leur aspect est celui de croûtes massives blanches, entaillées et karstifiées qui forment des surfaces taraudées, et des dépressions de formes variées.

Le réseau hydrographique quaternaire a été influencé de façon considérable par les mouvements tectoniques du Miocène et Pliocène.

**2.4. Les styles structuraux**

Les formations parautochtones Nord Auresiennes représentées dans la zone centrale par les Dj. Fedjoudj, Kef Gouriret et Dj. Tarf, les massifs à l'est d'Ain Beida ainsi que la ligne de reliefs monoclinaux des Djs. Boutokhma, Fedjidjet et Guern Ahmar illustrent les formations autochtones Nord Aurésiennes.

Le secteur Sud-Ouest de la région étudiée au-delà de l'axe Kais - Baghaï - koudiat El Mzara et Dj. Stih correspond aux formations autochtones Aurésiennes. Tous ces massifs sont affectés de plissements parfois intensifs selon la direction atlasique prédominante (Nord 40°Est) et cisailés par des failles type atlasique de directions majeures (NE – SO) qui leur donnent un aspect compartimenté.

**2.5. Les dépressions et fosses d'effondrement**

Ces structures géologiques sont illustrées aussi bien par les grandes étendues comprises entre les massifs de Ain Beida et le parautochtone Nord Aurésien que par celles comprises entre les massifs d'Ain Beida, l'axe Fedjoudj – Tarf et l'axe des Djebels Guern Ahmar, Taffrent.

Ces dépressions et fossés ont été engendrés par le compartimentage dû aux failles atlasiques, du fait de la nature des matériaux les composant, le plus souvent marneuse ou marnocalcaires, formations ayant réagi plus facilement aux efforts tangentiels auxquels elles ont été soumises. Elles sont aujourd'hui comblées d'un matériel Moï-Plio-Quaternaire.

**2.6. Structure et tectonique (fig6)**

Les différentes unités structurales en présence sont la résultante de deux importantes phases orogéniques tertiaire ayant engendré les structures et reliefs actuels. Il s'agit de la phase atlasique d'âge fini Lutétien intra Priabonien et de la phase Alpine Miocène, de type tangentiel.

Ces deux tectogenèses génératrices de tectoniques souple et cassante, ont donné naissance aux différentes formes structurales :

Failles de direction générale Nord-Est, Sud-Ouest, en passant par les grands plissements, synclinaux et anticlinaux. Les formations Plio-Quaternaire sont le siège d'une néotectonique caractérisée par d'importants mouvements verticaux et des compressions modérées.

La direction majeure de la région est SW-NE (direction des plis de l'Aurès), elle est due aux plissements anté-miocène. Le Miocène est discordant sur les terrains antérieurs.

Dès cette époque ont débuté les montées diapiriques du Trias. Disloquant surtout les calcaires récifaux du Crétacé inférieur, celles-ci ont ouvert la voie aux venues minéralisatrices.

Quelques mouvement se sont produits pendant le dépôt du miocène, d'autres, plus importants et postérieurs, ont provoqué des plissements orthogonaux à la direction ancienne des failles et fractures orientées NW-SE.

### 2.6.1. Les principales unités tectoniques sont les suivantes

\*L'anticlinorium du massif d'Ain Beïda

\*Le prolongement NW du grand anticlinal de Khenchela. Celui-ci, après s'être ennoyé sous la plaine de F'Kirina, réapparaît vers le NW et est matérialisé par la structure anticlinale de Argoub Zitoun jalonnée par des pointements Triasiques.

\*L'anticlinal de la Meskiana. Entre eux s'intercalent les synclinaux, tel que le synclinal perché de Mzara.

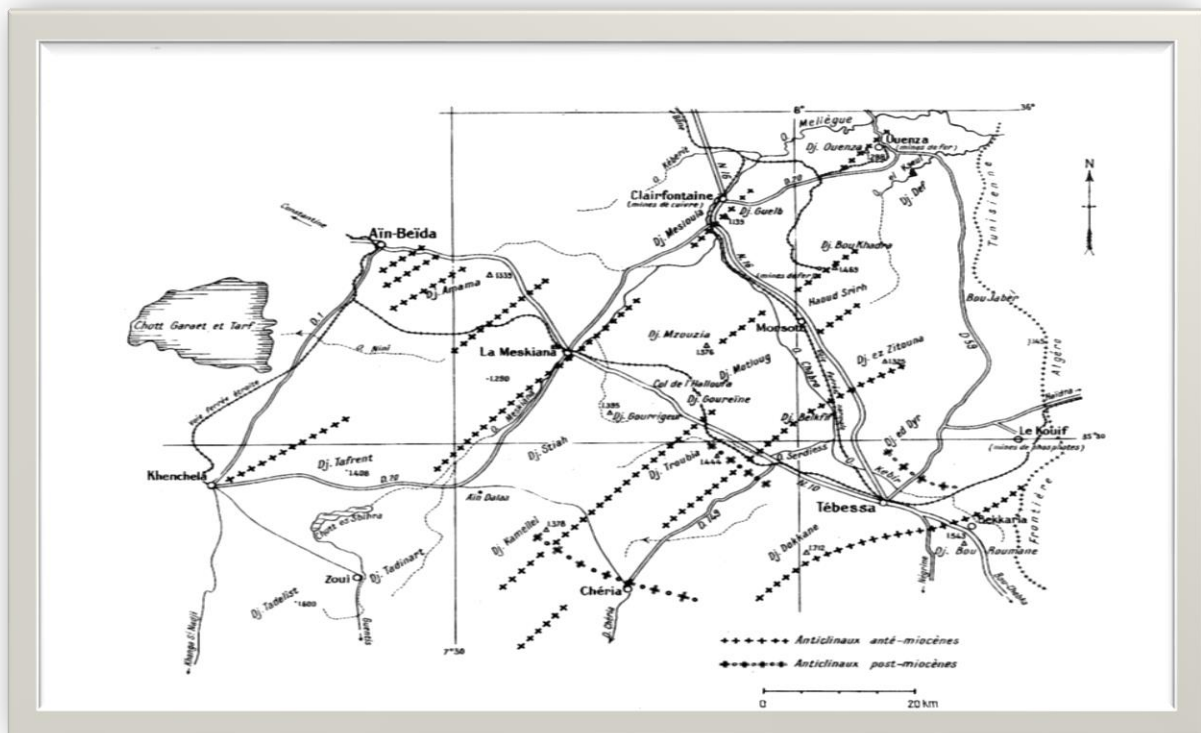


Figure 6. Carte Structurale et tectonique de la région d'étude.(Younssi H.E,2009)

## 2.7. Hydro-climatologie de la région

L'hydro-climatologie est une étape très importante pour une étude hydrogéologique. Elle permet de quantifier la part d'eau ruisselée et la part d'eau infiltrée utile à l'alimentation de l'aquifère.

Toute étude hydro-climatologique dépend de deux paramètres essentiels :

- Les précipitations qui nous renseignent sur les quantités d'eau utile au renouvellement de réserves et sur le régime pluviométrique.
- Les températures sont nécessaires pour estimer l'évaporation et l'évapotranspiration qui influent sur la part d'eau contenue dans le sol et par conséquent utilisable.

Ce dernier point est important pour les réserves souterraines en eau que pour la végétation et les cultures agricoles.

L'Algérie est caractérisée par une variabilité climatique liée aux irrégularités topographiques et aux influences opposées de la Méditerranée et du Sahara.

En ce qui concerne notre secteur d'étude le climat est semi-aride froid à sec.

### 2.7.1. Les facteurs climatiques

#### 1. La température

La température est un facteur limitant, elle conditionne la répartition spatiale des végétaux. D'après Seltzer, (1946) cité Benissad, (1992), la température baisse avec l'altitude selon un degré de 0.7°C par 100m d'élévation en altitude aux températures moyennes maximales, et de 0.45°C pour les températures moyennes minimales.

**Tableau 3.** Température moyenne mensuelle (1990-2010).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
<b>M</b>	11.2	12.4	15.6	17.6	23.1	27.8	30.8	30.6	26.1	22.8	16.7	13.3	20.86
<b>m</b>	-0.2	1	4.6	7.6	13.1	18	21.4	21.2	16.1	11.2	4.7	0.7	9.74
<b>M+m/2</b>	5.6	6.7	10.1	12.6	18.1	22.9	26.1	25.9	21.1	17	10.7	7	15.3
<b>A</b>	11.6	11.4	11	10	10	9.8	9.4	9.4	11	11.6	12	12.6	11.12

Source station météorologique Oum el Bouaghi.

M : température maximale mensuelle.

A : amplitude thermique

m : température minimale mensuelle.

M+m/2 : température moyenne mensuelle

Il ressort de l'évaluation des températures que :

- le mois le plus chaud est le mois de juillet, avec une valeur de température maximale moyenne de (30.8°C)
- le mois le plus froid est le mois de janvier, avec une température minimale de (11.4 °C).

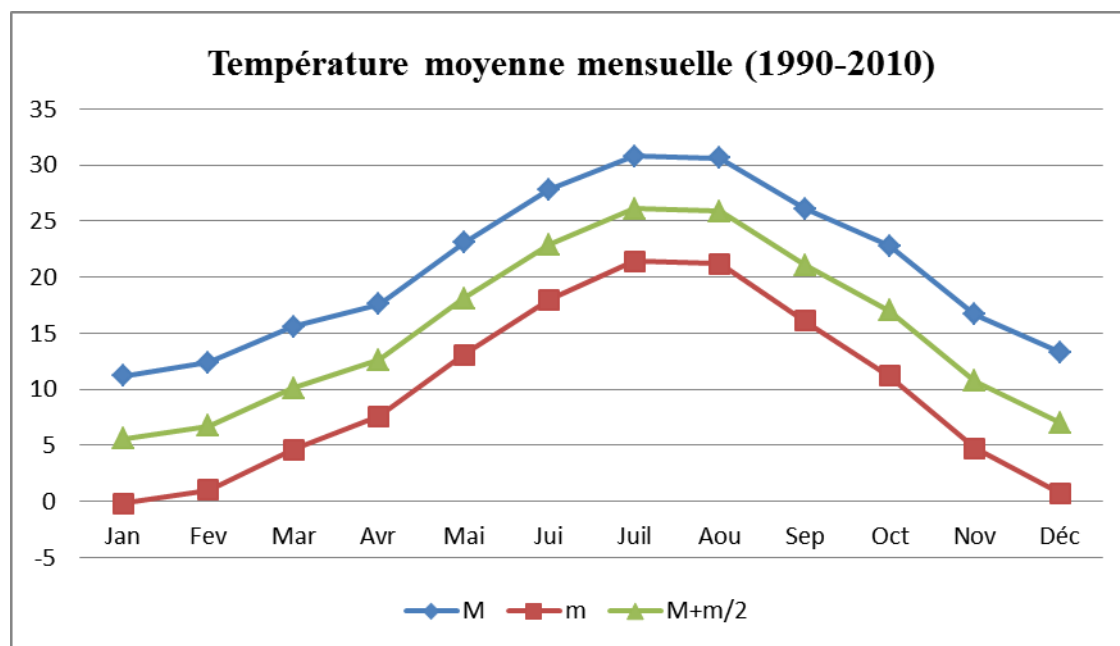


Figure 7. Température moyenne mensuelle (1990-2010).

## 2. Les précipitations

La pluviométrie augmente au fur et à mesure qu'on s'élève en altitude, les versants nord sont plus pluvieux que les versants sud Seltzer (1946) in Benissaad,(1992), avec une élévation de 40mm pour 100m d'altitude sur les versants exposés en nord alors que pour les versants sud, Leheuerou in Abdessemmed (1981) donne une élévation de 20mm pour la même altitude (100m).

Tableau 4. Pluviométrie moyenne mensuelle (1990-2010).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuel
Oum El-Bouaghi	37,3	30,4	27,5	33,8	44,9	23,7	10,1	24,8	30,5	29,6	37,5	47,8	377,9

Source station météorologique Oum el Bouaghi.

Le tableau N°4 montre que le mois le plus sec est le mois de juillet (10mm) ; et le mois le plus pluvieux est le mois de décembre (47.8mm).

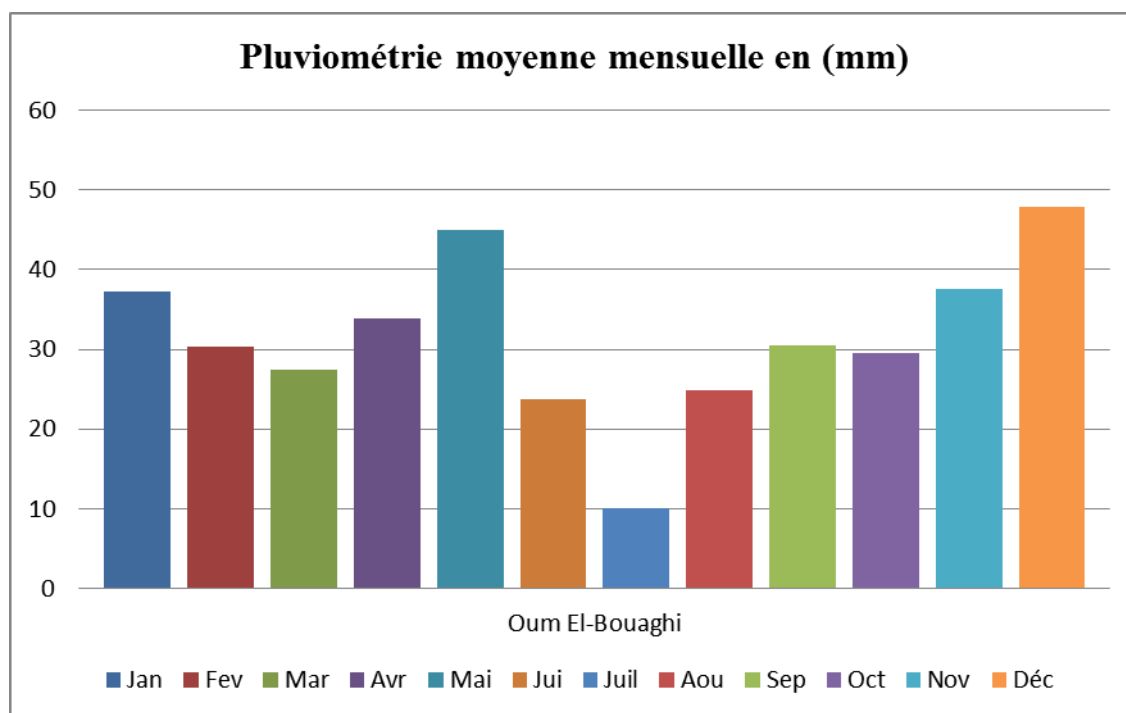


Figure 8. Pluviométrie moyenne mensuelle en (mm).

### 3. Les vents

Le vent est un paramètre important qui représente le climat il a un influence directe sur la température, l'humidité et active l'évaporation.

Les vents d'hiver et d'automne soufflent de direction ouest, tandis que ce d'été et de printemps sont de directions nord.

Tableau 5 .Vitesse moyenne mensuelle du vent en (m/sec).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne
Vitesse du vent(m/s)	1,35	1,53	1,61	1,87	1,71	1,94	2,05	1,98	2,04	1,93	2,21	2,38	1,9

Source station météorologique Oum El-Bouaghi (1993-2010)

La vitesse moyenne annuelle du vent enregistrée est de 1.9m/s, avec une vitesse minimale de 1.98m/s pendant le mois d'août, et une maximale qui atteint 2.38 m/s pendant le mois de décembre.

#### 4. Neige

Elle constitue un élément climatique important car, la couverture neigeuse, par ces propriétés isolante, protège efficacement la végétation du froid, elle ralentit relativement les pertes par ruissellement et laisse le sol s'imbiber d'une façon continue et s'humecter profondément.

**Tableau 6.** Nombre mensuel de jours de neige

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne
Nombre moyen de jours de neige	10,8	8,0	4,9	1,3	0,3	0	0	0	0	0,1	2,0	7,1	2,87

(Station météorologique d'Oum el Bouaghi; 1995-2010)

**N.B:** les valeurs présentées dans le tableau ci-dessus, sont des valeurs moyennes interannuelles (sur 16ans) Le nombre moyen interannuel de jours de neige enregistré, est de 8 Jour par an.

#### 5. Les gelées

Les gelées sont engendrées des basses températures, elles sont fréquentes en hiver et au printemps.

**Tableau 7.** Nombre moyen mensuel de jours de gelée

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne
Nombre moyen de jours de gelées	2,69	2,27	0,82	0,38	0,15	0,0	0,0	0,0	0,17	0,08	0,21	1,23	8,0

(Station météorologique d'Oum el Bouaghi ; 1994-2009)

**N.B :** les valeurs présentées dans le tableau ci-dessus, sont des valeurs moyennes interannuelles (sur 17ans).

### 2.7.2. Synthèse climatique

Il est très difficile d'intégrer dans une synthèse claire tous les éléments du climat. On se contente en général de considérer les combinaisons les plus significatives (précipitations température). Pour restituer le caractère global du climat d'un lieu on utilise des indices ou des représentations graphiques pour les éléments climatiques considérés comme déterminant, les indices climatiques sont plus adaptés pour caractériser le climat général par contre les représentations graphiques permettent de traduire les régimes climatiques.

### 2.7.3. Les indices climatiques

Les indices permettent le rapprochement ou la comparaison de deux éléments climatiques importants. La complexité chaleur eau peut être caractérisée par l'indice de sécheresse définie comme le rapport du pouvoir humidifiant (précipitations) au pouvoir desséchant (Evaporation). Sur cette base, quelques indices sont souvent utilisés:

#### 2.7.3.1. Quotient pluviométrique d'EMBERGER « Q3 »

Il permet de situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique qui lui correspond (DAJOZ, 1971). Le quotient pluviométrique d'Emberger est déterminé selon la formule suivante (STEWART, 1969).

$$Q3 = (3,43 \times P) / (M-m)$$

Q3 est le quotient pluviométrique d'Emberger;

P est la somme des précipitations annuelles exprimées en mm;

M est la moyenne des températures maxima du mois le plus chaud en 0C;

m est la moyennes des températures minima du mois le plus froid en 0C.

Le quotient pluviométrique (Q3) de la région d'Oum el bouaghi calculé pour une période de dix ans (2004-2013) est égal à 6,9. En rapportant cette valeur sur le climagramme d'EMBERGER, accompagnée de la valeur de la température minimale (5°C.) du mois le plus froid, il est à constater que la région d'Oum el bouaghi se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux (Fig. 10).

#### 2.7.3.2. Indice annuel d'aridité de DEMARTONNE « La »

DEMARTONNE a proposé de caractériser le climat d'une région par un indice numérique donné par le rapport :

$$La = P / (T+10)$$

Avec:

La : indice d'aridité annuel de DEMARTONNE.

P : Pluviosité annuelle en mm.

T : La température moyenne annuelle en °C.

Valeur de la	Type de climat
$La < 5$	Désertique
$5 < La < 10$	Aride
$10 < La < 20$	Semi-aride
$20 < La < 30$	Sub-humide
$30 < La$	Humide

(HALIMI, 1981)

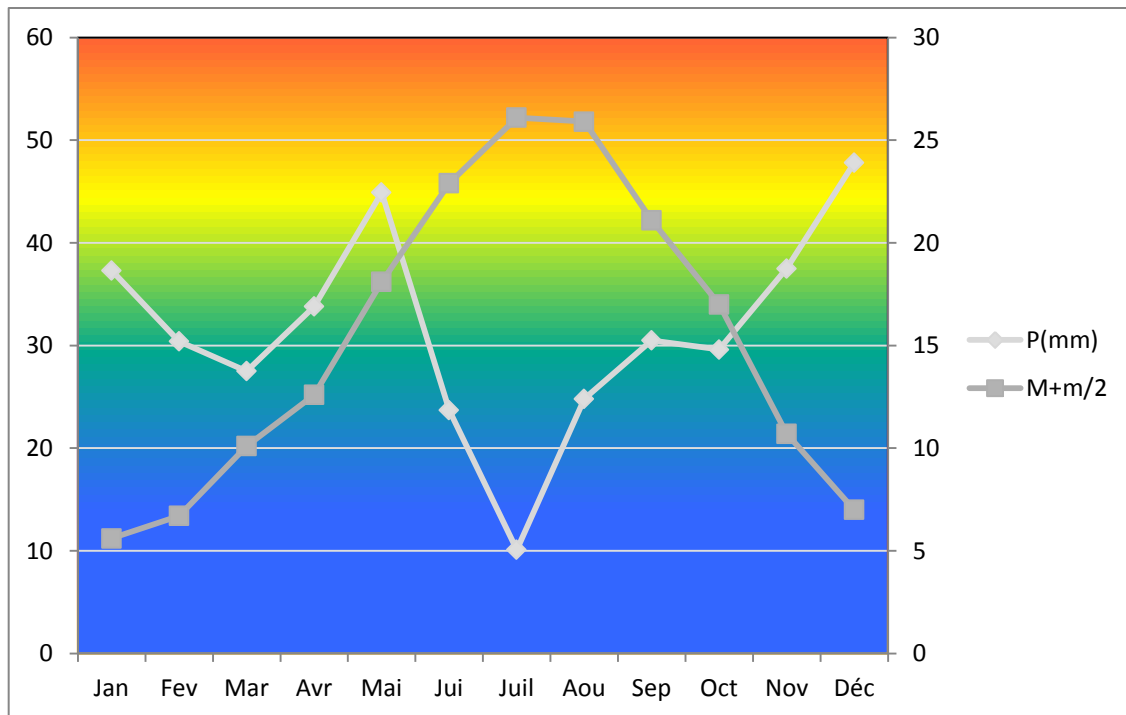
D'après les données de la station d'Oum-el Bouaghi,  $P=377,9$  mm et  $T=15,3$  °C ; nous avons obtenu une valeur de  $La=14,93$  ; qui nous informe que notre région est dominée par un climat du type semi-aride.

### 2.7.3.3. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS

Afin de mieux caractériser le climat de notre région, on utilise des diagrammes climatologiques représentant graphiquement les fluctuations saisonnières de plusieurs éléments climatiques, tels que les précipitations, températures, le vent, l'humidité ...

Gausсен utilisа la température, les précipitations, ces éléments sont combinés entre eux de façon à faire apparaître les périodes ayant une influence favorable ou défavorable sur la végétation.

L'indice de Gausсен s'applique surtout aux climats qui comportent une saison sèche assez accusée en considérant que celle-ci représente un facteur écologique défavorable à la végétation (Halimi, 1990).



**Figure 9.** Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS de Oum El Bouaghi.

Le tracé du diagramme ombrothermique de Gausсен à partir des données climatiques de la station d'Oum el Bouaghi, montre:

- Une période sèche s'étalant de Mai, jusqu'à la mi-October, d'où l'apport nécessaire d'un complément d'irrigation.
- Et une période humide s'étalant de la mi-octobre jusqu'à la fin de mois de Avril.

L'analyse du climat de notre région d'étude à partir des données climatiques de la station météorologique d'Oum el Bouaghi montre que la région est dominée par un climat semi-aride, à hiver froid et humide et un été sec et chaud, dont la pluviométrie moyenne annuelle est de 31,49 la température moyenne annuelle de 15,3°C, et une période sèche de cinq mois, d'où la nécessité d'une irrigation de complément pendant cette période.

#### **2.7.4. Estimation de l'évapotranspiration et calcul du bilan hydrique**

##### **1. L'évapotranspiration**

Le concept de l'évapotranspiration a été introduit, comme un paramètre climatique, pour la première fois par l'américain Thornthwaite en 1948 (auteur de l'expression de l'évapotranspiration potentielle), dans un contexte de classification du climat. Il considère qu'il y a une distinction entre le volume d'eau qui est effectivement évapotranspiré et celui qui pourrait être évapotranspiré, s'il était possible.

Lorsque la disponibilité en eau augmente l'évapotranspiration atteint un maximum qui dépend uniquement du climat. En conséquent, on a un climat humide lorsque la pluie annuelle est supérieure à l'évapotranspiration potentielle et inversement pour le climat aride quand la pluie est inférieure à l'ETP (Oudin, 2004).

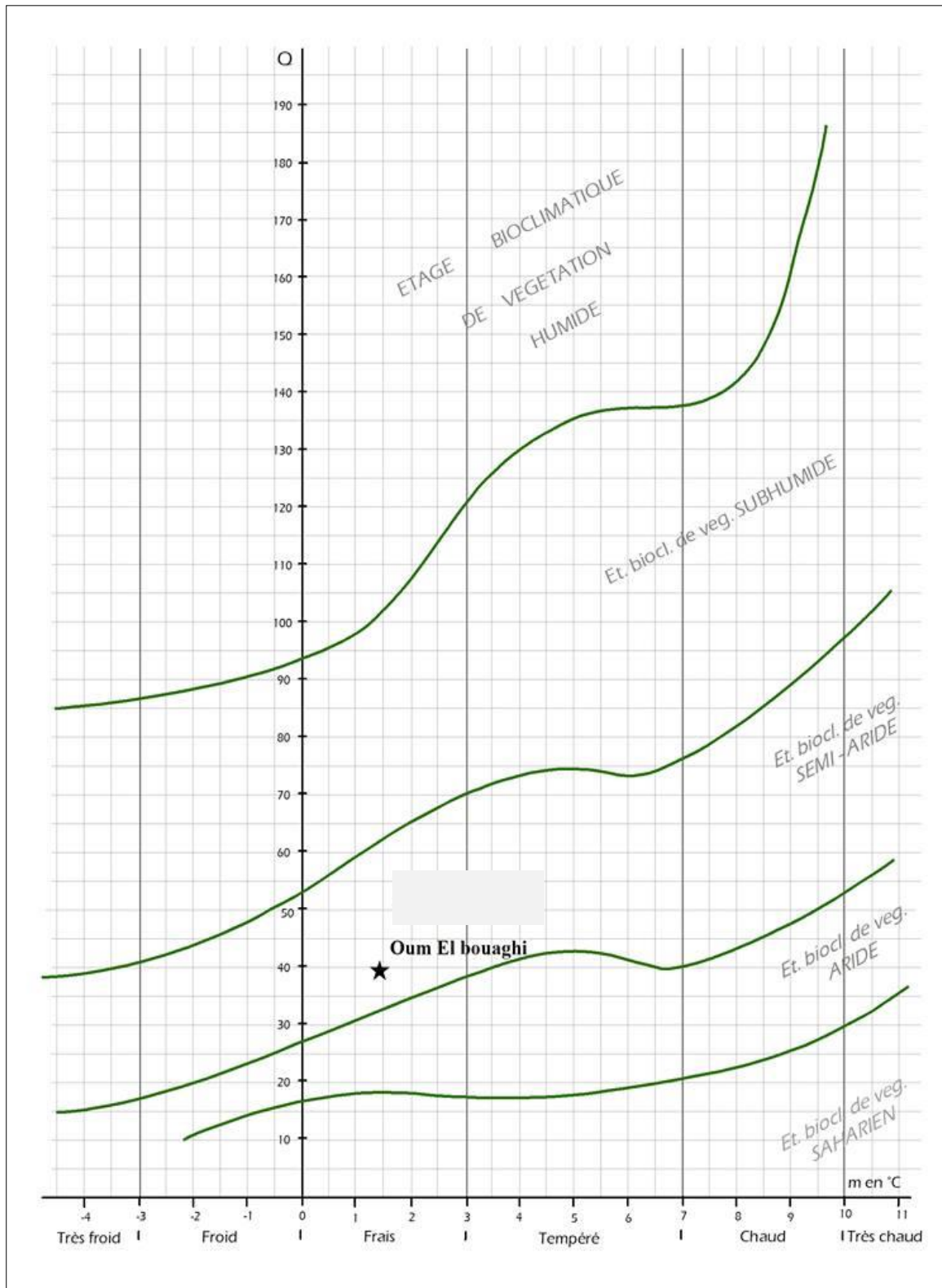
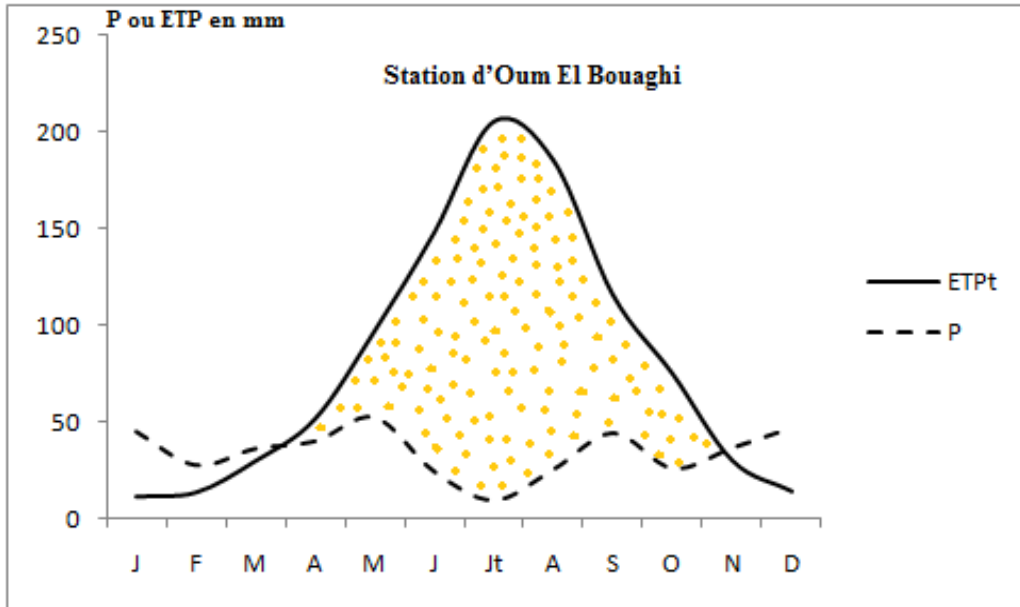


Figure 10. Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger de la zone d'étude.



**Figure 11.** Evolution mensuelle de l'évapotranspiration potentielle calculée selon la méthode d'estimation de Thornthwait. La partie avec pointillés indique les périodes de déficits d'évapotranspiration.

On a adopté la méthode de Thornthwait qui s'appuie sur des données facilement accessibles : la température moyenne de l'air sous abri et la durée théorique de l'insolation qui dépend de la saison et de la latitude.

$$ETP = 16 * (10T / I)^a * F$$

**T** : température moyenne mensuelle en °C

**I** : indice thermique annuel, somme des 12 indices mensuels

$$I = \sum_{J=janvier}^{décembre} I_j \quad \Rightarrow \quad I_j = (T_j/5)^{1.514}$$

**a** : fonction complexe de l'indice I

$$a : 0,018 (I) + 0,492$$

**F** : terme correctif fonction de la durée théorique de l'insolation variant avec la latitude et la saison (voir annexe latitude Nord)

En saison sèche, l'air sec et les Températures élevées accélèrent l'évapotranspiration. Au cours de la saison pluvieuse les données d'évapotranspiration diminuent considérablement pour atteindre leur niveau le plus bas (**39 mm en moyenne**) au moment de l'hiver où l'ennuage et les hauteurs de pluie atteignent leur maximum.

## 2. Bilan hydrique

La méthode de Thornthwaite considère un sol à une seule couche S dans lequel l'évolution du contenu en eau suit une exponentielle négative dans le cas où  $P < ETP$ . L'approche du bilan simplifié de Thornthwaite est retenue pour considérer, comme « mois sec » tout mois de l'année concerné par un déficit  $D_a$ , la réserve en eau du sol étant totalement épuisée (Mebarki et Laborde, 2012).

Le principe de calcul du bilan hydrologique de Thornthwaite est le suivant :

- si pour un mois  $P \geq ETP$  on pose que l' $ETP = ETR$ , la quantité d'eau qui reste ( $P - ETR$ ) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (50 m) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.

- si  $P < ETP$ , la valeur de  $ETR = P + RFU$ , jusqu'à égalisation avec ETP. Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole  $D_a = ETP - ETR$ , ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

Dans une première étape, connaissant les pluies et les températures mensuelles moyennes au niveau de la station. Il devient alors possible de calculer l'évapotranspiration potentielle par la méthode de Thornthwait (calculée ci-dessus). Les termes des bilans d'eau se prêtent à être calculés.

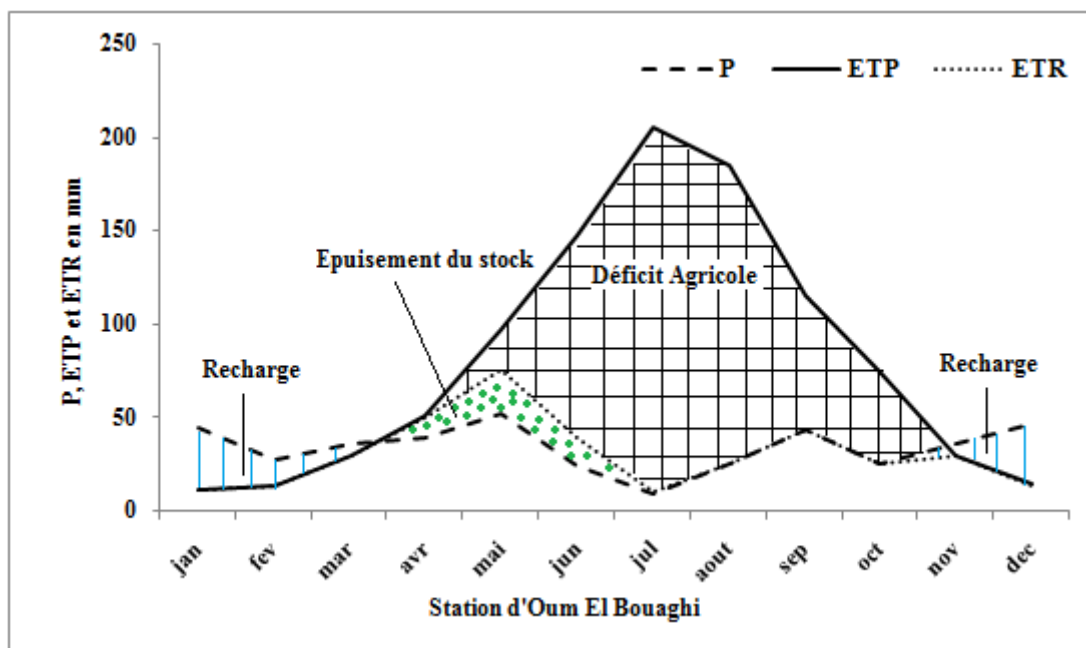
Nous allons calculer ici le bilan hydrique sur la période 1995 à 2015 à partir des données de la station. La capacité de rétention maximale en eau est de 50 mm (=AWC). A chaque pas, il faut comparer P, ETP, et les pertes en eau du sol ( $\Delta S$ ). L'estimation de l'ETR sera fonction de ces comparaisons. A partir de là, on pourra calculer le drainage  $D_r$ , l'état de la réserve pour le mois suivant S, le déficit d'humidité du sol. Le tableau ci-dessous représente les variations mensuelles des termes du bilan.

La réserve utile des sols est évidemment l'un des paramètres prépondérants du bilan hydrique. Le réservoir sol agit comme un tampon entre les entrées et les sorties d'eau.

**Tableau 8.** Calcul des termes du bilan hydrique de la station d'Oum el Bouaghi

Station OEB 1995-2015	jan	fev	mar	avr	mai	jun	jul	aout	sep	oct	nov	dec	Annuel
P mm	44,9	27,5	36,1	39,8	52,2	24,3	9,4	25,3	44,1	25,9	36,5	46,8	412,8
T °C	6,4	7,1	10,0	13,2	17,7	22,3	26,6	25,9	21,3	17,3	11,1	7,3	
Ij	1,4	1,7	2,8	4,3	6,8	9,6	12,6	12,1	9,0	6,5	3,3	1,8	
F (35°)	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	0,9	0,9	
ETPc mm	11,2	13,3	29,6	51,5	97,1	148,0	205,6	185,4	115,6	74,8	29,9	13,9	
P-ETP	33,6	14,2	6,4	-11,6	-44,9	-123,8	-196,2	-160,0	-71,5	-48,9	6,5	32,9	
ETR	11,2	13,3	29,6	50,2	75,9	39,0	10,6	25,4	44,1	25,9	29,9	13,9	369,1
RFU 50 mm (ST)	50,0	50,0	50,0	39,6	15,9	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	39,4	
delta ST	10,6	0,0	0,0	-10,4	-23,7	-14,7	-1,2	0,0	0,0	0,0	6,5	32,9	
Déficit	0,0	0,0	0,0	1,2	21,2	109,1	195,0	160,0	71,5	48,9	0,0	0,0	606,9
Excédent	23,1	14,2	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,7

On peut s'en rendre compte en examinant le tableau 8, pour la station sur une même période (1995-2015), l'évolution moyenne de la réserve en eau du sol. La période déficitaire s'étale sur une longue période et nécessite une irrigation en cas de présence de cultures. L'automne est relativement sec ce qui implique une plus grande précocité de déficit hydrique. La recharge se fait à partir du mois de novembre jusqu'au mois de mars où les températures basses diminuent l'évapotranspiration (fig.12).



**Figure 12.** Bilan hydrique moyen de la période 1995-2015 de la station Oum el Bouaghi.

En définitive, ce chapitre nous a permis d'obtenir des résultats sur les divers facteurs climatiques (Température, précipitation et l'évaporation) concernant la série de (1995 -2015)

- les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 412.8 mm.
- la température moyenne annuelle est de 14,7°C.
- l'évapotranspiration représente 89.41 % des précipitations (369.1mm).
- La réserve facilement utilisé (RFU) n'est plein que de décembre à mars et l'épuisement de 8 mois.

A partir des données climatiques on peut dire que la région d'étude est caractérisée par deux saisons :

- une saison peut pluvieuse froide allant du mois d'octobre jusqu'au mois de mai.
- une saison sèche chaude du mois de juin jusqu'au mois de septembre.

*Chapitre 3 :*

# **Matériel et Méthode**

### **3.1 Etude pédologique de la plaine de F'kirina :**

La présente partie se propose de définir les propriétés physiques et chimiques des terres visant une évaluation des convenances et des contraintes pour la mise en valeur.

La mesure des caractéristiques physico-chimiques des sols présente un intérêt quant à la détermination des aptitudes actuelles du sol ou des aptitudes après aménagement.

Les propriétés du sol et les facteurs climatiques sont combinés pour donner la carte des aptitudes des sols. En effet, la profondeur du sol, la texture, les éléments grossiers, la présence ou non d'un facteur limitant (croûte ou autres), le calcaire et l'halomorphie et hydromorphie sont autant de paramètres une fois combinées peuvent définir les catégories de sols, classées selon le degré de convenance à la mise en valeur en sec ou en irrigué.

#### **3. 1.1. Localisation**

La région étudiée est située au sud de Ain Beida et fait partie des hautes plaines constantinoises. Cette région comprend également un bassin (Garaet Et Tarf) fermé qui est bordé de massifs calcaires ; ces derniers sont apparemment isolés, mais du point de vue géologique et de par leur position structurale communiquent entre eux.

Les plaines sont en général des fossés d'effondrement qui présentent d'importantes perspectives pour les eaux souterraines ; celles-ci seront d'autant plus intéressantes dans les endroits où le toit calcaire du substratum n'est pas trop profond et où la couverture des dépôts tertiaires et quaternaires n'est pas trop épaisse.

La superficie de la zone couverte par l'inventaire est de l'ordre de **759.516** km<sup>2</sup> répartie d'une façon très irrégulière 50% pour la carte F'kirina, 20% pour la carte d'Ain Beida, 10% pour la carte d'Oum El Bouaghi, 15% pour la carte de Garaet Et Tarf et 5% pour la carte de Delaa.

**3.1.2. Les cartes :** Notre zone d'étude est couverte par cinq (05) cartes au **1/ 50.000**.

- Carte topographique d'Oum El Bouaghi N° **148**.
- Carte topographique d'Ain Beida N° **149**.
- Carte topographique de Garaet Et Tarf N° **175**.
- Carte topographique de F'kirina N° **176**.
- Carte topographique de Delaa N° **204**.

### 3.1.3. Méthodologie

Pour une meilleure représentation cartographique de la zone d'étude, il a été adopté l'approche systématique. Cette approche est basée sur des observations à la tarière (sondages) pour une prè-détermination des unités de sol, suivi du choix et de la fixation des profils les plus caractéristiques et les plus représentatifs de ces unités.

L'étude est consacrée à la définition des unités homogènes de sol dans le but de rechercher les meilleures utilisations des ressources en sol ainsi qu'une valorisation des disponibilités en eau de la région. Trois phases ont été nécessaires pour la concrétisation du projet d'étude :

- ✓ **Phase de bureau:** Etude préliminaire et collecte de données disponibles relatives à la zone d'étude (basant sur l'étude Agro-pédologique réalisée par le bureau de BNEDER en 1999)(fig.22).
- ✓ **Phase de terrain:** la prospection pédologique de la plaine de F'kirina est réalisée par des sondages ce qui a permis la délimitation des zones ayant les mêmes caractéristiques apparentes. Le travail de terrain a été réalisé durant la période allant du 31/03/2012 au 14/05/2012. Une centaine de sondages a été effectuée et **18** profils (fig.23) décrits et analysés au niveau de l'INSID d'Oum-El-Bouaghi et l'INSID d'Alger. Rappelons que l'échelle de travail adoptée est le **1/50.000ème**. Les analyses des échantillons pris concernent essentiellement les paramètres suivants: la granulométrie (texture du sol), la conductivité électrique (CE en mmhos/cm), le pH, le calcaire total, le calcaire actif, la matière organique, l'azote total, le complexe adsorbant et le phosphore pour certains échantillons (Pour consulter les méthodes d'analyses, Voir annexe 3).
- ✓ **Phase de rédaction:** l'interprétation des résultats d'analyse et rédaction du rapport final avec des cartes.

### 3.1.4. Principes de la classification:

La classification française (CPCS, 1967) se base sur la composition et la répartition de la matière organique, le pédo-climat, le degré de développement du sol et le mode d'altération des minéraux pour la classe; la sous- classe traduit l'ambiance physico- chimique du sol et les groupes sont définis par des propriétés morphologiques du profil: différenciation ou non de certains horizons, accumulation de calcaire etc. Les sous-groupes traduisent, en général, les manifestations d'un ou plusieurs processus pédologiques secondaires: L'hydromorphie, le vertisme et enfin la famille, série et type sont définis respectivement par la nature, l'origine et la profondeur du sol.

Le classement des sols pour la mise en valeur est généralement basé sur l'importance de la contrainte qui se présente; les contraintes sont:

- d'ordre topographique: pente et la forme du relief.
- d'ordre pédologique: profondeur, texture, charge caillouteuse, état de surface, perméabilité, salinité, alcalinité.
- d'ordre hydrologique: état du drainage, rétention en eau, inondation temporaire ou permanente.

### **3.1.5. Les catégories de sols**

**Catégorie 1:** sols profonds, texture moyenne (équilibrée), structurés, sols bien drainés, pente faible ou nulle.

**Catégorie 2:** sols profonds ou moyennement profonds, avec texture moyenne, bonne structure dans les premiers horizons, possibilité de présence d'horizon imperméable au-dessous de 80 cm, topographie régulière, pente faible.

**Catégorie 3:** cette catégorie comprend des sols moyennement ou peu profonds à texture moyenne, fine ou très fine. Les sols sont généralement bien structurés jusqu'à 60 cm de profondeur au moins; ils peuvent présenter des caractères de salure ou d'hydromorphie avec présence d'une nappe située à un ou deux mètres de profondeur environ. La topographie est régulière ou moyennement ondulée. La pente pouvant aller jusqu'à 5%.

**Catégorie 4:** cette catégorie comprend tous les sols non irrigables pour diverses raisons tels que: zone d'extension urbaine, lits d'oueds, marécages, affleurements rocheux, maquis, pente trop forte, zone montagneuse ou accidentée, halomorphie très prononcée, sols superficiels à croûte calcaire ou gypseuse à faible profondeur.

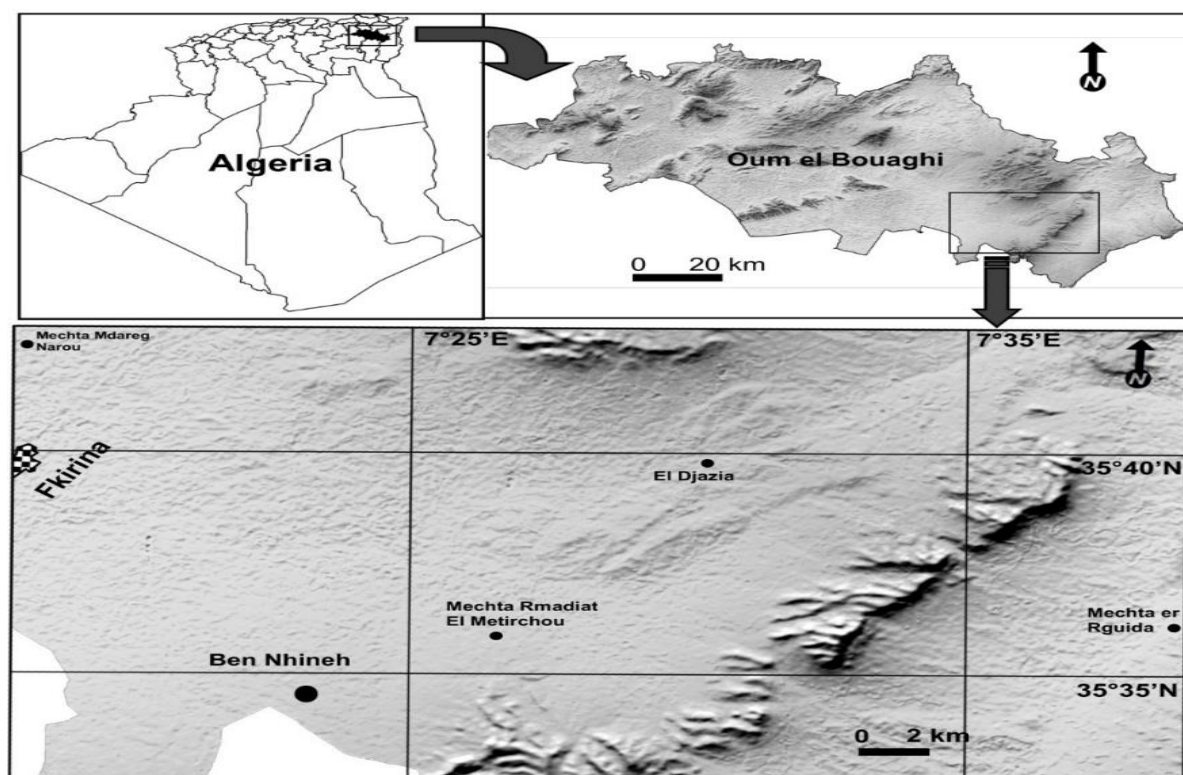
### 3.2. Etude expérimentale sur l'irrigation d'appoint sur deux variétés de blé dur :

La production céréalière se caractérise, en Algérie par des fluctuations qui varient en dents de scie d'une année à l'autre. En plus des techniques culturales non encore entièrement suivies, les principales causes de cette situation restent les fluctuations climatiques (sécheresse, haute température, maladies cryptogamiques liées à une forte hygrométrie) (Ait Kaki, 1993). Et malgré l'introduction de nouvelles variétés de blé, à « haut rendement », les génotypes locaux (peu productifs) restent les mieux adaptés aux conditions climatiques de nos terres.

#### 3.2.1. Méthodologie du travail

##### 3.2.1.2. Localisation du site expérimental

Les essais sont réalisés en plein champ dans la plaine de F'kirina : sols à caractère isohumique marron modal qui occupent la plus grande superficie, appartient à un agriculteur potentiel de la région. Il est situé à : (longitude Greenwich 007°16'28.074'' E, latitude N 35 °44'76.2''). Situé à 1500 mètres environ du Sebkhât Gareat Taref (Figure 13) Les essais se sont déroulés sur une période de deux années (2014-2015 et 2015-2016).



**Figure 13.** Localisation du site expérimental 'plaine de F'kirina' - Wilaya d'Oum-El-Bouaghi- Nord-Est Algérien

**3.2.2. Caractérisation climatique des deux campagnes agricoles**

La pluie est un facteur déterminant de la production céréalière en Algérie. Elle représente un réservoir à partir duquel la plante s'alimente. La quantité d'eau nécessaire à l'élaboration de 1gr de matière sèche est variable. Elle représente l'efficience de l'eau qui est le rapport de la quantité de matière sèche élaborée par unité de volume d'eau évapo -transpirée. De façon générale, pour un climat méditerranéen, ce rapport est voisin de 300. En d'autres termes, il faut environ 300 ml d'eau effectivement utilisée par la plante pour produire 1 gr de matière sèche. Pour un rendement de 20 quintaux de grains et un indice de récolte de 40%, il faudrait 150 mm de pluie efficace pour un rendement de matière sèche de 50 quintaux/ha.

(Voir annexe 1 et 2 : données climatiques 2013-2016 et Températures et précipitations moyenne mensuelle 2003-2016)

**3.2.2.1. Données climatiques de site d'étude**

**1. Conditions climatiques**

**Tableau 9.** Température et précipitations moyenne mensuelle (2003-2016) et (2014-2015-2016).

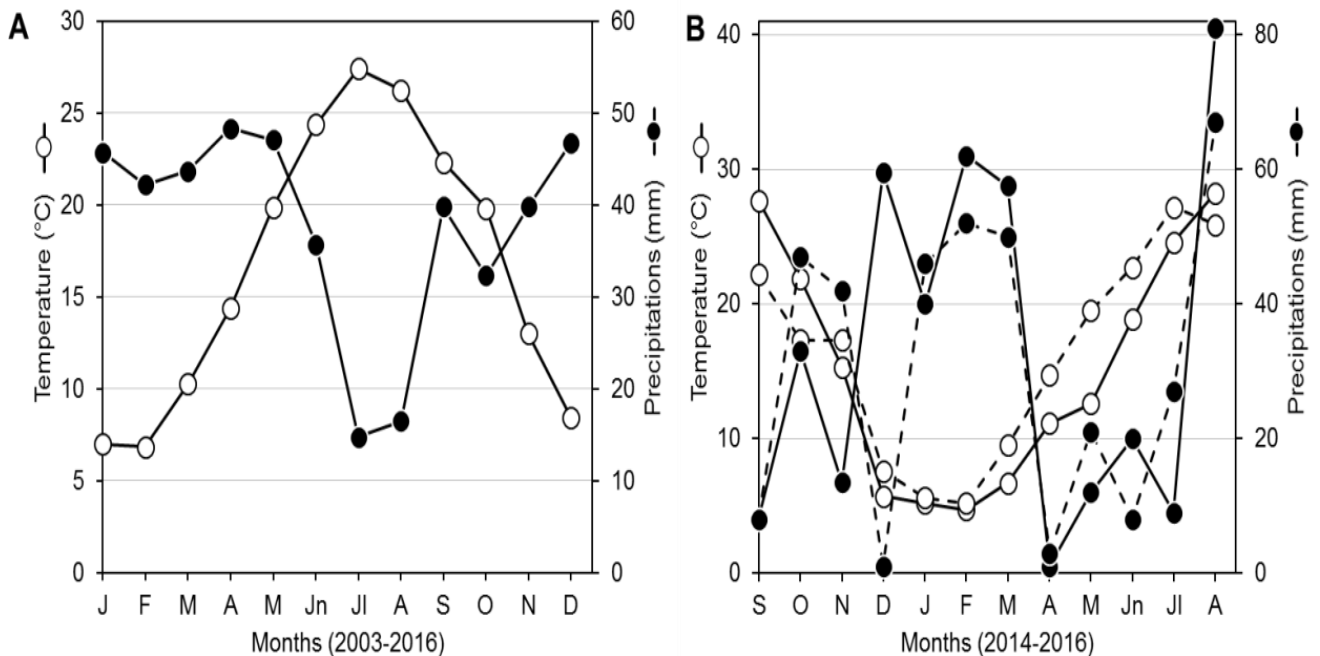
		J	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D
<b>2003-2016</b>	P	46	42	44	48	47	36	15	16	40	32	40	46,8
<b>2003-2016</b>	T	7	6,8	10	14	20	24	27	26	22	20	13	8,42

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A	
<b>Précipitations (mm)</b>	8	33	14	60	40	62	58	1	12	20	9	81	2014-2015
<b>Température (°C)</b>	27,66	22	15	5,7	5,2	4,7	6,7	11	13	19	25	28	
<b>Précipitations (mm)</b>	8	47	42	1	46	52	50	3	21	8	27	67	2015-2016
<b>Température (°C)</b>	22,2	17	17	7,6	5,6	5,2	9,5	15	20	23	27	26	

La région d'étude se caractérise par un climat semi-aride, les pluies débiteront aux mois d'Octobre et devient plus rare après le mois de Mars.

La pluviométrie de la 1<sup>ère</sup> année d'étude 2014/2015 fut moyenne dans la région étudié les cumuls des précipitations enregistrées entre le mois de Décembre 2014 et Mai 2015 étaient de 232mm, alors que le cumul des précipitations fut très faible dont les précipitations enregistrées pour la 2<sup>ème</sup> année 2015/2016 entre les mois de décembre 2015 et Mai 2016 étaient 173mm (Figure 14)

La température était maximale pour les deux années d'étude et durant le mois de Mai avec 26.8 C° en 2015 et 18.6 C° en 2016. Tandis qu'elle était minimale durant le mois de Décembre avec 2.4 C° en 2014 et 1.0 C° en 2015.



**Figure 14.** Diagrammes ombrothermiques de Gaussen de la région d'Oum-El-Bouaghi (nord-est de l'Algérie), (A) pour la période 2003-2016 et (B) pour les deux saisons agricoles 2014-2015 (lignes continues) et 2015-2016 (ligne pointillée) )

## 2. Paramètres étudiés

Pour répondre aux questions de recherche et aux objectifs de ce travail, notre étude est basée sur le couplage de mesures, suivis et notations de paramètres édaphiques d'une part et des paramètres variétaux d'autre part.

### 2.1. Caractérisation analytique de sol étudié

#### 2.1.1. Analyse du sol

Les caractéristiques du sol ont été réalisées sur des échantillons qui ont été prélevés à la tarière, sur les différentes parcelles élémentaires à des profondeurs régulières de 0 à 20 et de 20- 60 cm, la quantité moyenne de terre prélevée est de 500 g par horizon. Les échantillons ont envoyé au laboratoire d'analyse du sol de FERTIAL sis à Annaba où ils ont fait toutes les analyses.

### 2.1.1.1. Analyses physico-chimiques

Elles ont porté sur les paramètres physiques, la texture, les calcaires et les niveaux d'énergie caractéristiques évaluant les capacités au champ (CC) et au point de flétrissement (HF); les caractéristiques chimiques, sur le pH, le taux de matière organique (MO) et sur la conductivité électrique (CE). Selon les méthodes suivantes :

- Granulométrie : méthode à la pipette de Robinson.
- Calcaire : méthode au calcimètre de Bernard pour le calcaire total, extraction à l'oxalate d'ammonium et dosage en retour par manganimétrie pour le calcaire actif.
- pH : mesure au pH-mètre sur un extrait sol/eau\_ 1/2,5.
- Conductivité électrique (CE) : mesurée au conductivimètre sur un extrait de 1/5.
- Matière organique : extraction à chaud du carbone organique au bichromate de potassium en milieu acide (méthode Anne) et dosage par titration au sel de Mohr ; MO%\_C%\_1,724.
- Humidité aux pF 2,5 et 4,2 : humectation des échantillons de sols et leur mise sous pressions de 0,33 et de 16 bars ; détermination des humidités pondérales par la méthode gravimétrique.
- La densité apparente par méthode cylindrique.

### 2.1.2. La mesure et le suivi de l'humidité du profil cultural

L'humidité du profil cultural a été déterminée chaque dix jour, par le prélèvement à la tarière des échantillons du sol. Le taux d'humidité est mesuré pour les deux horizons (H1 et H2) du semis jusqu'à la récolte. La parcelle élémentaire a fait l'objet d'un prélèvement. Ils sont pesés à l'état humide, desséchés à l'étuve pendant 24 heures à 105°C et pesés à l'état sec. La teneur en humidité est estimée selon l'équation de Gobatte et al., (1998).  $H \% = [(PH - PS)/PS] \times 100$ , avec H % = Taux d'humidité pondérale en (%),

- PH = Poids de l'échantillon humide en (g), PS = Poids de l'échantillon sec en (g).

### 2.2.3. Dispositif expérimental pour le végétale

Afin d'éviter les effets de la pente de la parcelle d'essai, le dispositif expérimental adopté est du type bloc aléatoire complet pour les deux essais, les parcelles élémentaires étaient d'une superficie de 6 m<sup>2</sup> (2 m x 3 m), le semis a été réalisé le mi-décembre avec une densité de 250 grains/m<sup>2</sup>, avec un taux de levée de 92% avec :

- pour le premier essai relatif aux régimes hydriques extrêmes, deux traitements ou régimes hydriques correspondants à ETM : régime sans restriction hydrique et Pluv : régime sans irrigation ou pluvial, avec trois répétitions.

- pour le deuxième essai, quatre traitements hydriques correspondant aux phases d'apport de l'irrigation d'appoint (T1, T2, T3 et T4, représentant respectivement une irrigation à la phase tallage, montaison, floraison et grossissement du grain. Chaque traitement est répété trois fois.

Afin de fixer la quantité d'eau d'irrigation d'appoint à apporter au début de chacune des quatre phases phénologiques de la période de reproduction (T1, T2, T3 et T4), un bilan hydrique est réalisé à l'aide d'une tarière agronomiques jusqu'à une profondeur de sol de 60 cm. Le déficit hydrique par rapport à la capacité de rétention est ramené en une ou deux irrigations afin de remettre le sol à la capacité de rétention au début de chacune des quatre phases phénologiques et de permettre ainsi aux composantes du rendement qui s'élaborent durant chacune des phases de se développer dans de bonnes conditions hydriques.

En dehors de la période d'irrigation d'appoint et à l'exception du traitement ETM, tous les traitements sont conduits en régime pluvial (sans irrigation). (Voir annexe 5 : Dispositif de l'essai)

### **1. Matériel végétal**

En raison de l'importance des surfaces emblavées en céréales d'hiver, et en blé dur en particulier, nous avons choisi comme plante test pour nos essais deux variétés : GTA Dur (se caractérise par un cycle de développement court de 157 jours avec une période semis - floraison de 123 jours) et Vitron (considéré comme précoces par rapport à la première variété présente un léger retard dans la réalisation des étapes de cycle biologique. Ce retard varie de 4 à 49 jours avec une différence de 7 jours à la fin du cycle).

### **2. Conduite de la culture**

Après un apport de 1 quintal / ha de T.S.P. (superphosphate triple 46%), le sol est labouré à 30 cm de profondeur après les premières pluies d'automne à l'aide d'une charrue à disques puis une reprise est effectuée à l'aide d'un covercrop suivi d'un passage de herse à rouleau cage avant semis. Les semis sont réalisés en décembre à l'aide d'un semoir.

La fertilisation azotée est de 120 kg.ha<sup>-1</sup> d'urée (46 % N) réalisée en deux apports, 50 kg ha<sup>-1</sup> au stade trois feuilles et 70 kg ha<sup>-1</sup> au stade début épiaison. Les sols sont riches en potassium avec de bonnes réserves d'où la fertilisation potassique n'est pas justifiée. La récolte est effectuée fin juin à début juillet.

Le désherbage chimique est effectué, juste après la fertilisation azotée, avec le GrandStar [méthyl triberunon] à raison de 12 g / ha.

### 3.2.3. Notations et mesures

Les dates des différentes stades de développement (levée, montaison, floraison,...) ont été notées lorsque 50% du peuplement ont atteint ce stade phénologique.

#### 1. Caractères d'adaptation

##### ➤ La hauteur de la plante (HT)

Elle est mesurée à maturité, du ras du sol jusqu'au sommet de la plante. On compte 10 échantillons par plante / génotype / répétition.

##### ➤ Le poids spécifique foliaire a été calculé par le rapport du poids de la matière sèche sur la surface foliaire étendard:

$$\text{PSF (mg/cm}^2\text{)} = \text{PS (mg)} / \text{SF (cm}^2\text{)}$$

Où PSF= Poids spécifique foliaire, PS= Poids de la matière sèche et SF= surface de la feuille étendard

##### ➤ Longueur des épis sans barbes (LE)

On mesure un échantillon de 10 épis sans barbes / génotype , au stade maturité à partir de la base de l'épi (1er article du rachis) jusqu'au sommet de l'épillet terminal. Elle est exprimée en cm.

##### ➤ Longueur de racine principale (LR)

Paramètre plus fréquemment retenu, est mesurée en cm à l'aide d'une règle plate.

##### ➤ Surface foliaire

La longueur et la plus grande largeur de la dernière feuille étendard entièrement développée ont été mesurées sur un échantillon de 5 feuilles prise au hasard. La surface moyenne de la dernière feuille entièrement développée a été estimée par le produit :

$$\text{SF (cm}^2\text{)} = [0,607(\text{L} \times \text{I})] \text{ ( Spagnoletti Zeuli \& Qualset (1990).}$$

Où SF est la surface moyenne de la feuille étendard, L= longueur moyenne de la feuille exprimée en cm et l est la largeur moyenne de la feuille exprimée en cm ; 0.607 est le coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit (L x I).

##### ➤ La teneur relative en eau (TRE)

A été déterminée sur un échantillon de cinq feuilles échantillonnées. Les cinq feuilles échantillonnées par génotype sont directement pesées pour avoir le poids de la matière fraîche. Elles sont ensuite mises dans un tube à essai contenant de l'eau distillée, à l'abri de la lumière à température ambiante du laboratoire, pour atteindre l'état turgide 4 heures après, les

feuilles sont pesées, après avoir pris soin de les essuyer de l'excès d'eau avec du papier buvard, pour obtenir le poids turgide. L'échantillon de feuilles est mis à sécher dans une étuve à 65°C pendant 16 heures pour obtenir le poids sec. La teneur relative en eau est calculée par :

$$\text{TRE (\%)} = 100(\text{PF-PS}) / (\text{PT-PS})$$

CLARKE, J. M., & McCAIG, T. N. (1982).

avec TRE est la teneur relative en eau foliaire, PF, PT et PS sont respectivement le poids(mg) frais, turgide et sec des échantillons foliaires.

#### ➤ L'intégrité cellulaire

Le test de l'intégrité cellulaire est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées. Deux feuilles sont prises au hasard par génotype et traitement. Ces échantillons sont lavés à l'eau courante. Les feuilles sont découpées en morceaux de 1 cm de long. Un échantillon de 10 morceaux du limbe foliaire est mis dans un tube à essai et lavé avec de l'eau distillée pour enlever les poussières adhérentes qui peuvent influencer sur les résultats du test. Trois tubes sont utilisés par génotype et traitement.

A chaque tube, on ajoute 10 ml d'eau distillée déminéralisée les tubes ainsi traités sont périodiquement agités manuellement et laissés à la température ambiante du laboratoire. Une première lecture est faite (EC1) avec le conductimètre 24 heures après. Les tubes sont ensuite mis au bain marie, dont la température est portée à 100°C, pendant 60 minutes. Une deuxième lecture de la conductivité est faite 24 heures après le passage des échantillons dans le bain marie (EC2). Le pourcentage de cellules endommagées par le stress hydrique est estimée, selon la procédure décrite par Bajji et al, (2001), comme suit :

$$\text{IC (\%)} = 100(\text{EC}_1/\text{EC}_2)$$

#### ➤ Détermination de l'efficacité d'utilisation de l'eau(EUE)

Selon (Bouaziz. Et Elmourid.1999), l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) peut être définie comme étant le rapport entre le rendement récoltable et l'eau utilisée pour aboutir à cette production par unité de surface :

$$\text{EUE} = \text{Rendement en grains} / \text{eau utilisée}$$

L'EUE est généralement exprimée en kg/ha/mm et elle définit la quantité de production obtenue par une unité d'eau utilisée; ainsi on peut convertir son unité en kg/m<sup>3</sup> (1 kg/m<sup>3</sup> = 10 kg/ha/mm) qui est plus aisément perceptible.

## 2. Caractères de production

### a. Le rendement et ses composants

A maturité on détermine le rendement en grains et les composantes du rendement. Ces composantes sont déterminées à partir des bottillons récoltés sur un segment de rang de 1 m de long. Le nombre d'épis /m<sup>2</sup> est déterminé par comptage des épis provenant du même bottillon récolté à maturité d'un segment de rang long de 1m linéaire.

#### \*Le nombre de grains épi-1 (NGE)

On compte le nombre de grains par épi, ainsi que le nombre d'épillets par épi, cette opération est répétée 10 fois par plante / génotype.

#### \* Le PMG

Est déterminé par comptage et pesage de 250 graines prises de la récolte de chaque parcelle multiplie par 4.

#### \* Le nombre de plants /mètre carré (NPI/m<sup>2</sup>)

La densité du peuplement a été déterminée pour chaque parcelle élémentaire à l'aide d'un cadre métallique (mètre carré) posé en diagonal.

#### \*Le nombre d'épis / mètre carré (NE/m<sup>2</sup>)

Le tallage épi est déterminé par comptage direct de nombre de talles épis formées (à l'exception de maître brin). On réalise 4 répétitions par plante / génotype et on déduit ensuite la moyenne.

#### \*Le rendement (Rdt) potentiel

Il est déterminé par la formule suivante:

**Rendement potentiel (théorique) = Nombre d'épis/m<sup>2</sup> x Nombre de grains /épis x PMG**

Les résultats sont convertis en qx/ha.

## 3. Caractères de qualité

### a . Teneur d'azote total du grain

Le dosage de l'azote total du grain est réalisé suivant la méthode de kjeldahl sur l'ensemble des traitements en pluvial et irrigué. Cette méthode date depuis 1983, son principe repose sur la transformation quantitative de l'azote organique contenu dans le grain en sulfate d'ammonium (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> par minéralisation avec de l'acide sulfurique concentré. Après mélange des grains récoltés, on prend un échantillon aléatoirement qui fait l'objet d'analyse. Les grains sont lavés avec l'eau distillée, séchés à 105 °c, avant de procéder à la phase minéralisation, distillation et titrage.

## b. Teneur en protéine du grain

Le taux de protéine pour le blé destiné à la consommation humaine est obtenue en multipliant le taux d'azote par un coefficient ( $K= 5.7$ ) utilisé par les chimistes céréaliers et les meuniers, différent de celui utilisé par les industries de l'alimentation animale ( $K=6.25$ ).

### 3.2.4. Analyse des données

Pour chaque paramètre de la croissance/rendement, les données collectées à partir de l'expérimentation ont été traitées par une analyse de la variance à trois facteurs (three-way ANOVA) dans un design en BAC. Les facteurs considérés sont 'Year', 'Variety' et 'Treatment'. Toutes les interactions possibles entre les trois facteurs sont incluses dans l'ANOVA. Afin de rendre facile les comparaisons des deux variétés au sein de chaque traitement et entre les traitements, le test post hoc de Tukey a été adopté. Les résultats des comparaisons multiples des moyennes sont associés avec des graphes sous forme de boxplot. En plus des statistiques représentées dans chaque boxplot, la moyenne (de trois répétitions) a été aussi incluse. Par ailleurs, les relations entre les variables mesurées et/ou calculés sont étudiées par des tests de corrélation de Pearson à  $P<0.05$ . Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (R Core Team, 2016).

À côté de cela, la relation entre la composante de rendement et la EUE pour les six traitements d'irrigation et les cultivars de blé a été modélisée à l'aide de modèles linéaires généralisés (GLM). Les traitements d'irrigation ont été mis en œuvre dans le GLM en tant que variable explicative afin de tester si cette relation «rendement vs. EUE» différait entre les traitements pour les cultivars de blé et pour chaque cultivar séparément. L'interaction entre les traitements et EUE a été incluse dans le modèle GLM. La variation du rendement total a été ajustée à une erreur de distribution gaussienne avec un lien d'identité, puis les effets des variables explicatives ont été résumés en utilisant le test F de type III. De plus, les relations entre les variables mesurées et / ou calculées ont été étudiées par des tests de corrélation de Pearson à  $P < 0,05$ . Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R version 3.3.2. (R Core Team, 2016) en utilisant les bibliothèques suivantes {ggplot2}, {corrplot}, {Rcmdr}, {splines}, {car} et {sandwich}.

*Chapitre 4 :*  
*Résultats et Discussion*

4.1. Les types de sols

Il y a sept types de sols dans le périmètre étudié. Il s'agit des sols peu évolués, des sols isohumiques, les sols minéraux bruts d'origine (unité complexe), sols calcimagnésiques, lithosols, Régosols, sols salins et alcalins et sols hydromorphes. (voir fig 15et 16). Pour illustrer les types de sols, des photos des profils ont été prises (voir annexe 7).

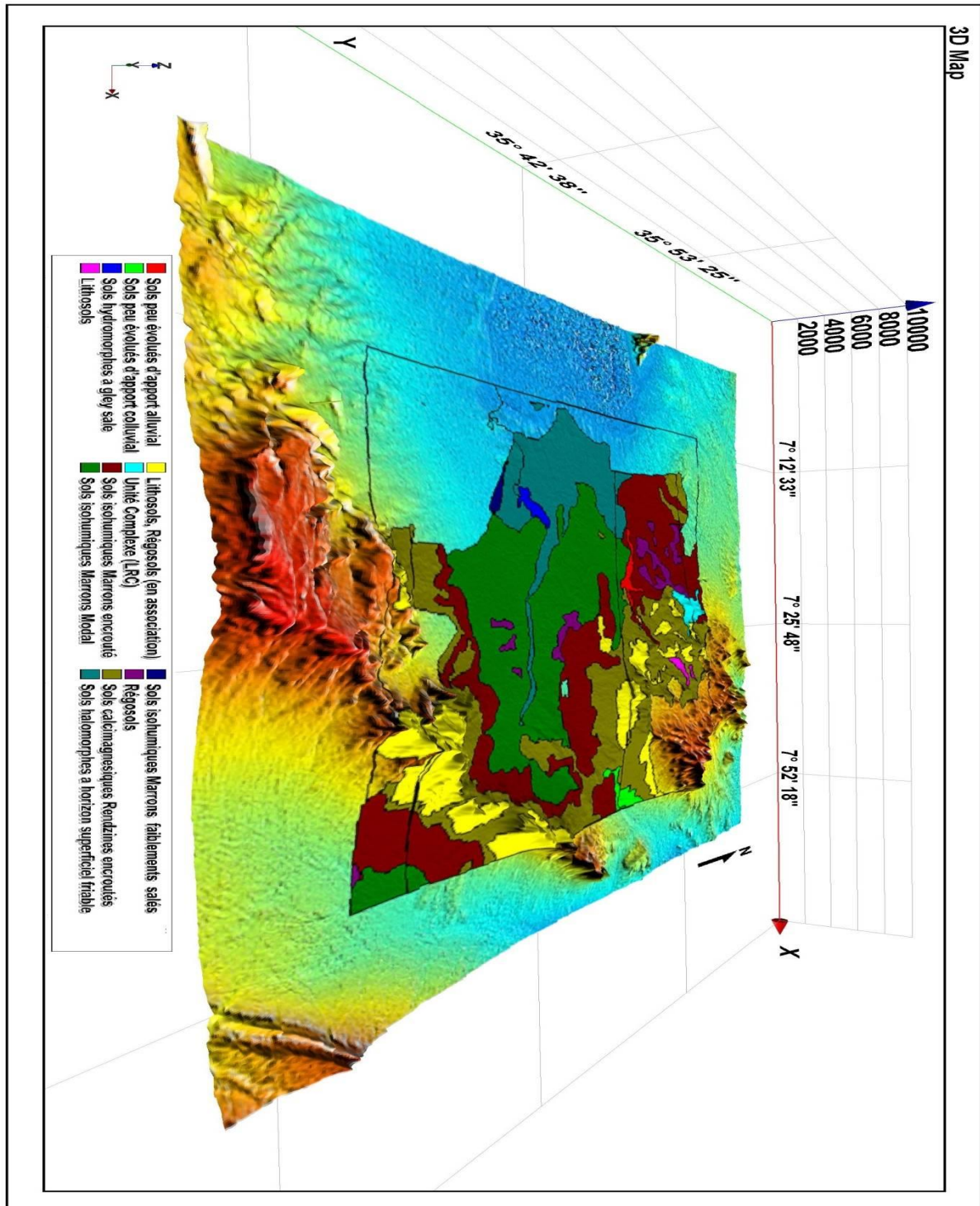
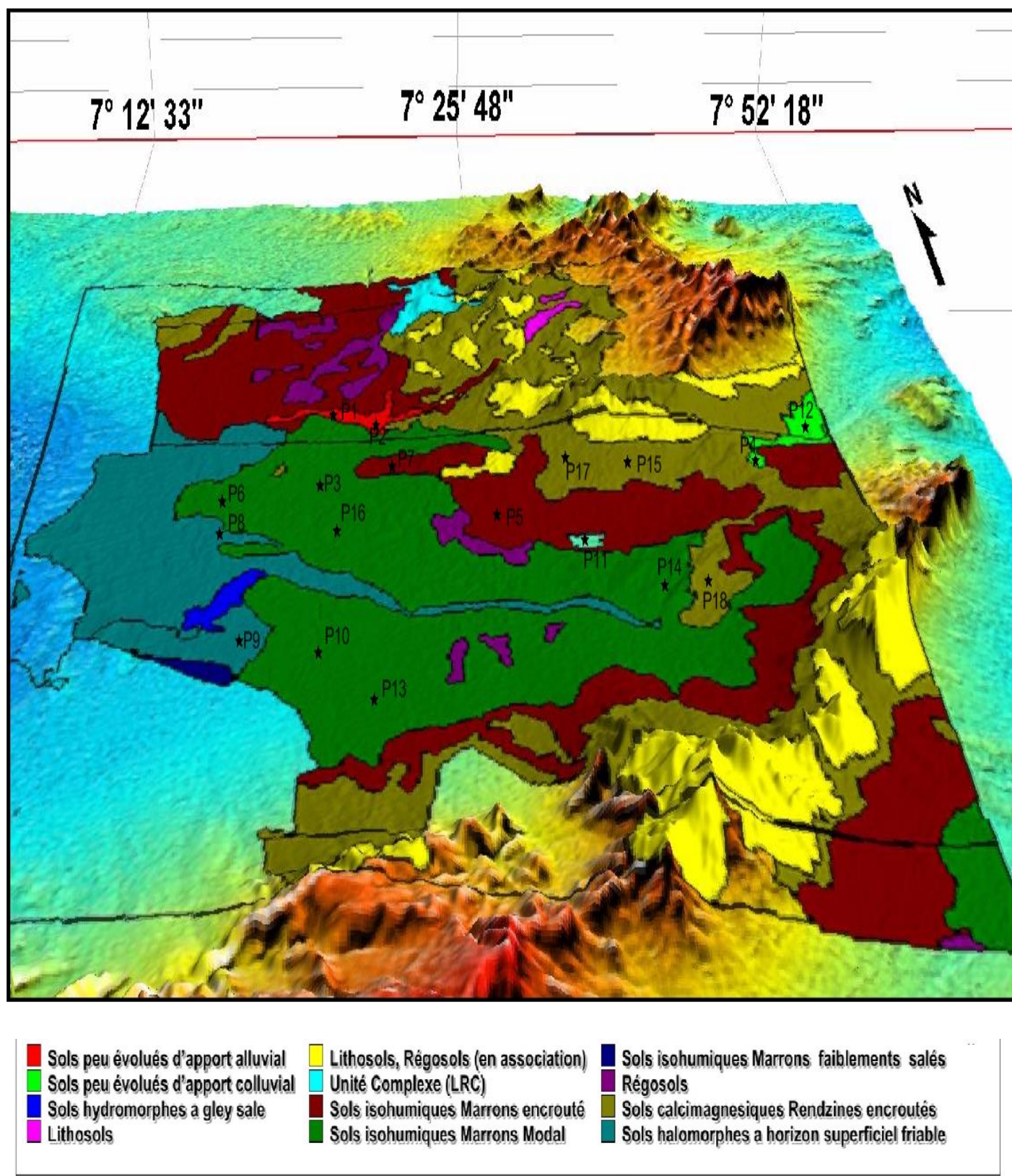


Figure 15. Carte des sols de la plaine de F'kirina à l'échelle 1/50.000.



**Figure 16.** Carte de position des profils au niveau de la plaine de F'kirina ( l'échelle 1/50.000).

#### 4.1.1. Les sols peu évolués

##### 4.1.1.1. Les sols peu évolués d'origine non climatiques d'apport alluvial modaux

Ces sols occupent une superficie de 4.40682 Km<sup>2</sup> et s'étendent sur la partie Nord au pied de djebel Galaa de la plaine. Ils sont caractérisés par une bonne profondeur et un manque d'encroûtement dans le profil.

Leur texture est limoneuse à limono-argileux avec des taux d'argile ne dépassant pas 33%. Le taux de calcaire fluctue entre 21 et 34 % avec un calcaire actif compris entre 12 et 14 %. Leur pH est toujours supérieur à 8.2 sans dépasser 8.8 avec des valeurs basses pour la conductivité électrique (0.3 à 0.8 mmhos/cm).

##### **Le profil P1.**

##### **Localisation :**

x : 07°20'40.56'' E

y : 35°43'27.48'' N

z : 899.45 m

Matériau parental : alluvions

Pente : 0-2%

Charge en cailloux : - 1%

Végétation : céréales

Date : 17 / 04 / 2013

Classification : Sol peu évolué, d'origine non climatique, d'apport alluvial, modal.

##### **Horizon 1 : 0 – 30 cm**

Brun (10YR 4/3) état frais, texture limoneuse, structure grumeleuse, charge en cailloux très faible(- 1 %), forte effervescence à l'HCl , très nombreuses racines fines, bonne porosité fine à moyenne , bonne répartition de la matière organique , transition graduelle , échantillon P1H1.

##### **Horizon 2 : 30 - 65 cm**

Brun jaunâtre (10YR 5/4) état frais, texture limoneuse, structure polyédrique grossière, charge en cailloux faible (2-3 %), forte effervescence à l'HCl , peu nombreuses racines fines, bonne porosité fine à moyenne , peu de matière organique , transition diffuse, échantillon P1H2.

##### **Horizon 3 : 65 - 140 cm**

Brun (10YR 5/3) état frais, texture limono-argileuse , structure massive, charge en cailloux faible( 2-3 %), forte effervescence à l'HCl , très peu de racines , faible porosité moyenne , compact, peu de matière organique , échantillon P1H3

**Tableau 10.** Résultats des analyses sol du profil P1

Echantillon P1 paramètres	Horizon 1	Horizon 2	Horizon 3
Profondeur (cm)	<b>0-30</b>	<b>30-65</b>	65-140
<b>Granulométrie</b>			
Argile %	15	20	<b>33</b>
Limon Fin %	37	30	<b>35</b>
Limon Grossier %	30	27	<b>13</b>
Sable Fin %	14	16	<b>13</b>
Sable Grossier %	2	2	<b>2</b>
<b>Réserves Minérales</b>			
Calcaire actif %	15.8	15.4	<b>14.7</b>
Calcaire total %	26.6	27.74	<b>26.6</b>
<b>Solution de Sol</b>			
PH eau en 1/5	8.5	8.6	<b>8.4</b>
CE mmhos/cm	0.3	0.4	<b>0.9</b>
<b>Matière Organique</b>			
Carbone %	8.7	8.1	<b>7.8</b>
Matière organique %	1.496	1.393	<b>1.342</b>
Azote total %°	0.95	0.9	<b>0.75</b>
C/N	9	9	<b>10</b>
<b>Complexe Absorbant</b>			
Ca++ en méq /100g	55.8	35.39	<b>47.32</b>
Mg++ en méq /100g	5.60	5.0	<b>7.65</b>
K+ en méq /100g	1.20	0.46	<b>0.57</b>
Na+ en méq /100g	0.00	0.08	<b>1.32</b>
CEC en méq /100g	<b>52.18</b>	<b>47.39</b>	<b>49.75</b>

**a. Caractéristiques morphologiques :**

Sols profonds, se caractérisant par une couleur brun à l'état frais ; le profil est de type AC ; la texture est moyenne avec des stratifications granulométriques en profondeur. Le matériel fin (limons et argile) repose sur un lit composé d'éléments grossiers (graviers et cailloux), une structure polyédrique moyenne et une activité biologique moyennement prononcée.

**b. Données analytiques :**

Les caractéristiques chimiques et physico-chimiques des sols peu évolués d'apport alluvial sont les suivantes :

\*Calcaire Total : Constant ou variable à travers le profil dont le taux est fréquemment entre 20 et 35% dans les premiers 80cm .

\*La capacité d'échange cationique est forte à travers le profil (de 40 à 50 méq/100g de sols)

\*Pauvre en matière organique, sa teneur varie de 1.4 à 1.5% dans la couche de 0-50cm.

\*Teneur en azote très faible, varie entre 0.8 à 0.9%° dans la couche de 0-50cm.

\*La réaction du milieu est légèrement jusqu'à moyennement alcaline, le PH varie légèrement en profondeur.

\*Le rapport C/N est faible a satisfaisant

\*La teneur en calcaire actif est moyenne à riche.

**c. Valeur productive et mise en valeur :**

Les sols peu évolués d'apport alluvial sont classés comme très bon à bon pour toutes les cultures en sec et en irrigué. Leur productivité pourrait augmenter par la pratique agricole rationnelle (irrigation, labour, hersage, rotation et fertilisation). L'engrais azoté et les phosphates sont à recommander mais il faut tenir compte de l'état hydrique du sol. L'apport de fumier diminuera l'effet nocif des sels, redonnera aux sols une structure favorable et évitera le lessivage des éléments fertilisants par l'irrigation. Cependant, il faudrait signaler que l'irrigation mal adaptée pourrait entraîner une accumulation des sels dans le sol.

**1.1.2. Les sols peu évolués d'origine non climatiques d'apport colluvial**

Dans la zone d'étude les sols colluviaux sont assez répartis avec une superficie de 7.5633Km<sup>2</sup> répartis essentiellement au niveau des surfaces accidentés ou les processus de destruction et d'érosion sont intenses.

Les sols colluviaux occupent les bas piémonts sous forme de bandes, qui contournent djebel Ammet Kebir.

Parfois, les bandes des sols colluviaux sont tellement étroites qu'on ne peut pas les représenter sur les cartes à l'échelle 1/50.000.

#### **Profil 4**

##### **Localisation :**

x : 07°32'13.92" E

y : 35°40'54.84" N

z : 963.86 m

Matériau parental : colluvions

Pente : 2-5%

Charge en cailloux : 10 à 20 % de graviers et cailloux

Végétation : jachère

Drainage externe : bon

Date : 17 / 04 / 2013

Classification : Sol peu évolué, d'origine non climatique, d'apport colluvial.

##### **Horizon A : 0 – 40 cm**

Brun claire , texture limono- argilo- sableuse , structure grumuleuse, vive effervescence à l'HCl , racines fines à moyenne, bonne porosité , calcaire diffus, matière organique décelable, éléments grossiers 5à 6% ,transition graduelle , échantillon P4H1.

##### **Horizon AC : 40 - 80 cm**

Brun ocre, texture limono-argileuse , structure polydrique fine à moyenne , charge en cailloux importante ( de 3à 7%), forte effervescence à l'HCl , quelques racines fines, matière organique décelable, transition graduelle, échantillon P4H2.

##### **Horizon C: 80 - 130 cm**

Brun jaunâtre, texture limono-argileuse, structure polydrique moyenne, charge en cailloux (< 3%) , peu de racines , compacte , échantillon P4H3.

Tableau 11. Résultats des analyses sol du profil P4

Echantillon P4 paramètres	Horizon 1	Horizon2	Horizon3
Profondeur (cm)	0-40	40-80	80-130
<b>Granulométrie</b>			
Argile %	26.78	17.47	40.21
Limon Fin %	9.01	45.98	10.88
Limon Grossier %	26	4.01	2.96
Sable Fin %	36.97	31.18	2.87
Sable Grossier %	1.31	0.23	1
<b>Réserves Minérales</b>			
Calcaire actif %	10.99	12.54	12.32
Calcaire total %	20.87	25.32	30.79
<b>Solution de Sol</b>			
PH eau en 1/5	8.5	8.4	8.5
CE mmhos/cm	0.16	0.5	0.4
<b>Matière Organique</b>			
Carbone %	9.2	7.6	7.8
Matière organique %	0.66	0.55	1.78
Azote total %	1.12	0.95	2.12
C/N	8.21	8	3.67
<b>Complexe Absorbant</b>			
Ca++ en méq /100g	13.99	7.58	8.71
Mg++ en méq /100g	0.37	0.66	0.87
K+ en méq /100g	0.2	0.44	0.19
Na+ en méq /100g	0.78	0.16	1.23
CEC en méq /100g	29	33.22	36.90

**a. Caractéristiques morphologiques :**

Sols moyennement à peu profonds, caractérisés par une couleur brun clair à jaunâtre à l'état sec ; les horizons sont formés par la disposition des matériaux en suspension et charriés des eaux érosives.

Les sols colluviaux de la zone d'étude ont une texture légère à moyenne, qui varie selon les couches des dépôts.

La plus grande part des surfaces aux sols colluviaux est constamment rafraîchie par de nouveaux dépôts, et pour cette raison les sols de ces surfaces restent agénétiques dans leurs formes. Aussi ces sols sont généralement peu résistants contre les eaux érosives.

**b. Données analytiques :**

Les caractéristiques chimiques et physico-chimiques des sols peu évolués d'apport colluvial sont les suivantes :

\*Calcaire Total : tous les sols colluviaux de la zone d'étude sont calcaires, le taux de calcaire total varie entre 20 à 35%, variable à travers le profil.

\*Salure : la conductivité électrique est inférieure à 2mmhos/cm dans la plus part des sols, donc ces sols sont pratiquement non salins.

\*La capacité d'échange cationique : la saturation du complexe d'absorption en bases échangeable est moyenne à travers le profil (de 28 à 40 méq/100g de sols)

\*Pauvre en matière organique, notamment dans les parties supérieures.

\*Teneur en azote faible à très faible, dans les couches supérieures de 0-80cm.

\* le rapport C/N atteint 9 au niveau de premier horizon du profil, traduit une minéralisation assez bonne de la matière organique.

\*La réaction du milieu des sols colluviaux est moyennement alcaline, le PH augmente légèrement en profondeur.

**c. Valeur productive et mise en valeur :**

Les sols peu évolués d'apport colluvial sont considérés comme des terres de bonne qualité et d'une grande importance pour la production végétale. Ces sols ont un régime d'eau un peu plus favorable, car une partie notable des eaux d'écoulement est emmagasinée dans ces sols.

Les agriculteurs de la région traitent ces sols comme lieux de pâturages ou champs à céréales dans les parties supérieures, les parties inférieures des pentes sont toujours utilisées pour la culture des céréales sur lesquelles ont été réalisés des rendements moyens. L'épandage de la fumure s'est révélé nécessaire pour augmenter le niveau de la fertilité et de favoriser la structure de ces sols.

Les mesures relatives à l'aménagement, à l'amélioration et à la défense des sols colluviaux dans la plupart des cas doivent présenter une intervention complexe qui aurait permis de défendre ces sols des eaux érosives responsables des dépôts grossiers et enfouissements des sols.

**4.1.2. Les sols isohumiques** c'est l'unité des sols qui occupe une grande superficie dans la zone d'étude : 366.335Km<sup>2</sup>.

#### **4.1.2.1. Les sols isohumiques marron à encroûtement calcaire**

Ce sont des sols caractérisés par la présence d'un encroûtement calcaire en profondeur variant entre 90 et 140cm. Ils occupent **179.215** Km<sup>2</sup>. Leur charge en cailloux reste très forte dans les horizons intermédiaires.

Leur texture est généralement limoneuse à limono-argileuse avec des taux de calcaire qui peuvent dépasser 44% en profondeur au contact de la croûte calcaire.

Leur salinité est très faible et ne dépasse pas 0.7 mmhos/cm.

#### **Le profil P5.**

##### **Localisation :**

x : 07°25'5.88 E

y : 35°39'52.92'' N

z : 912.99 m

Lithologie : Marnes

Pente : 0-2%

Charge en cailloux : - 5 %

Végétation : céréales

Date : 17 / 04 / 2013

Classification : Sol isohumiques marron à encroûtement calcaire.

##### **Horizon 1 : 0 – 25 cm**

Brun (10YR 5/4) état frais, texture limoneuse , structure polyédrique moyenne, charge en cailloux très faible( -2 %), forte effervescence à l'HCl ,quelques fentes de retrait , très nombreuses racines fines, bonne porosité fine à moyenne , compact, bonne répartition de la matière organique , transition diffuse , échantillon P5H1.

##### **Horizon 2 : 25 - 55 cm**

Brun jaunâtre foncé (10YR 4/4) état frais, texture limoneuse , structure polyédrique grossière, charge en cailloux faible( 2-3 %), forte effervescence à l'HCl , nombreuses racines

fines, bonne porosité fine à moyenne , peu de matière organique , transition diffuse, échantillon P5H2.

### Horizon 3 : 55 - 120 cm

Brun jaunâtre (10YR 5/6) état frais, texture limono-argileuse , structure massive, charge en cailloux forte( 10-15 %), forte effervescence à l'HCl , très peu de racines , faible porosité moyenne , compact, apparition en bas de l'horizon d'une croûte calcaire , échantillon P5H3

**Tableau 12.** Résultats des analyses sol du profil P5

Echantillon P5 paramètres	Horizon 1	Horizon2	Horizon3
Profondeur (cm)	0-25	25-55	55-120
<b>Granulométrie</b>			
Argile %	17	27	40
Limon Fin %	37	27	25
Limon Grossier %	07	13	07
Sable Fin %	26	26	20
Sable Grossier %	10	02	04
<b>Réserves Minérales</b>			
Calcaire actif %	8.3	13.0	16.0
Calcaire total %	20.52	20.52	36.10
<b>Solution de Sol</b>			
PH eau en 1/5	8.6	8.7	8.5
CE mmhos/cm	0.4	0.4	0.4
<b>Matière Organique</b>			
Carbone %	9.5	5.8	3.6
Matière organique %	1.634	0.998	0.619

<b>Azote total %°</b>	1.03	0.7	<b>0.38</b>
<b>C/N</b>	9	8	<b>9</b>
<b>Complexe Absorbant</b>			
<b>Ca++ en méq /100g</b>	42.01	51.76	<b>56.62</b>
<b>Mg++ en méq /100g</b>	4.17	7.30	<b>7.71</b>
<b>K+ en méq /100g</b>	0.22	0.28	<b>0.27</b>
<b>Na+ en méq /100g</b>	0.00	0.00	<b>0.07</b>
<b>CEC en méq /100g</b>	<b>38.30</b>	<b>44.65</b>	<b>30.95</b>

#### a. Caractéristiques morphologiques :

Sols moyennement profonds, bruns ou jaunâtres à l'état frais ; la texture est moyenne à grossière. Ce sont des sols à une texture pratiquement uniforme suivant la profondeur. La structure est polyédrique moyenne à fine en profondeur et une activité biologique moyenne. Le calcaire est sous forme diffus en surface du profil ; en profondeur, ils s'individualisent sous forme d'amas, encroutement et croute calcaire.

La circulation de l'eau à travers le profil est, dans la plus part des cas, limitée en profondeur par la croute et encroutement calcaire qui retirent à sa surface les eaux de filtration. Si l'on juge d'après la couleur et les dépôts calcaires dans la couche de 10 cm d'épaisseur située au-dessus de la masse calcaire, une part de cette eau ne retourne pas dans les horizons supérieurs par la remontée capillaire, mais elle s'évapore au cours de la période chaude.

#### b. Données analytiques :

\*Calcaire Total : Ces sols sont carbonatés dès la surface. La teneur en calcaire dans la couche supérieur est de 20.5% et augmente en profondeur.

\*La teneur élevée du calcaire a favorisé la saturation du complexe adsorbant en basse échangeables avec la dominance du cation  $Ca^{++}$  ; la capacité d'échange cationique est importante à travers le profil.

\* Les sols marron à croute et encroûtement calcaire sont pauvres en matière organique, pauvres en azote et en phosphore assimilable, riches en potassium échangeable.

\*La réaction du milieu est légèrement à modérément alcaline.

\*Le taux en calcaire actif est moyen à élever.

**c. Valeur productive et mise en valeur :**

La profondeur de la couche active est grande, la composition mécanique plus favorable, et le régime d'eau est favorable, autant de facteurs qui contribuent à ce que les sols marron à croute et encroutement calcaire soient assez productifs. La présence de la croute et encroutement calcaire à une profondeur de 50 à 90 cm limite la possibilité d'utilisation potentielle de ces sols. Les cultures à enracinement profond : arbres fruitiers ne peuvent pas réussir sur ces terres. Actuellement les sols de la zone sont utilisés uniquement pour la céréaliculture, notamment le blé et l'orge, les rendements sont moyens à faibles, conditionnés par le climat (pluviométrie) et par le niveau de la fertilité, les autres surfaces non travaillées sont utilisées par les agriculteurs comme parcours pour les moutons .

Ces sols sont utilisés pour la première année à la culture du blé ou autres cultures fourragères, l'année suivante le sol est soumis à un labour profond sans être ensemencé, pour restituer au sol l'état d'humidité favorable, vers le début de la campagne de la 3ème année, on installe les cultures choisies, en donnant la priorité aux espèces tolérantes aux caractéristiques physiques et chimiques de ces sols.

A l'aide de l'irrigation et la fertilisation, les agriculteurs ont obtenu sur ces sols, même avec des procédés techniques primitifs des rendements considérables, notamment en cultures fourragères et maraichères.

Toutefois il serait utile d'étudier de plus près la possibilité d'utilisation des eaux souterraines en vue de l'irrigation régulière de ces sols.

**4.1.2.2. Les sols isohumiques marron modaux**

Répartie au centre de la plaine de F'kirina occupant la plus grande superficie, qui est de **185.366 Km<sup>2</sup>**. **Profil 6**

**Localisation :**

x : 07°17'44.16" E

y : 35°41'15.36" N

z : 851.96 m

Matériau parental : marnes

Pente : 0-1%

Charge en cailloux : - 5 %

Végétation : céréales

Date : 18 / 04 / 2013

Classification : Sol isohumiques marron modal

**Horizon 1 : 0 – 30 cm**

marron état sec, texture limono-argileuse, structure grumuleuse, effervescence à l'HCl, matière organique décelable, racines très fines à moyennes, friable ; éléments grossiers 3-5% ,transition graduelle, calcaire diffus , échantillon P6H1.

**Horizon 2 : 30 - 65 cm**

Brun foncé état sec, texture limono-argileuse , structure polyédrique moyenne, effervescence à l'HCl ,racines très fines, débris organique ,moyennement fiable, éléments grossiers 4-6% , matière organique décelable, transition diffuse, échantillon P6H2.

**Horizon 3 : 65 - 115 cm**

Brun jaunâtre, texture limono-argileuse , structure polyédrique moyenne , compacte, effervescence à l'HCl , matière organique moyennement décelable échantillon P6H3

**Tableau 13.** Résultats des analyses sol du profil P6

Echantillon P6 paramètres	Horizon 1	Horizon2	Horizon3
<b>Profondeur (cm)</b>	<b>0-30</b>	<b>30-65</b>	<b>65-115</b>
<b>Granulométrie</b>			
<b>Argile %</b>	27.01	25.09	<b>19.42</b>
<b>Limon Fin %</b>	16.33	31.99	<b>16.01</b>
<b>Limon Grossier %</b>	30.21	9.87	<b>30.65</b>
<b>Sable Fin %</b>	27.01	35.12	<b>30.63</b>
<b>Sable Grossier %</b>	0.45	0.41	<b>0.50</b>
<b>Réserves Minérales</b>			
<b>Calcaire actif %</b>	13.62	18.0	<b>20.1</b>
<b>Calcaire total %</b>	20.19	25.42	<b>39.52</b>
<b>Solution de Sol</b>			
<b>PH eau en 1/5</b>	8.2	8.2	<b>8.2</b>
<b>CE mmhos/cm</b>	0.19	0.20	<b>0.21</b>
<b>Matière Organique</b>			

<b>Carbone %</b>	1.3	1.6	<b>1.4</b>
<b>Matière organique %</b>	1.91	1.82	<b>1.79</b>
<b>Azote total %</b>	1.21	1.49	<b>1.44</b>
<b>C/N</b>	10.7	10.7	<b>9.77</b>
<b>P2O5 assimilable (ppm)</b>	110	184	<b>120</b>
<b>K échangeable (még/100g)</b>	0.18	0.38	<b>0.13</b>
<b>Complexe Adsorbant</b>			
<b>Ca++ en még /100g</b>	10.3	4.7	<b>10.5</b>
<b>Mg++ en még /100g</b>	3.81	1.45	<b>1.31</b>
<b>K+ en még /100g</b>	0.55	0.99	<b>0.26</b>
<b>Na+ en még /100g</b>	<b>0.17</b>	<b>0.75</b>	<b>0.71</b>

#### a. Caractéristiques morphologiques :

Brun foncé à la surface et brun-clair à brun jaunâtre en profondeur, d'après leur composition granulométrique, ces sols ont une texture moyenne avec des gravillons, structure grumuleuse en surface et polyédrique subangulaire fine et moyenne en profondeur. Sur la plus grande partie des surfaces de ces sols, la composition un peu plus fine, enrichie par le calcaire, a conditionné une porosité plus grande, notamment dans la couche superficielle, la dominance des macropores en surface de profil a influencé sur la capacité de rétention en eau, qui est un peu plus faible par rapport à la couche de profondeur.

#### b. Données analytiques :

Les sols bruns modaux semi-arides, sont des sols fortement carbonatés. Dans l'horizon de 0-30cm la teneur en calcaire actif est de 20%. Au-dessous de cette couche, elle augmente progressivement avec la profondeur jusqu'au 40%. La présence du calcaire a créé une situation favorable dans le complexe adsorbant, qui est bien saturé en bases, notamment en Ca<sup>++</sup>.

Ces sols sont pratiquement non salins à travers le profil, pauvre en matière organique (1.6-1.8%) et en azote total, pauvre en potassium échangeable et pauvre en phosphore assimilable, le rapport C/N est satisfaisant à travers le profil, il varie entre 9 et 11. La réaction du milieu est très légèrement alcaline.

**a. Valeur productive et mise en valeur :**

La composition fine de la texture ; la structure favorable, la profondeur des sols satisfaisante et les propriétés physiques et chimiques favorables de ces sols contribuent largement à ce que ces sols soient potentiellement fertiles. Ces surfaces sont actuellement soumises, sur la plus grande part, à la culture du blé en rotation avec la jachère. Les rendements réalisés sont moyens, et conditionnés par le climat (pluviométrie).

L'introduction de l'irrigation rend ces sols aptes presque à toutes sortes de cultures : cultures fourragères, cultures maraichères et arboricultures.

Des amendements de la fumure organique et la fertilisation minérale se sont révélés très nécessaire ; pour augmenter le niveau de la fertilité active de ces sols, il est nécessaire d'appliquer des engrais riche en phosphore pour compenser le déficit enregistré de cet élément en quantité variant entre 1-1.5 Qx/ha.

Après la phosphorisation, on doit procéder à l'amendement par des engrais comportant le potassium(NPK) pour compléter le déficit en potassium.

**4.1.3. Les sols minéraux bruts****4.1.3.1. Les sols minéraux bruts d'origine non climatique d'apport alluvial modaux**

Ces sols n'occupent qu'une petite surface de **6 .82679** Km<sup>2</sup> situés au Nord de la plaine. Ils sont représentés par le profil P11 et ont une texture limoneuse avec des taux de calcaire atteignant 36 %. Ils sont caractérisés par une forte charge en cailloux à partir de 60 cm de profondeur.

**Profil 11****Localisation :**

x : 07°27'8.64"E

y : 35°39'6.12"N

z : 913.42 m

Matériau parental : alluvions des terrasses de l'oued

Pente : 0-2%

Charge en cailloux : - 5 %

Végétation : parcours

Date : 17 / 04 / 2013

Classification : Sol Minéral brut, d'origine non climatique, d'apport alluvial , modal.

**Horizon A : 0 – 25 cm**

Brun jaunâtre (10YR 5/6) état frais, texture limoneuse , structure massive sous forme de plaques, charge en cailloux très faible( -3 %), forte effervescence à l'HCl , très nombreuses racines fines, bonne porosité fine à moyenne , friable, bonne répartition de la matière organique , transition diffuse , échantillon P11H1.

**Horizon C1 : 25 - 65 cm**

Brun blanc-jaunâtre (10YR 6/4) état frais, texture limoneuse, structure massive, charge en cailloux faible( 2-3 %), forte effervescence à l'HCl , peu nombreuses racines fines, faible porosité fine à moyenne , peu de matière organique , transition graduelle, échantillon P11H2.

**Horizon C2: 65 - 140 cm**

Brun très pâle (10YR 7/4) état frais, texture limoneuse , structure massive, charge en cailloux très forte( 40-50 %) englobant tous les calibres jusqu'aux blocs, forte effervescence à l'HCl , très peu de racines , faible porosité moyenne , échantillon P11H3.

**Tableau 14.** Résultats des analyses sol du profil P11

<b>Echantillon P11 paramètres</b>	<b>Horizon 1</b>	<b>Horizon2</b>
<b>Profondeur (cm)</b>	0-25	25-65
<b>Granulométrie</b>		
<b>Argile %</b>	22	27
<b>Limon Fin %</b>	40	30
<b>Limon Grossier %</b>	17	20
<b>Sable Fin %</b>	16	18
<b>Sable Grossier %</b>	02	00
<b>Réserves Minérales</b>		
<b>Calcaire actif %</b>	09.4	15.8
<b>Calcaire total %</b>	20.90	36.40
<b>Solution de Sol</b>		

PH eau en 1/5	8.8	8.9
CE mmhos/cm	0.4	0.4
<b>Matière Organique</b>		
Carbone %	8.1	9.7
Matière organique %	1.393	0.808
Azote total %°	0.68	0.54
C/N	12	9
<b>Complexe Adsorbant</b>		
Ca++ en méq /100g	58.96	44.73
Mg++ en méq /100g	3.54	6.22
K+ en méq /100g	0.41	0.16
Na+ en méq /100g	0.00	0.18
CEC en méq /100g	<b>28.19</b>	<b>35.56</b>

#### a. Caractéristiques morphologiques :

Morphologiquement, ils se caractérisent par un affleurement soit de roche durcies (calcaire et dolomites) avec parfois des horizons humifères très minces, soit de roches tendres (marnes et marno-calcaires) plus au moins altérées qui engendrent des poches de sols souvent encroutés. Les sols de cette unité par sa situation dans le paysage, sont exposés fréquemment aux phénomènes d'érosion pluviale, qui décape sans cesse les horizons de surface, favorisés par la dégradation et l'absence de la couverture végétale, et par l'action anthropique qui aide la destruction de ces sols.

#### b. Données analytiques :

Ces sols sont très riches en calcaire total, pauvres en matière organique, pauvres en azote total dans l'horizon de surface et le complexe adsorbant est moyennement saturé en bases échangeables.

\*La réaction est modérément alcaline.

\*Ces sols sont non salins (0.4mmhos/cm).

#### c. Valeur productive et mise en valeur :

Ces sols sont recommandés pour le reboisement, associés aux travaux techniques pour la conservation des sols.

#### 4.1.4. Les sols halomorphes modérément salins à encroustement saline.

Ces sols occupent une surface de **86.8559** Km<sup>2</sup> situés au Nord –Est de la plaine exactement. Ces sols font partie de la sebkha Gareat Taref. Ils sont représentés par le profil P8.

##### Profil P8

###### Localisation :

x : 07°17'24.36" E

y : 35°40'4.44" N

z : 845.67 m

Matériau parental : Quaternaire ancien

Géomorphologie : Plaine

Pente : 2-4%

Charge en cailloux : Eléments fins très faible <2%

Végétation : Parcours de plantes halophiles

Date : 18 / 04 / 2013

Classification : Sol halomorphe modérément salin à encroustement saline.

###### Horizon 1 : 0 – 35 cm

Sec, brun foncé (10YR 3/3), texture limono-sablo-argileuse, structure fragmentaire à perpendiculaire, matière organique décelable, vive effervescence à l'HCl , très nombreuses racines fines, poreux, friable, débris végétaux , calcaire diffus , transition graduelle, échantillon P8H1.

###### Horizon 2 : 35 - 90 cm

Brun (10YR 5/4) état sec, texture limono-argileuse, structure polyédrique fine à moyenne, charge en cailloux ( <3 %), forte effervescence à l'HCl , nombreuses racines fines, peu poreux , matière organique décelable , calcaire diffus, échantillon P8H2.

**Tableau 15.** Résultats des analyses sol du profil P8

Echantillon P8 paramètres	Horizon 1	Horizon2
Profondeur (cm)	0-35	35-90
<b>Granulométrie</b>		
Argile %	20	33

Limon Fin %	19	22
Limon Grossier %	28	23
Sable Fin %	29	11
Sable Grossier %	10	07
<b>Réserves Minérales</b>		
Calcaire actif %	13.25	14
Calcaire total %	23.25	25.33
<b>Solution de Sol</b>		
PH eau en 1/5	7.95	7.95
CE mms/cm	5.47	5.5
<b>Matière Organique</b>		
Carbone %	1.35	0.18
Matière organique %	2.32	0.31
Azote total %°	0.75	0.25
C/N	18	7
<b>Complexe Absorbant</b>		
Ca++ en méq /100g	3.40	9.70
Mg++ en méq /100g	1.37	2.71
K+ en méq /100g	0.88	0.75
Na+ en méq /100g	0.95	1.5
<b>CEC en méq /100g</b>	<b>10.50</b>	<b>20.90</b>

#### a .Caractéristiques morphologiques :

Sol moyennement profond à profond n brun foncé en surface et brun en profondeur, texture moyenne à grossière en surface et moyenne en profondeur, structure grumuleuse à polyédrique fine.

#### b. Données analytiques :

Ces sols sont très fortement calcaire avec une teneur de 24% dans la couche superficielle, cette teneur augmente considérablement en profondeur. Ces sols sont non gypseux et la

conductivité électrique dans les horizons d'accumulation maximale des sels est de 06mmhos/cm, ces horizons sont à la surface, et rarement dans la partie moyenne du profil.

La salinisation est chlorurée à la surface ; en profondeur, elle est chlorurée ou chloruro-sulfatée.

Ces sols sont pauvres en matière organique et en azote total. Pauvres a très pauvres en éléments nutritifs

La réaction elle est alcaline et la texture est limoneuse a limono-argileuse en surface et limono-argileuse en profondeur.

#### **c. Valeur productive et mise en valeur :**

La présence des sels facilement solubles en quantités suffisantes réduit sensiblement la possibilité d'utilisation et la capacité de production de ces sols.

La possibilité d'utilisation de ces sols et leur potentiel de production dépendent de la teneur en sels facilement soluble et de leur composition.

#### **4.1.5. Les Lithosols (L) :**

Ces sols n'occupent qu'une superficie de 2.90919 Km<sup>2</sup>, mais en association avec les Régosols, ils occupent une superficie de 80.5683Km<sup>2</sup> donc ils représentent 11% de la superficie étudiée.

Ce sont les surfaces représentées par l'affleurement des roches dures. Morphologiquement les lithosols sont caractérisés par l'absence d'horizons de surface, traces ou absence totale de la matière organique et fortement exposé à l'érosion, les phénomènes morphogénétiques l'emportent nettement sur les phénomènes pédogénétiques.

Les lithosols de la zone d'étude sont répartis sur djebel Galaa de la partie Nord de la zone d'étude, ces sols sont caractérisés par des affleurements rocheux sur des superficies très réduites.

#### **4.1.6 .Sol Calcimagnésiques dans la zone d'étude une seule sous-classe a été constatée :**

##### **4.1.6.1. Les Rendzines**

Répartie dans la partie Nord-Est et Sud de la plaine de F'kirina, avec une superficie importante de **181.629** Km<sup>2</sup>.

**Profil 17****Localisation :****x : 07°27'2.16" E****y : 35°41'19.68 N****z : 973.98 m**

Matériau parental : marnes

Pente : 3-6%

Charge en cailloux : - 1 %

Végétation : jachère

Drainage : moyen

Date : 17 / 04 / 2013

Classification :

**Horizon 1 : 0 – 30 cm**

Brun à marron état sec, texture limono-argileuse , structure grumuleuse ,éléments grossiers très faible(1-3 %), forte effervescence à l'HCl , racines fines moyenne, poreux, bonne répartition de la matière organique décelable, transition nette .

**Horizon 2 : 30 - 70 cm**

Sec, brun ocre, texture limono-argilo-sableuse, structure polyédrique subangulaire moyenne, éléments grossiers très faible, activité biologique bonne, calcaire diffus, vive effervescence à l'HCl .

**Horizon 3: >70 cm**

Encroutement calcaire , forte effervescence à l'HCl .

**Tableau 16.** Résultats des analyses sol du profil P17

Echantillon P17 paramètres	Horizon3		
	Horizon 1	Horizon2	
Profondeur (cm)	0-30	30-70	➤ 70cm
<b>Granulométrie</b>			
Argile %	17.11	40.21	
Limon Fin %	49.42	22.11	

<b>Limon Grossier %</b>	18.02	06.10	<b>Encrouement calcaire.</b>
<b>Sable Fin %</b>	09.67	12.12	
<b>Sable Grossier %</b>	02.12	17.84	
<b>Réserves Minérales</b>			
<b>Calcaire actif %</b>	14	14	
<b>Calcaire total %</b>	33	34	
<b>Solution de Sol</b>			
<b>PH eau en 1/5</b>	8.8	8.7	
<b>CE mms/cm</b>	0.27	0.51	
<b>Matière Organique</b>			
<b>Carbone %°</b>	5.35	7.18	
<b>Matière organique %°</b>	0.92	1.31	
<b>Azote total %°</b>	0.85	0.79	
<b>C/N</b>	6.29	9	
<b>Complexe Absorbant</b>			
<b>Ca++ en méq /100g</b>	3.90	7.70	
<b>Mg++ en méq /100g</b>	2.7	3.99	
<b>K+ en méq /100g</b>	1.10	0.85	
<b>Na+ en méq /100g</b>	0.85	1.35	
<b>CEC en méq /100g</b>	<b>22.34</b>	<b>30.17</b>	

**a .Caractéristiques morphologiques :**

Brun en surface et brun clair en profondeur, d'après leur composition granulométrique ces sols sont en général des sols moyennement lourds ; texture moyenne et la composition granulométrique devient, avec la profondeur, un peu plus légère et ceci prouve que le lessivage des particules fines vers les couches profondes n'existent pas. La structure est polyédrique grossière en profondeur subangulaire fine en surface qui surmonte brusquement une croute calcaire dure et zonaire ou un encroutement plus au moins friable.

L'eau d'infiltration tache à remonter par des courants accédant (remontée capillaire), mais la présence de la croute calcaire interrompt leur mouvement. C'est pourquoi la couche située au-dessous de la croute calcaire est assez souvent plus humide que la couche superficielle de terre active.

**b. Données analytiques :**

Sur toutes les surfaces ces sols sont carbonatés, le calcaire total est de 35% toute au long du profil. Ces sols sont riches en calcaire actif dont la teneur dans la couche 0-30cm est de 14%. Les rendzines ne sont pas des sols salins sur toutes les surfaces, le cation  $Ca^{++}$  occupe plus de 50% du complexe adsorbant qui est favorisé par une forte teneur en calcaire.

Les rendzines sont pauvres en matière organique, pauvre en azote, légèrement alcalin et le rapport C/N est satisfaisant, varie de 9 et 11.

**c. Valeur productive et mise en valeur :**

Généralement ces sols sont pauvres, au régime hydrique défavorable et à la possibilité d'utilisation très limitée, en raison de faible profondeur de la couche de terre.

Actuellement ces sols sont considérés comme aptes à la céréaliculture mais avec des rendements faibles à moyen.

L'amélioration de ce sol nécessite des mesures à entreprendre :

- Brisement de la croute
- Epierrage
- Fertilisation

**1.7 .Sols Hydromorphes**

Les sols hydromorphes de la zone sont minéraux ou peu humifères très localisés, formés sur des sédiments alluviaux récents, répartie au milieu prés à proximité de de gareat Taref avec une superficie de **3.04227** Km<sup>2</sup>.

Etant donné que leur importance est limitée dans la zone d'étude, ces sols sont à présent utilisés comme prairies de parcours pour ovins et bovins.

**4.2 Répartition des sols de la zone d'étude (Tableau 17)** (Pour consulter les autres profils avec description et résultats d'analyse, Voir annexe 4)

Sols	Superficie	
	Km <sup>2</sup>	% du total
<b>Sols peu évolués</b>		
<b>Non climatiques</b>		
-d'apport alluvial	4.40682	0.6%
-d'apport colluvial	7.5633	1%
<b>Sol Isohumiques</b>		
à pédoclimat froid pendant une partie de l'année		
Brun isohumiques		
- modaux	185.366	24.04%
à pédoclimat frais pendant les saisons pluvieuses		
Marron		
-à croûte et encroûtement calcaire	179.215	24%
-marron faiblement salé	1.75393	0.23%
<b>Sols Hydromorphes</b>	3.04227	0.4%
<b>Sols Halomorphes</b>		
-modérément salins à encroûtement saline	86.8559	11.43%
<b>Unité complexe</b>		
-Sols minéraux bruts en association avec sols bruns calcaires	6.82679	0.89%
<b>Sols non climatiques d'érosion</b>		
-Lithosols	2.90919	0.38%
- Lithosol en association Régosols	80.56683	10.6%
-Régosols	19.3795	2.55%
<b>Sols Calcimagnésiques</b>		
Rendzines	181.629	24%
<b>TOTAL</b>	759.516	

### 4.3. Aptitudes des cultures

Nos propositions obéissent à un impératif local ; celui de la mise en valeur des terres en sec et en irrigué (fig.17).

Toutes ces actions proposées comportent :

- L'intensification des cultures céréalières et fourragères ;
- L'introduction des cultures industrielles ;
- L'autosuffisance en produits maraichères ;
- La plantation d'arbres fruitiers.

#### 4.3.1. Les cultures céréalières et fourragères

Les meilleurs sols pour ces cultures sont à texture moyenne à fine, et assez profonds. Ils correspondent aux sols peu évolués d'apport alluvial, colluvial modaux et certains sols bruns calcaires sans obstacles (encroutement, croutes ou dalles).

#### 4.3.2. Les cultures maraichères et industrielles

Ces cultures préfèrent des sols de texture moyenne à grossière avec un bon drainage (sols peu évolués modaux, certains sols calcimagnésiques bruns calcaires).

Lorsqu'on est en présence des caractères de mauvais drainage, de salinité d'alcalinité, les sols seront moyennement bons pour ces types de cultures.

#### 4.3.3. L'arboriculture fruitière

Les bons sols pour ce type de culture sont déjà signalés pour les cultures précédentes.

#### 4.3.4. Aptitudes complexes

On y trouve une mosaïque de sols à aptitude complexe, avec essentiellement des céréales comme culture. On y trouve également certaines cultures bien localisées, fourragères, maraichères ou fruitières utilisées pour les besoins locaux.

La plupart des sols de cette unité complexe sont calcimagnésiques emblavés localement par une culture quand ils sont moyennement profonds ou utilisés comme parcours à moutons, ou encore reboisé là où il y a affleurement de croute et encroutement calcaire.

#### 4.3.5. Zone inculte

Il s'agit de surfaces qui ne peuvent porter aucune végétation.

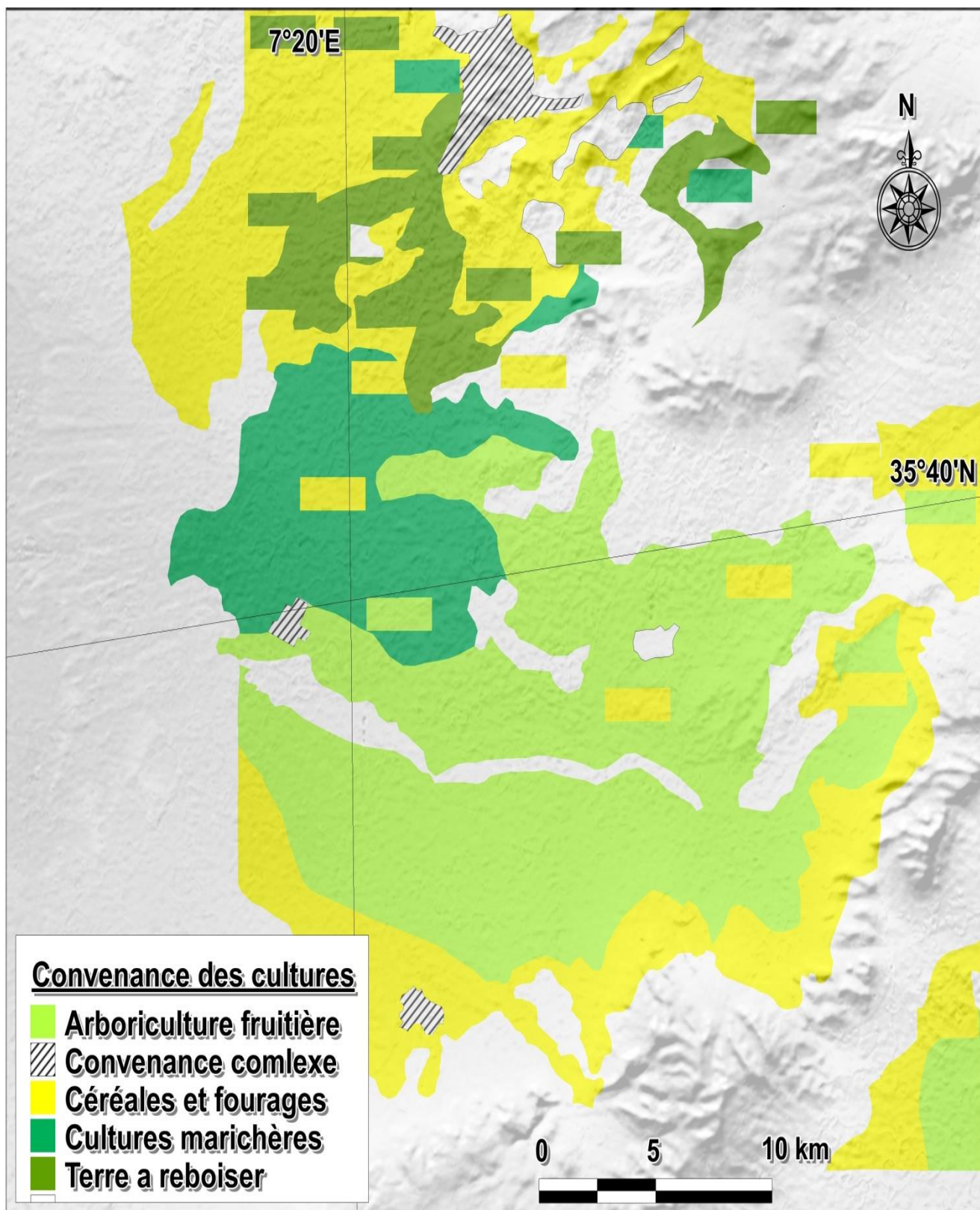


Figure 17. Carte des aptitudes culturales de la plaine de F'kirina à l'échelle 1/50.000.

**Conclusion :**

Cette étude a aidé à dégager des conclusions importantes du point de vue typologie des sols et leurs caractères morphologiques et analytiques pertinents ainsi que les possibilités de leur utilisation, surtout à des fins pratiques « aptitudes ».

La zone d'étude est essentiellement occupée par les sols calcaires avec des profils moyennement profonds à profonds, ces sols se sont développés à partir des conglomérats et calcaires. Ils sont formés sur quaternaire ancien ont une texture moyenne et sont moins affectés par les sels.

Pour la plaine (la zone d'étude), et surtout dans la partie centre, elle est caractérisée par des sols à texture moyenne et calcaire, avec des caractères salins plus au moins développés par l'accumulation saline aux limites de sebkhat. Gare Taref caractérisée par une conductivité électrique élevée.

Les facteurs principaux limitant l'agriculture dans la zone d'étude en plus du facteur "eau" sont :

- la présence de la croûte et encroûtement calcaire à faible profondeur, et d'une épaisseur très importante.
- La charge caillouteuse très importante en surface.
- La texture fine de la plaine.
- La présence des sels solubles.
- L'évolution de la salinité des sols irrigués situés autour des dépressions salines doit être suivie avec beaucoup d'attention, avec toutefois une attention particulière, qui doit être accordée aux horizons de surface.

#### 4.4. Caractéristiques du sol étudié pour l'étude expérimentale

Les analyses physico-chimiques du sol étudié montrent qu'il a un pH alcalin, carbonaté et à salinité légèrement élevée dans les horizons moyens du sol (tableau 18) en effet, un sol d'une capacité de rétention moyenne, son humidité pondérale moyenne au Pf 2.5 est de 23.08 % est celle du point de flétrissement est de 11.15 %. La réserve en eau utile sur une profondeur de un mètre est de 104 mm. Le sol est pauvre en matière organique.

**Tableau 18.** Résultats d'analyses du sol.

Profondeur (cm)	Granulométrie(%)					CaCO <sub>3</sub> (%)		MO%	pH 1/2,5	CE (mScm <sup>-1</sup> )	Hs au pF 2,5	Hs au pF 4,2	Da
	A*	LF*	LG*	SF*	SG*	Total	actif						
0-20	20	24.08	15.20	27.6	20	25	11.98	1.6	8.2	2.07	21.4	10	1.53
20-60	24	32.09	11.10	31.15	0.85	27.6	13.95	1.3	8.3	2.37	24.76	12.3	1.50

A\* Argile ;LF :limons fins ;LG : limons grossiers ; SF :sables grossiers ; MO : matière organique ;CE :conductivité électrique; Da: densité apparente, pF2,5: capacité au champ,pF4,2 : point de flétrissement.

Les propriétés de rétention par une texture limoneuse du profil cultural assurent au sol un stock d'eau appréciable pour la culture. Les sols du type limoneuse à limono-argileux conviennent bien aux racines fasciculées du blé en assurant une grande surface de contact (Soltner, 2000).

##### 4.4.1. Les niveaux caractéristiques de l'humidité à la capacité au champ (CC) et au point de flétrissement (PF), et leurs potentiels matriciels.

La délimitation du réservoir hydrique du sol est définie par deux niveaux d'énergie (Bonneau et Souchier, 1977). L'énergie exprime les forces de rétention de l'eau du sol, évaluées par le taux d'humidité à la capacité au champ (CC) et au point de flétrissement permanent (HF). Les auteurs indiquent que pour un taux d'humidité à la capacité au champ pour des terres limoneuses, la valeur du potentiel matriciel lié donc à la granulométrie et au taux de matière organique est de 0.33 bars, correspondant donc à un pF= 2.5. Le point de flétrissement est défini pour un taux d'humidité du sol à 16 atmosphères, il correspond à un pF= 4.2.

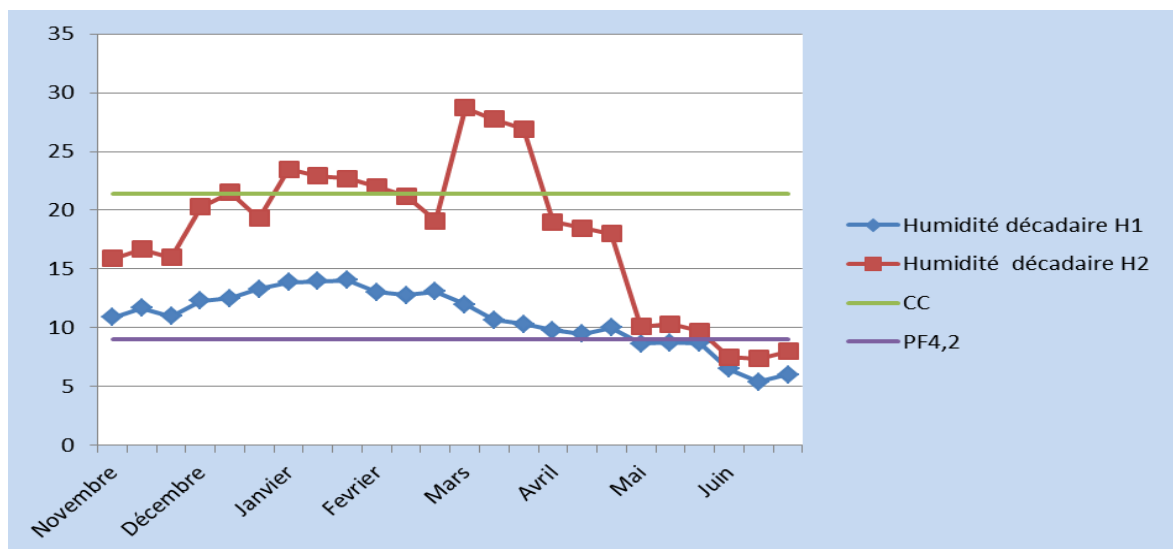
Les résultats obtenus sur les niveaux moyens standards d'humidité des échantillons de la parcelle expérimentale sont caractérisés par un taux d'humidité à la capacité au champ de 23.08% pour un  $pF= 2.5$ . Celle à la capacité au point de flétrissement mesurée à  $pF= 4.2$  révèle un taux d'humidité caractéristique de 11.15%. Ces deux niveaux d'humidité représentent la base déterminante pour le suivi du comportement hydrique des horizons du sol et la sensibilité de la plante au stress hydrique. En effet, ces deux valeurs sont des caractéristiques hydriques du sol, elles servent de repère de l'état hydrique pour la gestion de la quantité d'eau mise à la disponibilité de la plante. Dès que le niveau en eau du réservoir sol baisse, la plante n'est plus en conditions de confort hydrique.

Ces niveaux caractéristiques de potentiel matriciel de l'eau permettent d'évaluer la réserve utile en eau du sol (RU). Sur les 60 cm de profondeur d'enracinement de la culture du blé, et pour une densité apparente de 1.51, la RU est de 104 mm.

#### 4.4.2. La variation de l'humidité du sol, moyenne du profil cultural

Le suivi de l'humidité pondérale du sol par décade au cours du cycle végétatif sur les deux horizons H1 (0-25cm) et H2 (25-60cm), montre de grandes fluctuations allant de 06% à 13% pour l'horizon H1, et de 08% à 28% pour l'horizon H2 (Figure 18).

Ces variations sont le résultat de l'interaction de la composante "pluie, température, vent, radiations " avec le stade de développement de la culture. Les variations de ces teneurs en eau sont aussi fonction de l'interaction complexe entre les mécanismes hydraulique du sol (remontée capillaire, percolation, drainage) d'une part et le développement racinaire d'autre part.



**Figure 18.** Fluctuation de l'humidité pondérale des deux premiers horizons du sol au cours du cycle végétatif.

#### 4.5. Estimation des besoins en eau du blé dur

Un modèle simple de bilan hydrique a été construit pour calculer la consommation d'eau (ET0) pour chaque situation. La consommation satisfaisant le besoin de la culture (ETM) est calculée comme le produit  $K_c \times ET_0$ . Les coefficients culturaux par stade ( $K_c$ ) (voir annexe 8) proviennent de la FAO (Doorenbos et Kassam, 1979). On considère que la culture réduit sa consommation de façon linéaire dès que le régime ETM n'est plus maintenu c'est à dire dès que la réserve en eau du sol devient inférieure à la réserve facilement utilisable, pour s'annuler lorsque la réserve en eau devient nulle. La réserve facilement utilisable correspond aux 2/3 de la réserve utile soit 104 mm. Sur la base d'une vitesse d'enracinement de 1.2 mm par jour (Paillard et al, 1992), on augmente régulièrement la taille du réservoir accessible aux racines. La quantité d'eau au semis du blé est initialisée en tenant compte du bilan pluviométrique des mois d'octobre et de novembre qui ont un poids déterminant sur la recharge du profil hydrique. En fin, cette consommation diminue jusqu'au stade fin maturité. L'évolution des apports d'eau (pluies efficaces) suivent la même évolution que la consommation. (Voir annexe 6)

#### 4.6. Irrigation

Le premier traitement conduit en évapotranspiration maximale (ETM) durant tout le cycle végétatif (doses d'irrigation sont mentionnées dans l'annexe 6), et le second conduit en régime pluvial (PL). Dans le deuxième essai, nous avons conduit quatre traitements avec restriction hydrique, dans lesquels nous avons simulé des précipitations par des apports d'eau sous forme d'irrigations d'appoint afin de ramener le sol à sa capacité de rétention au début de chacune des quatre phases phénologiques de la période de reproduction correspondant aux phases tallage, montaison, floraison et grossissement du grain.

Le principe d'irrigation pour le second traitement est basée sur une grande fréquence d'irrigation c'est à dire un important fractionnement de la dose globale et ce pour assurer une réserve facilement utilisable du sol au moins dans une couche partielle du profil d'épuisement durant toutes les phases critiques de la culture. Une dose globale de 140 mm fractionnée en quatre apports variables.

Sur la base de ce déficit hydrique, les irrigations appliquées de type déficitaire visent à satisfaire le besoin en eau des variétés au cours des phases critiques du cycle cultural.

Tableau 19. Calendrier et volume des irrigations

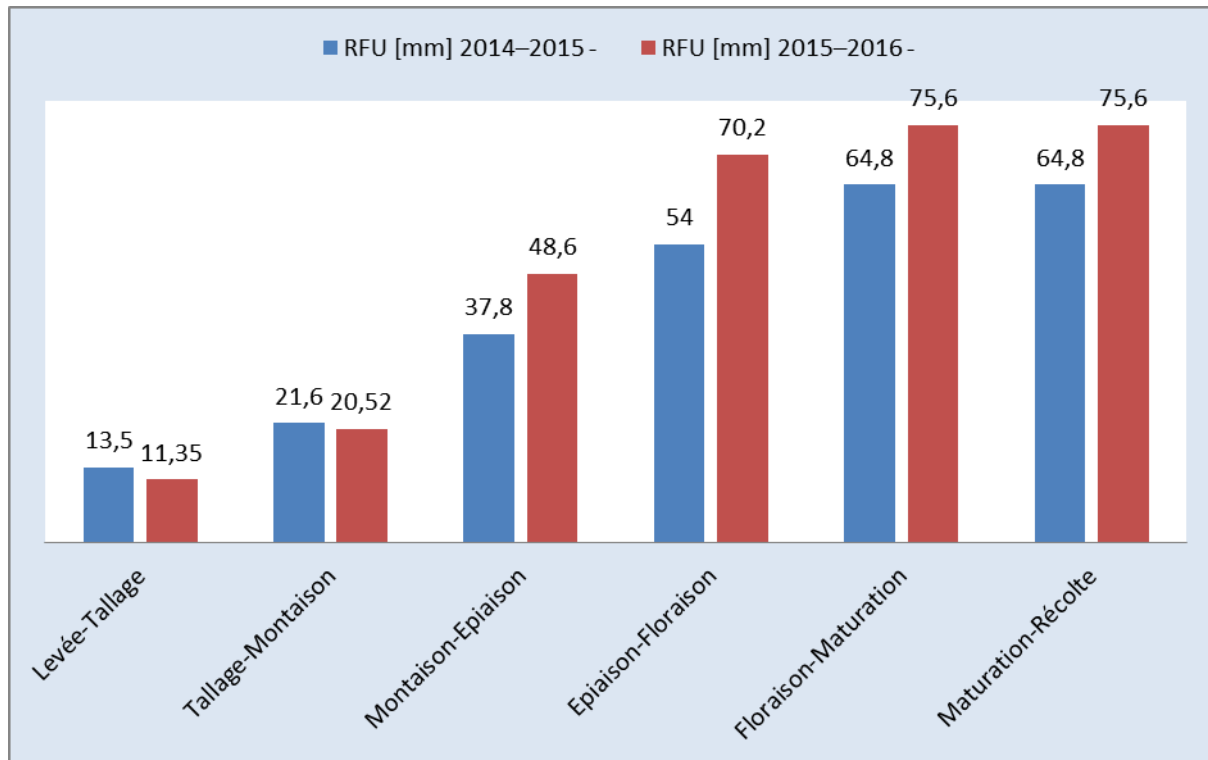
Les traitements	Quantité en mm	Stade végétatif
Première irrigation pour les traitements T1, T2, T3 et T4	20mm	Tallage
Deuxième irrigation pour les traitements T2, T3 et T4	40mm	Montaison
Troisième irrigation pour les traitements T3 et T4	40mm	Floraison
Quatrième irrigation pour le traitement T4	40mm	Grossissement de grains

La qualité de l'eau d'irrigation est appréciée par les variables suivantes :  $\text{Ca}^{++}$  (12.22 mg/l),  $\text{Mg}^{++}$  (4.71 meq/l),  $\text{Na}^+$  (1.3 meq/l),  $\text{Hco}_3^-$  (2.89 meq/l), CE (conductivité électrique) (2.1 ds/m), et PH (7.1). Le SAR (Sodium Adsorption Ratio) est égal à 0.44, ce qui ne présente aucun risque pour la dégradation du sol. Selon la classification de Riverside, cette eau appartient à la classe C3S1, niveau de salinité considéré comme élevé mais n'affectant pas le rendement potentiel du blé dur (Ayers et Westcot, 1985 ; Bauder et al, 2007).

#### 4.7. Répartition et intensité annuelle de la contrainte hydrique

Pour la période expérimentale (2014-2016), on observe des régimes pluviométriques identiques et faibles ( voir tableau 21) puisque les précipitations enregistrées entre octobre et juin varient de 287,7 mm (2014-15) à 270 mm (2015-16). Sachant que la normale est de 351 mm, on peut distinguer alors deux années déficitaires (avec 81 % de la normale) selon la pluviométrie.

Pour apprécier les différences inter-annuelles de répartition de la contrainte hydrique, nous avons simulé l'évolution de la réserve en eau du sol pour les deux années d'étude (Figure 19). On distingue ainsi une situation à sécheresse précoce très marquée pour les deux campagnes agricoles avec un retour tardif des pluies en fin de montaison.



**Figure 19.** Evolution de la réserve en eau du sol disponible pour la plante au cours des deux années d'étude.

Y a pas une grande différentes entre les deux années d'étude afin de disposer d'un scénario de sécheresse contrastés et d'évaluer leurs impacts sur le rendement du blé en pluvial. Les sécheresses précoces qui ont impacté le nombre de plantes et le nombre d'épis par m<sup>2</sup> ont fortement réduit le potentiel de production. En effet, la contrainte hydrique au stade tallage provoque un arrêt de l'émission des talles et la réduction de la croissance des talles émises (El Hafid et *al.*, 1998). Un stress hydrique sévère réduit la longueur et le volume des racines séminales, principalement dans les couches profondes du sol, réduisant donc la ressource en eau disponible ultérieurement pour le blé (Adda et *al.*, 2005). Il en résulte une sensibilité accrue au déficit hydrique et une pénalisation du potentiel de production difficile à compenser par des irrigations plus tardives.

Les scénarios de sécheresse plus habituels concernent, la mise en œuvre plus ou moins précoce et rapide de la sécheresse au cours de la montaison, avec pour conséquence une réduction de la fertilité de l'épi et/ou du poids d'un grain. La régression des talles au cours de la montaison peut également affecter le nombre d'épis (Debaeke et *al.*, 1996).

#### 4.8. Evaluation des besoins et consommations en eau du blé dur

##### 4.8.1. Besoins en eau maximum

Les résultats d'estimation empirique de l'évapotranspiration maximale (ETM) du blé dur sous climat semi-aride, définie par le produit du coefficient cultural à l'évapotranspiration potentielle de Penman sont représentés dans le (tableau 20). On constate que ces besoins sont caractérisés par une grande variabilité inter-annuelles. Les besoins du cycle complet fluctuent d'un minimum de 382.77 mm en 2014-15 vers un maximum de 304.32 en 2015-16. Ces variations sont dues principalement aux changements contrastés de la demande climatique.

**Tableau 20.** Besoins en eau maximum (ETM) en mm du blé dur.

ETM [mm]		Semis-	Levée-	Tallage-	Montaison-	Epiaison-	Floraison-	Maturation-	Total
		Levée	Tallage	Montaison	Epiaison	Floraison	Maturation	Récolte	Cycle
	2014–15	23,8	21,99	24,56	43,08	165,06	58,62	45,66	382,77
	2015–16	10,46	19,74	34,32	85,92	182,5	28,52	26,84	304,32
	Moyenne ETM mm	17,13	20,86	29,44	64,5	173,79	43,57	36,25	343,54

La répartition moyenne des besoins en eau suivant les stades de la culture estimée sur la période (2014-2016) montre que les phases montaison et Floraison sont les plus exigeantes en eau avec 64.5 et 173.79 mm respectivement (Figure 20).

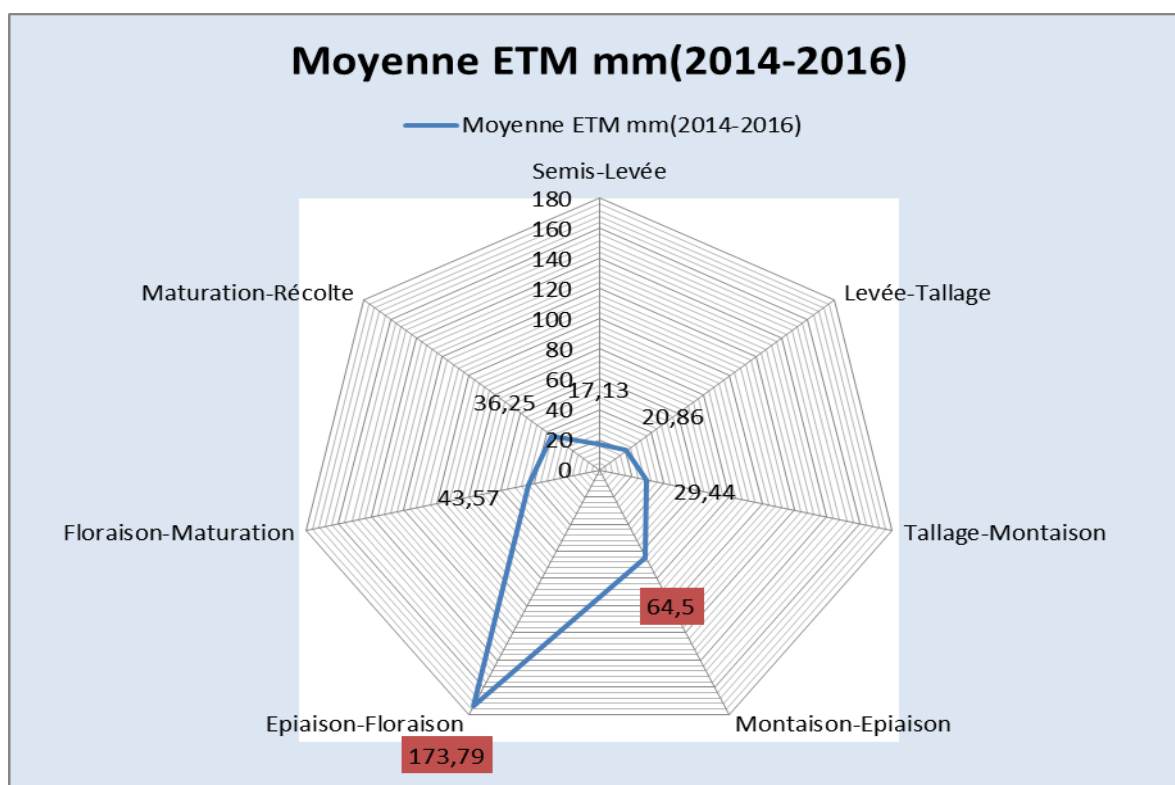


Figure 20. Répartition des besoins en eau maximum sur les phases de la culture.

#### 4.8.2. Consommations en eau en pluvial

Les résultats de l'évapotranspiration réelle (ETR) en pluvial sous climat semi-aride sont représentés dans le tableau 21. On note une grande variabilité interannuelle est enregistrée qui s'étale d'un minimum de 133 mm en 2014-15 à un maximum de 133 mm en 2015-16, avec une moyenne de 140.17mm sur la période d'étude (2014- 2016).

Tableau 21. Evapotranspiration réelle (ETR) en mm du blé dur en pluvial.

ETR [mm] en Pluvial	Semis-Levée	Levée-Tallage	Tallage-Montaison	Montaison-Epiaison	Epiaison-Floraison	Floraison-Maturation	Maturation-Récolte	Total Cycle
201415	28	20,94	22,33	35,9	1	1.2	20	140,17
2015-16	1	18,8	31,2	50	3	21	8	133

### 4.8.3. Consommations en eau en irrigué

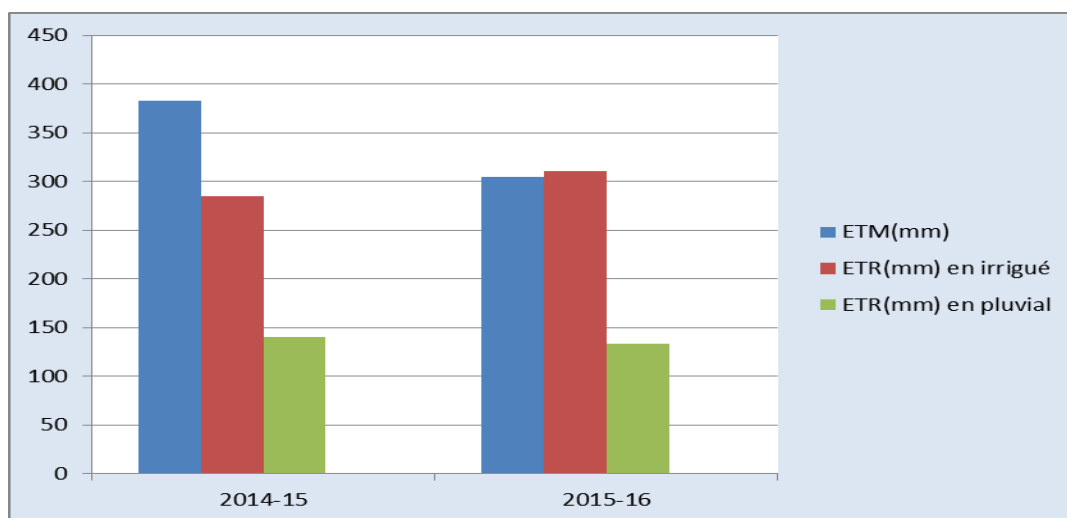
Les résultats de l'évapotranspiration réelle (ETR) en irrigué sous climat semi-aride sont représentés dans le tableau 22. On remarque une grande variabilité inter-annuelles est enregistrée, qui s'étale d'un minimum de 285 mm en 2014-15 à un maximum de 310.24 mm en 2015-16, avec une moyenne de 297.62 mm sur toute la période d'étude (2014- 2016).

**Tableau 22.** Evapotranspiration réelle (ETR) en mm du blé dur en irrigué.

ETR [mm] en irrigué								Total Cycle
	Semis- Levée	Levée- Tallage	Tallage- Montaison	Montaison- Epiaison	Epiaison- Floraison	Floraison- Maturation	Maturation- Récolte	
2014-15	28	20,94	22,33	35,9	55.03	65.03	84,83	285
2015-16	1	18,8	31,2	71,6	73.24	96.64	83,64	310,24

### 4.8.4. Besoins et consommation en eau en pluvial et irrigué

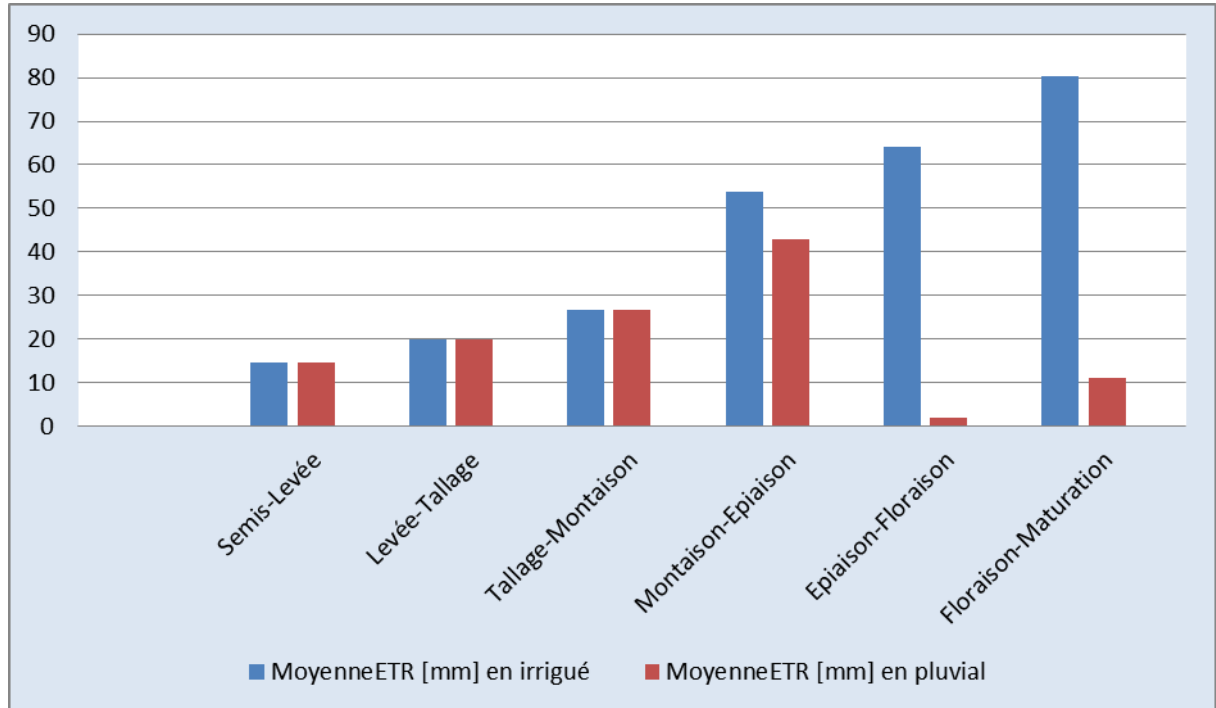
Les résultats de la comparaison de la consommation en eau avec les besoins maximums pour les deux années d'études 2014-2016 sous climat semi-aride (figure 21) montrent qu'il existe un rapport de liaison stable entre le niveau de consommation en eau (ETR) d'une part, les besoins maximums empirique et l'état hydrique du sol d'autre part pour la première année et une liaison instable enregistrées pour la 2<sup>ème</sup> année 2015/2016 qui du probablement au cumul des précipitations qui fut très faible.



**Figure 21.** Variations des besoins en eaux maximums et consommations du blé dur sous climat semi-aride

#### 4.8.5. Répartition des taux de consommation en eau sur les phases de la culture

La répartition des taux de consommation en eau sur les différentes phases de la culture est illustrée dans la figure 22.



**Figure 22.** Répartition des taux de consommation en eau sur les phases de la culture

On constate que :

Les phases : Montaison-Epiaison-Floraison renferment les plus importantes fractions d'eau consommée relativement aux autres phases. En pluvial, cette fraction devient plus importante et prend plus d'écart. En irrigué, la consommation en eau est beaucoup mieux répartie, par rapport à celle en pluvial. Nous pouvons donc dire que plus le sol est humide, plus la culture de prolonger au mieux ses capacités d'utilisation de l'eau, jusqu'aux dernières phases du cycle.

#### 4.8.6. Taux de satisfaction des besoins en eau de la culture

Les taux de satisfaction des besoins en eau du blé dur exprimés par le rapport ETR/ETM durant les phases du cycle de la culture sont représentés dans les tableaux 23 et 24 respectivement pour les traitements conduits en pluvial et en irrigué.

**Tableau 23.** Répartition des taux(%) de satisfaction des besoins en eau (ETR/ETM) cumulées en pluvial.

		Semis- Levée	Levée- Tallage	Tallage- Montaison	Montaison- Epiaison	Epiaison- Floraison	Floraison- Maturation	Maturation- Récolte
%ETR/ETMen Pluvial	2014– 2015	117	95	91	83	0,6	2	44
%ETR/ETM en Pluvial	2015- 2016	95	95	91	58	3	73	29

**Tableau 24.** Répartition des taux (%) de satisfaction des besoins en eau en irrigué.

		Semis- Levée	Levée- Tallage	Tallage- Montaison	Montaison- Epiaison	Epiaison- Floraison	Floraison- Maturation	Maturation- Récolte
%ETR/ETM en irrigué	2014– 15	117	95	91	83,3	33	110	185
%ETR/ETM en irrigué	2015-16	95	95	91	83,3	74	338	311

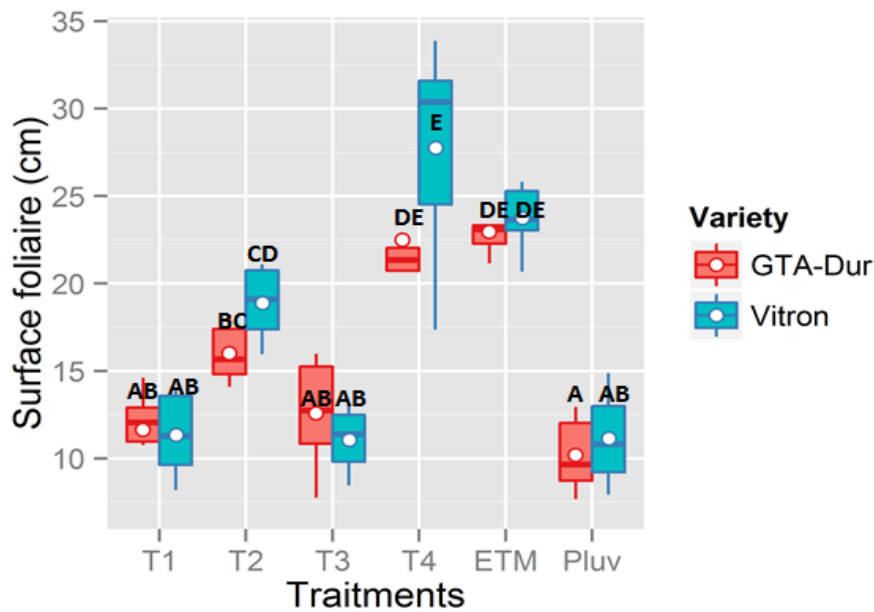
#### 4.9. Effet du régime hydrique sur la surface foliaire, le statut hydrique, l'intégrité cellulaire.

##### 4.9.1. La surface foliaire

La moyenne de la surface de la feuille des deux génotypes évalués, prend la valeur de 23cm<sup>2</sup> en ETM à 10 cm<sup>2</sup> sous pluviométrie pour les deux variétés. L'effet moyen génotype indique, que GTA-Dur est la variété qui se caractérise par la feuille moyenne la moins grande, d'une valeur de 22.5cm<sup>2</sup> ; alors que Vitron développe la feuille la plus large avec une valeur moyenne de 27.76 cm<sup>2</sup> en T4. Des différences importantes apparaissent par génotype en guise de réponse à la contrainte hydrique (Tableau 25, Figure 23).

ANOVA a montré que les variations SF étaient significatives entre les années d'étude (P = 0,034) et les traitements (P <0,001). Cependant, aucune différence significative n'a été observée entre les génotypes ainsi que pour toutes les interactions impliquant les trois facteurs (année, variété, traitement) (tableau 25).

En l'absence d'irrigation, GTA-Dur développe une feuille dont la surface est la plus petite, alors que l'autre génotype présente une feuille aux dimensions plus grandes, avec peu de différences entre variétés. Ces différences génétiques de développement de la surface foliaire et de réponse de la surface foliaire au stress hydrique, présentent-elles de l'intérêt dans le choix d'un génotype de blé dur destinée à un milieu à climat variable comme celui des hauts plateaux ?



**Figure 23.** Comparaison des Surfaces Foliaires de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014-2015-2016).

L'analyse globale de la variance montre un effet non significatif entre les génotypes ; et un effet très hautement significatif entre les traitements, mais aussi significatif pour les années (tableau 25).

Il est à noter que les interactions génotypes X années entraînent très souvent, des modifications importantes du comportement variétal, qui dans le contexte assez limité de deux campagnes agricoles ne nous permet pas de les déterminer, ni de les caractériser avec une bonne approximation.

**Tableau 25.** Analyse de la variance à un critère de classification du Surface Foliaire :  
Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina)

<b>Model: Surface Foliaire /cm<sup>2</sup>.</b>						
<b>Variables</b>	<b>Df</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	
<b>Année</b>	1	41,8	41,8	4,80	0,034	*
<b>Variété</b>	1	32,4	32,4	3,72	0,060	
<b>Traitement</b>	5	2437,4	487,5	55,94	<0.001	***
<b>Année: Variété</b>	1	3,7	3,7	0,42	0,519	
<b>Année : Traitement</b>	5	40,3	8,1	0,93	0,474	
<b>Variété: Traitement</b>	5	87,1	17,4	2,00	0,096	
<b>Année : Variété : Traitement</b>	5	7,5	1,5	0,17	0,971	
<b>Block</b>	2	11,7	5,9			
<b>Résiduels</b>	46	400,9	8,7			

\*\*\* : très hautement significatif (seuil signification 1%°)

\*\* : hautement significatif (au seuil de 1%)

\* : significatif (au seuil de 5%)

#### 4.9.2 Le statut hydrique foliaire et l'intégrité cellulaire

L'état hydrique de la plante, exprimé par la teneur relative en eau, s'avère être sensible aux variations des disponibilités en eau dans le sol. En effet, une comparaison entre l'évolution de la TRE des deux variétés de blé étudiées a montré, que la TRE diminue au fur et à mesure que le déficit hydrique s'accroît. Ces constatations se confirment par la nette relation négative et significative révélée entre le déficit hydrique et la TRE (Fellah et *al.*, 2008).

Thameur et *al.*, 2012 notent que cette diminution de la TRE, est plus rapide chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes. D'autre part, Saxena et *al.*, 2016 montrent que les génotypes, qui maintiennent une TRE élevée en présence de stress hydrique sont des génotypes tolérants. Parmi les variétés testées, la variété locale GTA-Dur est la variété la plus tolérante au déficit hydrique appliqué, en minimisant les effets de ce stress sur la préservation de leur hydratation.

La variation du contenu relative en eau des feuilles, est de 100 % pour la variété GTA-Dur et de 84.44% pour Vitron, en passant du traitement T4 au traitement sévèrement stressé (sans irrigation) pour la variété précoce Vitron avec 3.1% la plus touchée vu son cycle biologique. Les valeurs moyennes mesurées pour les différents traitements, du génotype GTA-Dur, sont de 11.19%, 42%, 79.85%, et 78.66% respectivement pour T1, T2, T3 et ETM par rapport au génotype Vitron avec 3.1%, 46.62%, 46.44% et 64.29% (Figure 23a). L'analyse ANOVA a montré que les variations TRE étaient significatives entre les années d'étude (P =

0,004) et les traitements ( $P < 0,001$ ). Cependant, aucune différence significative n'a été observée entre les génotypes ainsi que pour toutes les interactions impliquant les trois facteurs (année, variété, traitement) (Tableau 26).

Les différences entre génotypes pour la teneur relative en eau sont moindres, en traitement d'irrigation et deviennent relativement plus importantes sous stress hydrique sévère (pluvial) (Figure 24 a). Selon Chaib et al (2015), le maintien d'un niveau élevé de la TRE serait lié à une bonne capacité d'ajustement osmotique, et expliquerait l'augmentation racinaire chez ces deux génotypes (Fellah et al., 2008).

En outre, pour les deux variétés la mesure de la conductivité cellulaire ne présente pas une variabilité génotypique importante, les différences sont non significatives.

Le stress hydrique affecte linéairement la membrane cellulaire. Les valeurs moyennes des dommages causés par la membrane cellulaire chez la variété GTA-Dur varient de 36.08%, 7.51%, 3.80%, 9.97% et 14.15% respectivement pour les traitements : T1, T2, T3, T4 et ETM. Et les valeurs de dommages causés augmentent pour la variété Vitron avec : 31.57%, 08.69%, 5.86%, 15.28 et 21.7% respectivement pour les traitements : T1, T2, T3, T4 et ETM. En moyenne du traitement stress hydrique, les génotypes étudiés montrent des différences pour l'intégrité cellulaire. Le génotype Vitron est moins endommagé, comparativement à GTA-Dur qui montre le plus fort pourcentage de dégât cellulaire (Figure 24 b).

ANOVA a montré que les variations IC étaient significatives, rien que pour les traitements ( $P < 0,001$ ) et non significative observée entre les génotypes, les années ainsi que pour toutes les interactions impliquant les trois facteurs (année, variété, traitement) (Tableau 27).

Plusieurs auteurs ont confirmé que la carence hydrique, provoque une déstabilisation des membranes plasmiques, ce qui a par conséquent une perte d'électrolytes et la fuite d'ions dont les ions  $Ca^{+2}$  à travers la membrane (Fellah et al., 2008).

plasmique qui contribue à la perte de turgescence (Campos et al., 2003) ; une valeur élevée de ce pourcentage traduit une forte fuite d'ions à travers les membranes donc des membranes instables, affectées par le stress .

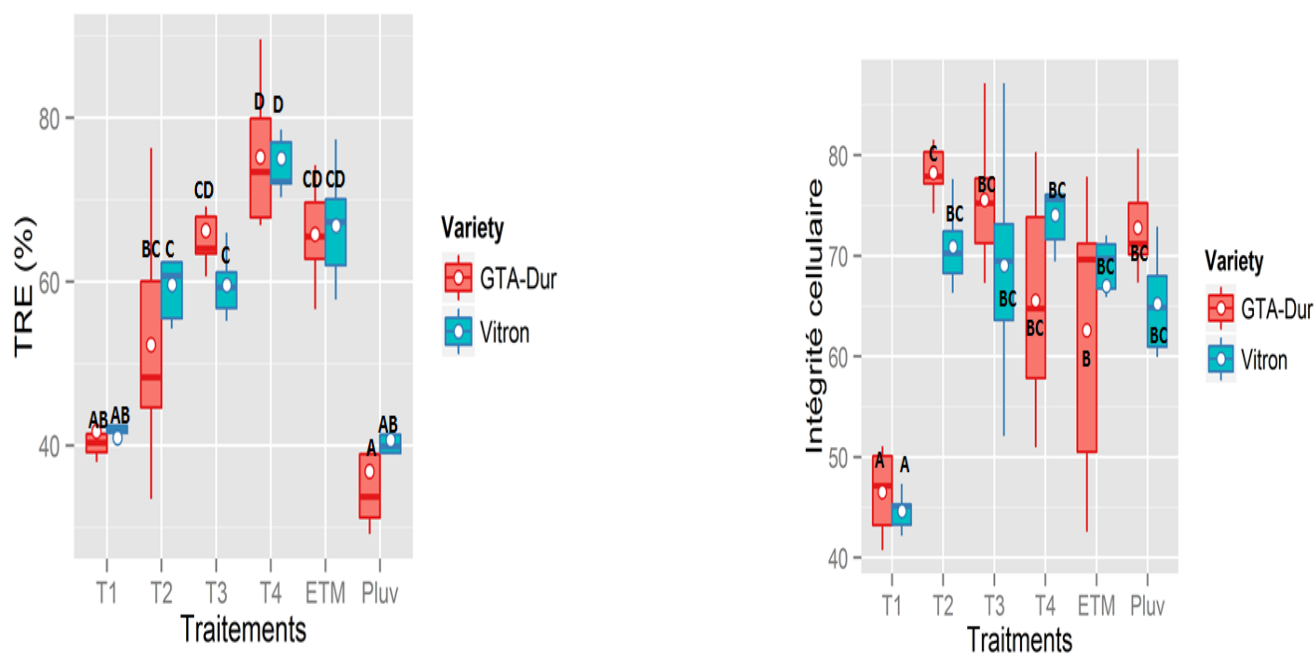


Figure 24 a et b. Comparaison des TRE et IC de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014-2015-2016).

Tableau 26. Analyse de la variance à un critère de classification du TRE: Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina).

Model: Teneur Relative en Eau.						
Variables	Df	SS	MS	F	P	
Année	1	538	537,9	9,34	0,004	**
Variété	1	11	10,8	0,19	0,668	
Traitement	5	12353	2470,7	42,90	<0.001	***
Année : Variété	1	205	204,9	3,56	0,066	
Année : Traitement	5	146	29,2	0,51	0,769	
Variété: Traitement	5	334	66,9	1,16	0,343	
Année : Variété : Traitement	5	52	10,4	0,18	0,968	
Block	2	34,67	17,3			
Résiduels	46	2649	57,6			

\*\*\* : très hautement significatif (seuil signification 1%°)

\*\* : hautement significatif (au seuil de 1%)

\* : significatif (au seuil de 5%)

**Tableau 27.** Analyse de la variance à un critère de classification du IC: Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina).

<b>Model: Intégrité Cellulaire.</b>					
<b>Variables</b>	<b>Df</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Année</b>	1	15,0	15,1	0,25	0,619
<b>Variété</b>	1	55,0	54,9	0,91	0,345
<b>Traitement</b>	5	6662,0	1332,3	22,10	<0.001 ***
<b>Année : Variété</b>	1	120,0	120,2	1,99	0,165
<b>Année : Traitement</b>	5	199,0	39,8	0,66	0,656
<b>Variété: Traitement</b>	5	695,0	139,0	2,31	0,060
<b>Année : Variété :Traitement</b>	5	289,0	57,8	0,96	0,453
<b>Block</b>	2	129,7	64,9		
<b>Résiduels</b>	46	2773,0	60,3		

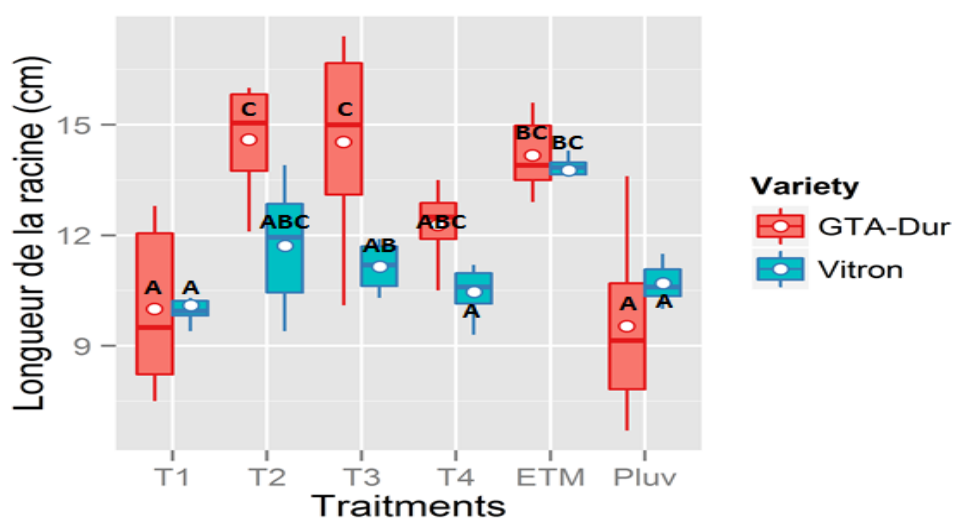
\*\*\* : très hautement significatif (seuil signification 1%<sup>o</sup>)

\*\* : hautement significatif (au seuil de 1%)

\* : significatif (au seuil de 5%)

#### 4.9.3. La longueur de la racine principale

La longueur des racines est un critère important d'adaptation pour la tolérance de sécheresse, la variété qui développe un système important peut pomper l'eau à des profondeurs considérables ce qui lui permet de tolérer certain période de stress. La variété GTA-Dur s'avère plus tolérante en apport d'appoint pour les stades : montaison, floraison et grossissement par apport au Vitron avec des différences de 23.07%, 25.8% et 16.66% respectivement pour T2, T3 et T4.



**Figure 25.** Comparaison de la longueur des racines principales de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014–2016). Les valeurs ayant la même lettre appartiennent au même groupe homogène

**Tableau 28.** Analyse de la variance à un critère de classification du LR: Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina)

Variables	Df	SS	MS	F	P	
Année	1	5,39	5,39	2,03	0,161	
Variété	1	26,04	26,04	9,83	0,003	**
Traitement	5	163,41	32,68	12,33	<0.001	***
Année : Variété	1	0,91	0,91	0,34	0,560	
Année : Traitement	5	3,51	0,70	0,27	0,930	
Variété: Traitement	5	47,74	9,55	3,60	0,008	**
Année : Variété : Traitement	5	4,04	0,81	0,31	0,907	
Block	2	9,54	4,77			
Résiduels	46	121,89	2,65			

(\*\*\* :  $P < 0.001$ , \*\* :  $< 0.01$ , \* :  $< 0.05$ )

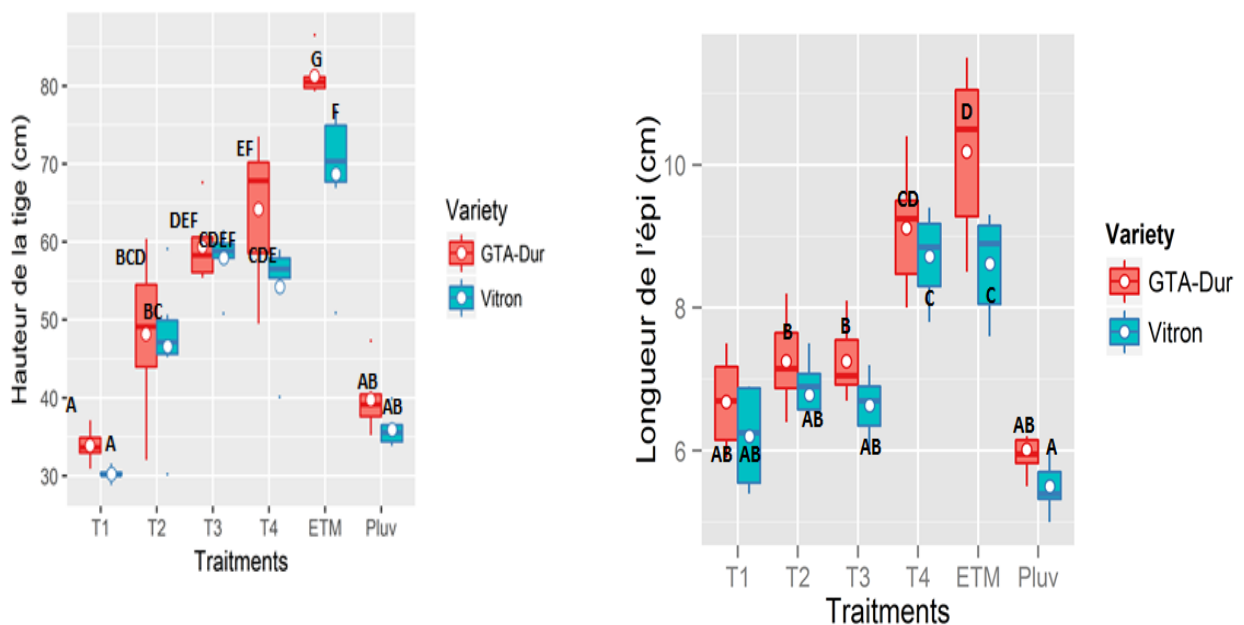
Sous conditions de stress hydrique (Plu et T1), la variété Vitron s'est montrée la plus performante en termes d'augmentation de la longueur de racine principale (d'environ 30.7%) (Figure 25). Ce caractère indique un enracinement profond, permettant de récolter l'eau en profondeur lorsque celle-ci est limitée dans les couches superficielles du sol (Brown *et al.*, 1985) et même si cette profondeur n'est atteinte que par une seule racine principale (Ali dib *et al.*, 1992). L'effet du stress hydrique sur ce paramètre a été peu marqué chez la variété GTA Dur avec une augmentation de l'ordre de 19%.

L'analyse de la variance faisant référence à la longueur de la racine principale, révèle des différences hautement significatives pour les deux variétés de blé dur et très hautement significatif pour les traitements (Tab28).

**4.9.4. La croissance et le développement de HT et LE**

Ce paramètre à une variabilité phénotypique importante (GTA-Dur à tige haute et Vitron à tige court), sous traitement T1, on enregistre une réduction de 55.8% de HT pour la variété Vitron et 61.36% de HT pour la variété GTA-Dur ; sous traitement pluvial (sans irrigation) on note une réduction de 50% pour la variété Vitron et 57% enregistré chez la variété GTA-Dur et cela par apport au traitement témoin ETM.

Pour les autres traitements (T2, T3 et T4) la variété GTA-Dur développe plus de hauteur tige par apport au Vitron au fur et mesure avec les doses d'irrigation ajoutées. (Figure 26 a)



**Figure 26 a et b.** Comparaison des HT et LE de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014–2016). Les valeurs ayant la même lettre appartiennent au même groupe homogène.

Fisher et Maurer (1978) mentionnent que les blés hauts ont un indice de sensibilité à la contrainte hydrique plus faible comparativement aux blés nains et semi - nains.

La hauteur des plants est une caractéristique variétale, mais l'apport d'azote agit positivement sur la hauteur de la tige en favorisant l'allongement des entre nœuds.

L'inconvénient de cette hauteur élevée de paille est le risque de la verse mécanique causée par les vents violents et les pluies torrentielles.

En Algérie, la majorité des variétés locales cultivées de blé dur sont à paille longue. L'agriculture algérienne a toujours tendance à préférer ces dernières, à cause de leur rentabilité en paille, servant pour l'alimentation du bétail.

Un caractère variétal, qui en conditions favorables, pourrait renseigner sur le potentiel des variétés (Ben Naceur *et al.*,1999). Grandcourt et Prats (1971) ont constaté que ce paramètre peut être considéré comme une composante qui affecte indirectement le rendement.

L'importance de tallage herbacé et épi se dirige sur le choix des génotypes dans le cadre de l'amélioration des plantes (Hucl et Backer ,1989 ; Davidson et Chevalier ,1990).

Néanmoins, les effets bénéfiques de l'irrigation d'appoint ne sont apparents que pour des apports d'eau ne dépassant pas la phase montaison pour la composante hauteur de la tige (HT) et la phase épiaison pour la composante longueur de l'épi (LE). Les résultats obtenus par Benseddik (1998) montrent que l'amélioration en grain ne s'accompagne pas toujours d'une amélioration de biomasse, ce qui est quelque peu différent de nos résultats. Il montre aussi que les meilleures irrigations pour la fonction de croissance et de développement sont celles qui coïncident avec la période de développement végétatif. L'analyse de la variance faisant référence à la hauteur de la plante, révèle des différences très hautement significatives pour les deux variétés de blé dur.

La longueur de l'épi est une caractéristique variétale peu influencée par les variations du milieu plus précisément, elle est en fonction de la quantité d'eau réservée durant le cycle végétatif (Jonard, 1964). D'après Nachit (1992), cité par Benmimoune (1994), l'épi court contribue à la limitation des pertes en eau, ce qui concorde avec la variété Vitron.

Delecolle et Gurnad (1980), déterminent une corrélation positive liant le rendement grain à la longueur de l'épi, l'épi assure une activité photosynthétique importante au cours du remplissage du grain et sa contribution à la photosynthèse de la plante serait comprise entre 13 et 76% (Biscope et al. ,1975). En cas de déficit hydrique, la photosynthèse de l'épi participe relativement plus au remplissage que la feuille étendard (Bammoun, 1997).

Les caractéristiques de l'épi (épi court) contribuent également à une limitation des pertes en eau (Febrero et al, 1990)

Un épi court permet une meilleure compacticité des grains, ce qui permet de lutter contre les aléas climatiques ainsi que contre l'égrenage. ACHOURI (1985) trouve que la longueur des épis est fonction inverse de la densité de semis.

**Tableau 29.** Analyse de la variance à un critère de classification du HT: Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina)

	<b>Df</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	
<b>Variables</b>	1	12,0	11,9	0,25	0,621	
<b>Année</b>	1	548,0	548,4	11,37	0,002	**
<b>Variété</b>	5	14909,0	2981,8	61,82	<0.001	***
<b>Traitement</b>	1	43,0	43,4	0,90	0,348	
<b>Année:Variété</b>	5	63,0	12,7	0,26	0,931	
<b>Année:Traitement</b>	5	323,0	64,6	1,34	0,265	
<b>Variété: Traitement</b>	5	40,0	8,0	0,17	0,974	
<b>Année:Variété:Traitement</b>	2	69,5	34,8			
<b>Block</b>	46	2219,0	48,2			
<b>Résiduels</b>						

(\*\*\* :  $P < 0.001$ , \*\* :  $< 0.01$ , \* :  $< 0.05$ )

Des effets bénéfiques de l'irrigation d'appoint sont apparents pour la variété GTA-Dur mais constants sur la variété introduite Vitron.

Les épis les plus longs sont enregistrés chez la variété GTA- Dur avec une longueur de 10.1 cm, alors que les épis moyennement longs sont enregistrés chez la variété Viton avec une longueur de 8,6 cm.

L'observation de la (figure 26 b) permet de noter que les valeurs de la longueur de l'épi sans les barbes oscillent entre 8,61 cm et 10,18 cm, la moyenne la plus élevée  $1,07 \pm 0,67$  cm est obtenue chez la variété GTA- Dur, par contre la moyenne faible  $0,1 \pm 0,7$  cm est observée chez la variété Vitron.

Cette composante connaît un effet positif du régime hydrique très hautement significatif ( $p < 0.001$ ) (Tableau 30)

**Tableau 30.** Analyse de la variance à un critère de classification du LE: Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina)

	<b>Df</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	
<b>Variables</b>	1	2,76	2,76	6,25	0,016	*
<b>Année</b>	1	8,2	8,20	18,55	<0.001	***
<b>Variété</b>	5	123,24	24,65	55,76	<0.001	***
<b>Traitement</b>	1	0,06	0,06	0,14	0,711	
<b>Année:Variété</b>	5	3,34	0,67	1,51	0,205	
<b>Année:Traitement</b>	5	2,94	0,59	1,33	0,269	
<b>Variété: Traitement</b>	5	0,25	0,05	0,12	0,988	
<b>Année:Variété:Traitement</b>	2	1,853	0,93			
<b>Block</b>	46	20,33	0,44			
<b>Résiduels</b>						

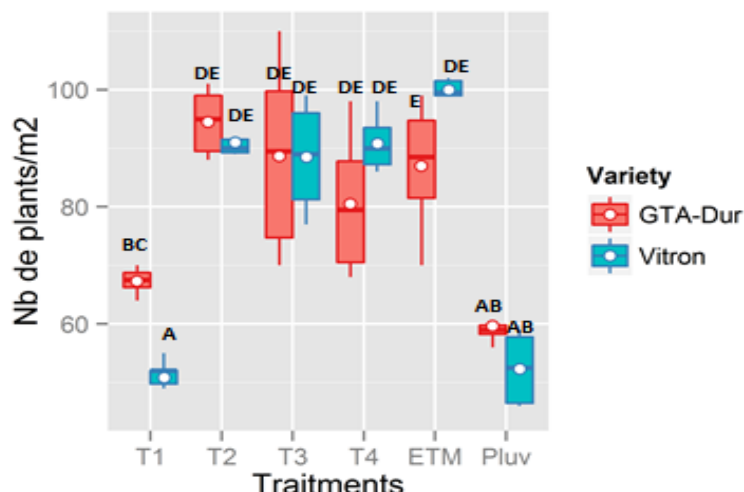
(\*\*\* :  $P < 0.001$ , \*\* :  $< 0.01$ , \* :  $< 0.05$ )

#### 4.10. Effet de l'irrigation d'appoint sur Le rendement en grains et ses composantes

L'analyse de la variance montre des différences hautement et très hautement significatives entre les composantes du rendement étudiées et les régimes hydriques. Elle indique aussi un effet génotype hautement significatif pour le rendement et ses composants.

##### 4.10.1 Effet de l'irrigation d'appoint sur le nombre de plants par mètre carré (Nbr pl/m<sup>2</sup>)

L'analyse statistique de l'ANOVA a révélé l'existence d'un effet significatif pour les interactions variétés-années ( $P = 0,016$ ) et très hautement significatif ( $p < 0,001$ ) pour l'année ainsi que toutes les interactions impliquant les trois facteurs (année, variété, traitement). Cependant, aucune différence significative n'a été observée entre les génotypes (Tableau 31). En effet le traitement témoin Pluvial (Pluv), a donné le nombre de plants le moins élevé avec une moyenne de 55 plants/m<sup>2</sup> pour les deux variétés, alors que le maximum de tallage (90 plants/m<sup>2</sup>) est observé pour ETM grâce aux apports des besoins journaliers en eau (Figure 27), avec la variété Vitron suivie de GTA-Dur. L'amélioration du nombre de plants par rapport au traitement non-irrigué : Pluvial est variable de 67.3 pour T1, 94.3 pour T2, 88.67 pour T3 et 80.5 plants/m<sup>2</sup> pour T4 chez la variété GTA-Dur. Pour la variété Vitron (variété précoce) le nombre de plants par mètre carré est de 50.8 pour T1 suivie d'une amélioration de 91 pour T2, 88.5 pour T3 et de 90.8 pour T4. Ce résultat confirme qu'en général l'irrigation au stade tallage améliore le nombre de plants (Chennafi et al ,2011 ; Daroui, 2011; Boujelben, 2015). Le bon tallage obtenu chez tous les traitements, peut s'expliquer par le fait que durant la période séparant le semis du tallage, la parcelle a reçu des quantités importantes de pluies. Ces résultats concordent avec ceux de (Daroui, 2011).



**Figure 27.** Comparaison des Nb de Plants/m<sup>2</sup> de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014-2015-2016).

**Tableau 31.** Analyse de la variance à un critère de classification du Nbr PL /m<sup>2</sup> : Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina)

Model: Nombre de Plants/m <sup>2</sup>						
Variabiles	Df	SS	MS	F	P	
Année	1	703	703	25,64	<0.001	***
Variété	1	9	9	0,32	0,576	
Traitement	5	17530	3506	127,85	<0.001	***
Année:Variété	1	171	171	6,24	0,016	*
Année:Traitement	5	1085	217	7,91	<0.001	***
Variété: Traitement	5	1834	367	13,37	<0.001	***
Année:Variété:Traitement	5	670	134	4,89	0,001	**
Block	2	73	36			
Résiduels	46	1261	27			

\*\*\* : très hautement significatif (seuil signification 1%°)

\*\* : hautement significatif (au seuil de 1%)

\* : significatif (au seuil de 5%)

Selon Prévost (2006), le nombre de plants par mètre carré, est influencé par deux conditions importantes :

\* Conditions liées à la graine regroupée sous la notion de la faculté germinative et l'énergie germinative.

\* Conditions extérieures qui sont les conditions pédoclimatiques (l'eau, O<sub>2</sub>, la température, et le sol).

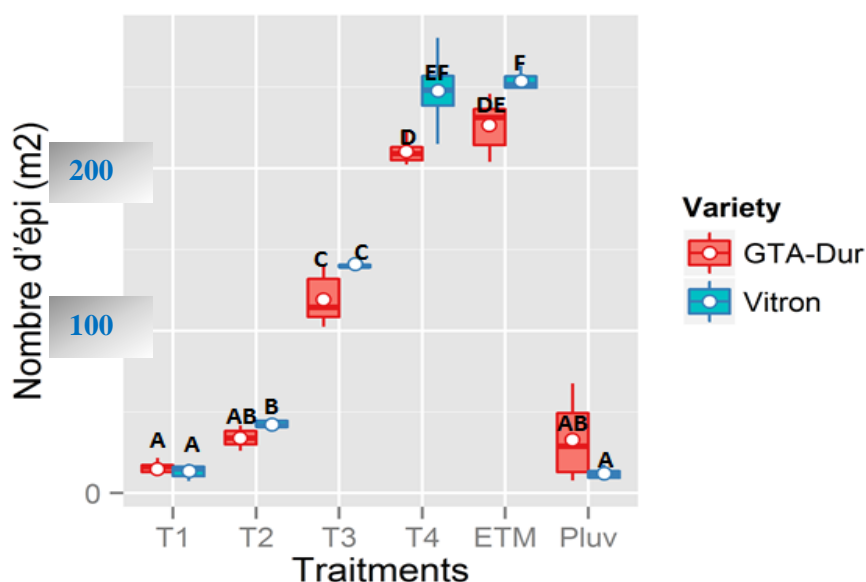
\* Dans notre cas nous avons rencontré quelques problèmes techniques au moment du semis et qui sont dus au mauvais réglage au niveau du semoir ; abondance de fourmis au niveau de la sole semée.

La densité du peuplement dépend de la faculté germinative, de l'état structural du sol (battance), ainsi que des conditions de semis, état du lit de semence et profondeur de semis et des conditions climatiques postérieurs au semis. (Gate, 1995).

#### 4.10.2 .Effet de l'irrigation d'appoint sur le nombre d'épis par mètre carré (NE/ m<sup>2</sup>)

L'analyse ANOVA révèle un effet hautement significatif ( $P < 0,001$ ) pour le nombre d'épis (Tableau 32) au niveau des variétés et les traitements et leur interaction, mais aucune différence significative n'a été observée pour l'interaction année-variété ( $P=0.122$ ).

L'étude statistique à scindée cette variable en trois groupes statistiques pour les variétés étudiés (Figure 28). La première montre que le traitement en ETM et T4 fournit le nombre le plus important, avec un nombre des épis par mètre carré qui varie de 252.3 à 304.3 ; alors que le deuxième groupe constitué par le traitement T3 à savoir, irrigation au stade de floraison, présente des valeurs variant de 142.9 à 169.2 épis par mètre carré et un dernier groupe qui comporte les traitements pluviales, T1 et T2 avec une variation de nombre de épis par mètre carré de 14.6 à 50.6 de épis par mètre carré . A la lumière de ces résultats, on constate qu'un premier apport d'eau au stade tallage, permet l'amélioration et la stabilisation de cette composante du rendement en grain.



**Figure 28.** Comparaison des Nb d'épis/m2 de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014-2015-2016).

**Tableau 32.** Analyse de la variance à un critère de classification du Nbr d'épis/m<sup>2</sup> : Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina)

<b>Model: Nombre Epis/m<sup>2</sup></b>						
<b>Variables</b>	<b>Df</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	
<b>Année</b>	1	81608	81608	5,74	0,021	*
<b>Variété</b>	1	381064	381064	26,82	<0.001	***
<b>Traitement</b>	5	92386679	18477336	1300,27	<0.001	***
<b>Année:Variété</b>	1	35289	35289	2,48	0,122	ns
<b>Année:Traitement</b>	5	295653	59131	4,16	0,003	**
<b>Variété: Traitement</b>	5	961013	192203	13,53	<0.001	***
<b>Année:Variété:Traitement</b>	5	225567	45113	3,18	0,015	*
<b>Block</b>	2	23599	11799			
<b>Résiduels</b>	46	653677	14210			

\*\*\* : très hautement significatif (seuil signification 1%°)

\*\* : hautement significatif (au seuil de 1%)

\* : significatif (au seuil de 5%)

Selon Zair(1994), le nombre d'épis par mètre carré dépend en premier lieu du facteur génétique, de la densité de semis, de la puissance du tallage, elle-même conditionnée par la nutrition azotée, et l'alimentation hydrique de la plante pendant la période de tallage.

De son côté Couvreur (1985), indique que le nombre d'épis/m<sup>2</sup> est lié à l'état de la végétation à la sortie de l'hiver (nombre des plants et état de tallage).

D'après Belaid (1986), ce caractère est influencé par les caractéristiques variétales, le peuplement, l'azote, l'eau disponible dans le sol, ainsi que la régression au tallage épi et tallage herbacé.

Les travaux de Jonard & Koller (1951) cité par L.Combe et D.Picard(1994) ont mis en évidence l'existence de "compensations" d'un faible nombre de plantes par une augmentation du nombre d'épis par plante et des composantes du rendement suivantes.

Le nombre d'épis est particulièrement affecté par la nutrition du peuplement au début de la montaison (Meynard 1985a, Gonzalez-Montaner et al. ,1987 cité par L. Combe et D. Piccard(1994)).

Bendjemaa (1977) note que l'augmentation du nombre d'épis, produit par unité de surface, se traduit par une diminution de leur fertilité.

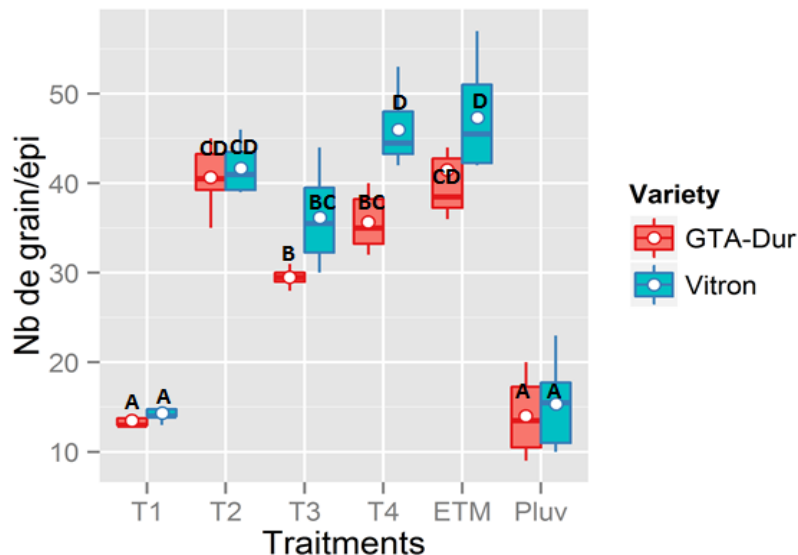
Selon Gate et al. , (1992), le nombre d'épis subira une forte diminution si le déficit hydrique intervient durant la phase de montée des épis.

#### 4.10.3. Effet de l'irrigation d'appoint sur le nombre de grains par épis (NGE)

Le NGE élevé est appréciable chez les deux variétés sous irrigation, respectivement GTA-Dur (41 grains/épi) et Vitron (47 grains/épi) sous traitement ETM, soit un écart de six grains/épi ; ceci est en relation avec le nombre de plantes levées et le nombre de talles par mètre carré.

Le nombre de grains par épi est non similaire pour les deux variétés d'après le test d'ANOVA, donc les deux variétés sont inégales et il y a une différence significative entre elles (tableau 33). Du point de vue de la variété mais aussi son interaction avec le facteur année, ainsi que pour toutes les interactions impliquant les trois facteurs, la différence est non significative au seuil de 5 % avec successivement  $P=0,051$ ,  $P=0,189$  et  $P=0,230$ , cela indique que la variété n'influence pas ce paramètre.

Ces résultats corroborent ceux de Belkharouch et *al* (2015) et Erchidi et *al.*, (2000) qui mentionnent que le rendement en grain du blé est plus lié à la fertilité de l'épi qu'au poids moyen du grain. Ceci ne veut nullement dire que le nombre d'épis et le poids de 1000 grains ne jouent aucun rôle sous climat variable.



**Figure 29.** Comparaison des Nb de grain/épi de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014-2015-2016).

Le nombre de grains par épi est selon Fisher (1985b) surtout sensible aux variations de nutrition pendant les semaines de croissance active de l'épi (3 ou 4 semaines avant l'épiaison).

Selon Jonard (1980), cité par Belaid (1986), le nombre de grains par épi est influencé par des facteurs trophiques dont l'azote est l'un des principaux éléments.

Une carence en azote au moment de la fécondation réduit le nombre de grains par épi, en augmentant le nombre de fleurs avortées. (Gâte, 1995).

Grigna (1986) et Gâte (1987), le déficit hydrique en période de montaison affecte le nombre d'épis et surtout sa fertilité. Il indique aussi que les quelques jours qui suivent la floraison sont une phase délicate pour la réalisation du nombre de grains par épi.

D'après Melki et al. , (1996), La fertilité de l'épi est contrôlée par la température moyenne de la phase épiaison maturation et en second lieu par la durée de jours de cette même phase. Plus la température moyenne augmente, moins est important le nombre de grain par épis, contrairement la durée de jours est associée positivement à cette composante de rendement.

Ledent (1978) trouve que la fertilité est la composante du rendement la plus importante. Couvreur (1981) quant à lui, note que le poids moyen du grain, composante formée le plus tardivement, est associé négativement au nombre de grains formés par unité de surface

Achouri (1985) constate que l'augmentation des doses de semis diminue le nombre de grains/épi.

**Tableau 33.** Analyse de la variance à un critère de classification du Nbr grain/épi : Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina)

<b>Variables</b>	<b>Df</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	
<b>Variables</b>	1	41	40,5	4,01	0,051	
<b>Année</b>	1	338	338,0	33,43	<0.001	***
<b>Variété</b>	5	11298	2259,6	223,46	<0.001	***
<b>Traitement</b>	1	18	18,0	1,78	0,189	
<b>Année:Variété</b>	5	206	41,3	4,08	0,004	**
<b>Année:Traitement</b>	5	228	45,6	4,51	0,002	**
<b>Variété: Traitement</b>	5	73	14,5	1,43	0,230	
<b>Année:Variété:Traitement</b>	2	279	139,4			
<b>Block</b>	46	465	10,1			

\*\*\* : très hautement significatif (seuil signification 1%°)

\*\* : hautement significatif (au seuil de 1%)

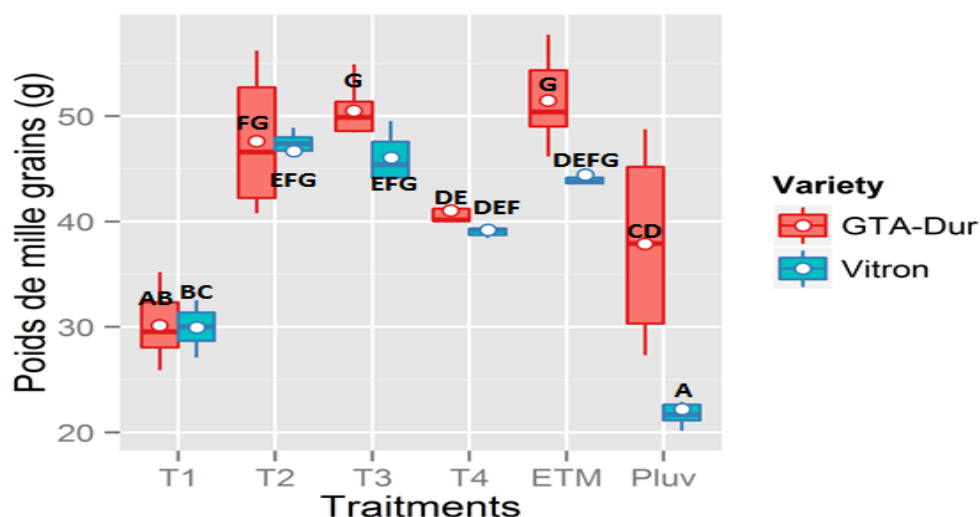
\* : significatif (au seuil de 5%)

#### 10.4. Effet de l'irrigation d'appoint sur le poids de 1000 grains (PMG)

Concernant le poids de mille grains l'analyse de la variance montre, un effet très hautement significatif au seuil de 5 % pour le facteur variété (tableau 34), cela veut dire que la variété à un effet notable sur le PMG pour le blé dur.

Le poids de mille grains est fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage du grain. Un manque d'eau après la floraison combiné aux températures élevées (conditions fréquentes en région d'étude), entraîne une diminution du poids de 1 000 grains par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage, ce qui se traduit par l'échaudage des grains (Zucca, 2015).

L'étude de la distribution des boursiers et de l'analyse de la variance, nous a donné les résultats suivants :



**Figure 30.** Comparaison des PMG de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014-2015-2016).

La variété GTA- Dur présente pour les deux années d'étude, les taux les plus élevés (51,48g), suivi de variété Vitron (44,44g) sous irrigation ETM (Figure 30).

Ce résultat pourrait s'expliquer par les variations climatiques, dont la température et la pluviométrie de la région. Cette hypothèse n'exclut pas toutefois, la valeur génétique des cultivars (Bakhella et Akil, 2011). Le poids de 1000 grains est significativement influencé par les différents traitements, qui ont donné des poids oscillant entre 22.21g et 37.87g, ce qui est en accord avec le travail de (Chahbar et Belkhodja, 2016). La supériorité du PMG de T2 (46g/1000) par rapport au témoin irrigué T4 (40g/1000) (pour les deux variétés) est due au fait

que le nombre de grains obtenu chez le traitement T4 est beaucoup plus élevé par rapport à celui du traitement T2, laissant penser ainsi à une concurrence entre les grains vis-à-vis des assimilés et ceci pourrait être expliqué aussi, par le fait que l'irrigation continue a fortement stimulé le nombre de grains produits par unité de surface, ce qui a induit par compensation une réduction corrélative du poids d'un grain. Ces résultats sont en accord avec ceux de (Belkharouché *et al.*, 2015) qui ont mentionné que l'augmentation du nombre de grains par m<sup>2</sup> induit la réduction du poids de 1000 grains.

Boiffin *et al.* , (1981) et Badry cité par Mahfouf (2001), affirment que le poids de mille grains peut être exprimé par la relation suivante :

\* Le poids de mille grains = la durée (floraison- maturité) X (la vitesse de remplissage).

D'après Couvreur, (1985) le PMG dépend de la phase de remplissage des grains et sous la dépendance principale des conditions d'alimentations hydriques et le niveau de température de l'air, le remplissage des grains est affecté par de hautes températures, surtout pendant le pallier hydrique (Geslin & Vernet 1952, Spiertz 1977. Masse *et al.* ,1989 cités par L. Combe et D. Picard (1994)).

Selon Belaid (1986), à 20 jours de la maturation le grain emmagasine l'amidon provenant des tiges et de feuilles jaunissant, mais non desséchées dans la plante, cette migration nécessite une circulation d'eau dans la plante .Si l'ETP est fort, la plante se dessèche brusquement, le grain sera ridé et léger ce qui implique l'échaudage.

Grignac (1981) précise que le poids de mille grains diminue lorsque la fertilité de l'épi augmente.

La taille et le poids moyen du grain participent à la stabilité de la production d'un cultivar donné. Ils dépendent des conditions de croissance post-anthèse (vitesse de transfert), de l'activité photosynthétique. (Benlaribi, 1984 ; Bouzerzour *et al.* ,1998).

Le poids du grain contribue très peu à la variation du rendement en grains des variétés locales sous Stress, probablement à cause de la hauteur élevée de ces variétés qui supportent la croissance du grain par transfert des réserves des tiges, en conditions de stress (Blum *et al.* ,1989).

**Tableau 34.** Analyse de la variance à un critère de classification du PMG : Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina)

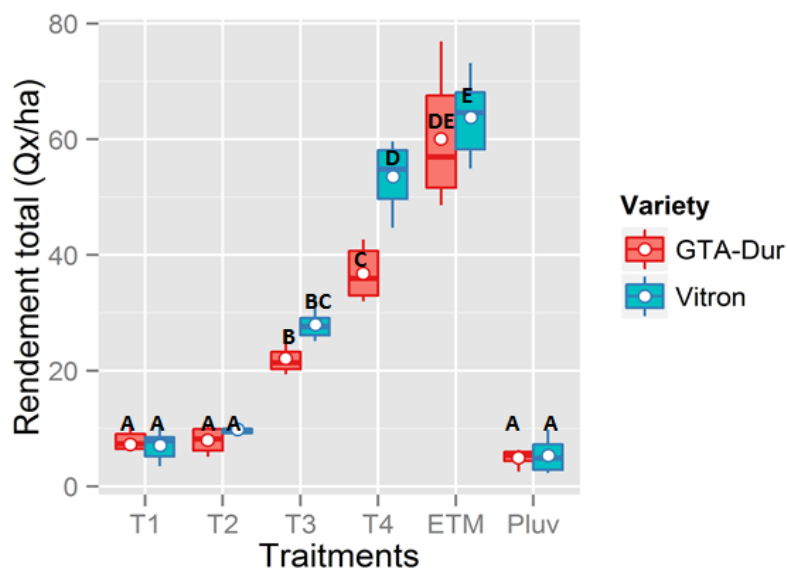
<b>Model:Poids de Mille Grains</b>						
<b>Variabes</b>	<b>Df</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	
<b>Année</b>	1	180	180,4	26,69	<0.001	***
<b>Variété</b>	1	456	455,5	67,40	<0.001	***
<b>Traitement</b>	5	4547	909,3	134,56	<0.001	***
<b>Année:Variété</b>	1	96	95,8	14,18	<0.001	***
<b>Année:Traitement</b>	5	129	25,9	3,83	0,006	**
<b>Variété: Traitement</b>	5	504	100,8	14,92	<0.001	***
<b>Année:Variété:Traitement</b>	5	223	44,6	6,60	<0.001	***
<b>Block</b>	2	31	15,6			
<b>Résiduels</b>		46	311	6,8		

#### 4.10.5. Effet de l'irrigation d'appoint sur le rendement potentiel en grains

Ce paramètre dépend du nombre d'épi par mètre carré, du nombre de grain par épi ainsi que du poids de mille grains. Il est également lié aux facteurs intrinsèques de la variété comme il est influencé par les conditions climatiques et les conditions de culture.

L'analyse statistique a révélé l'existence d'un effet très hautement significatif ( $p < 0,001$ ) du régime hydrique sur le RDT (Tableau 40). L'amélioration du rendement de la culture de blé dur a été de l'ordre de 15,82%, 71,32%, 125,26% et 229,54%, respectivement, pour les conditions d'irrigations T1, T2, T3 et T4 en comparant avec témoin Pluv. Ainsi, le rendement en grains est passé de 04,97qx/ha chez la culture GTA-Dur menée en sec (Pluv) à 60,05qx/ha chez le traitement témoin irrigué (ETM), soit une augmentation de 1108 % (Figure 39); et un gain de 1094 % passant de 05,34 qx/ha en pluvial a 63,8 qx/ha en ETM pour la variété Vitron.

Ces résultats confirment ceux obtenus par (Fellah et al.,2008) . La série d'essais conduite au champ a montré le rôle prépondérant de l'irrigation dans l'amélioration et la stabilisation du rendement en grain.

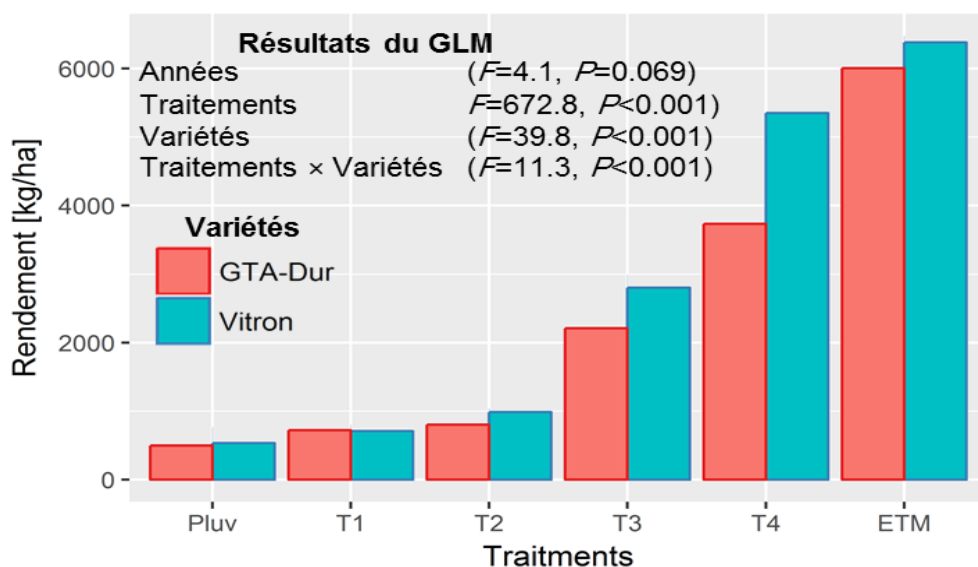


**Figure 31.** Comparaison des Rendements potentiel en grains de deux variétés de blé dur pour le site F'kirina (2014-2015-2016).

Pour la 2<sup>ème</sup> année, Le rendement décroît par rapport à la 1<sup>ère</sup> l'année mais cette réduction est non significative.

Les traitements T1 et T2, le rendement augmente, mais cette augmentation n'est pas significative (par rapport à Pluv.) mais pour les traitements T3, T4, et ETM, le rendement est significativement supérieur à celui obtenu par Pluv.

Pour l'interaction (traitements \* Variétés), seule l'augmentation observée avec (T4 × Vitron) est significative.



**Figure 32.** Variation du rendement potentiel des deux variétés étudiées selon les traitements.

Selon le GLM : effets significatifs ( $P<0.001$ ) pour TRT, variété, et leur interaction sur la variation du RDT, mais pas de différence significative entre les deux années ( $P=0.069$ )

Compte tenu des résultats obtenus dans cette étude, il ressort que la contribution de l'irrigation d'appoint dans l'amélioration des rendements est incontestable. L'irrigation d'appoint a significativement amélioré le rendement en grains, quel que soit le stade d'apport d'eau. En effet, l'augmentation du rendement pour la variété GTA-Dur par rapport au traitement sans irrigation est de 45.27%, 60.96%, 344.46%, 640.6% et 1108% respectivement pour les traitements T1, T2, T3, T4 et ETM ; alors que pour la variété Vitron, on constate un rendement assez important par rapport au traitement sans irrigation et qui est de 32.96%, 84.27%, 423.78%, 902% et 1094.7% respectivement pour les traitements T1, T2, T3, T4 et ETM (figure 32).

Les différents types de sécheresse (précoce, tardive) caractérisant les zones semi-arides algériennes apparaissent de manière très aléatoire et avec des intensités variables. Le choix de la précocité à l'épiaison doit procéder d'une analyse fréquentielle que peut aider l'usage d'un modèle de simulation (Rezzoug et *al.*, 2008) . La variété testée GTA-Dur est la plus tardive : si elle échappe en partie aux stress précoces, elle sera pénalisée en fin de cycle par l'action des fortes températures qui raccourcissent la durée de remplissage. Ainsi, la photosynthèse post-floraison peut être fortement raccourcie, avec une compensation possible par la remobilisation des sucres depuis la tige. Dans ce cas, l'irrigation tardive devrait être plus favorable à ce type variétal. Latiri et *al* (2013) à indiquer que l'effet amortissant de ce processus pour le maintien du rendement en grain dans des conditions d'eau limitées.

**Tableau 35.** Analyse de la variance à un critère de classification du Rendements potentiel en grains: Comparaison entre années pour les deux des variétés (site F'kirina)

<b>Model: Rendements Qx/Ha.</b>					
<b>Variabes</b>	<b>Df</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Année</b>	1	44	44	2,27	0,139
<b>Variété</b>	1	404	404	20,76	<0.001 ***
<b>Traitement</b>	5	32866	6573	337,46	<0.001 ***
<b>Année:Variété</b>	1	9	9	0,45	0,506
<b>Année: Traitement</b>	5	28	6	0,29	0,916
<b>Variété: Traitement</b>	5	590	118	6,06	<0.001 ***
<b>Année: Variété: Traitement</b>	5	72	14	0,74	0,600
<b>Block</b>	2	361,4	181		
<b>Résiduels</b>	46	896	19		

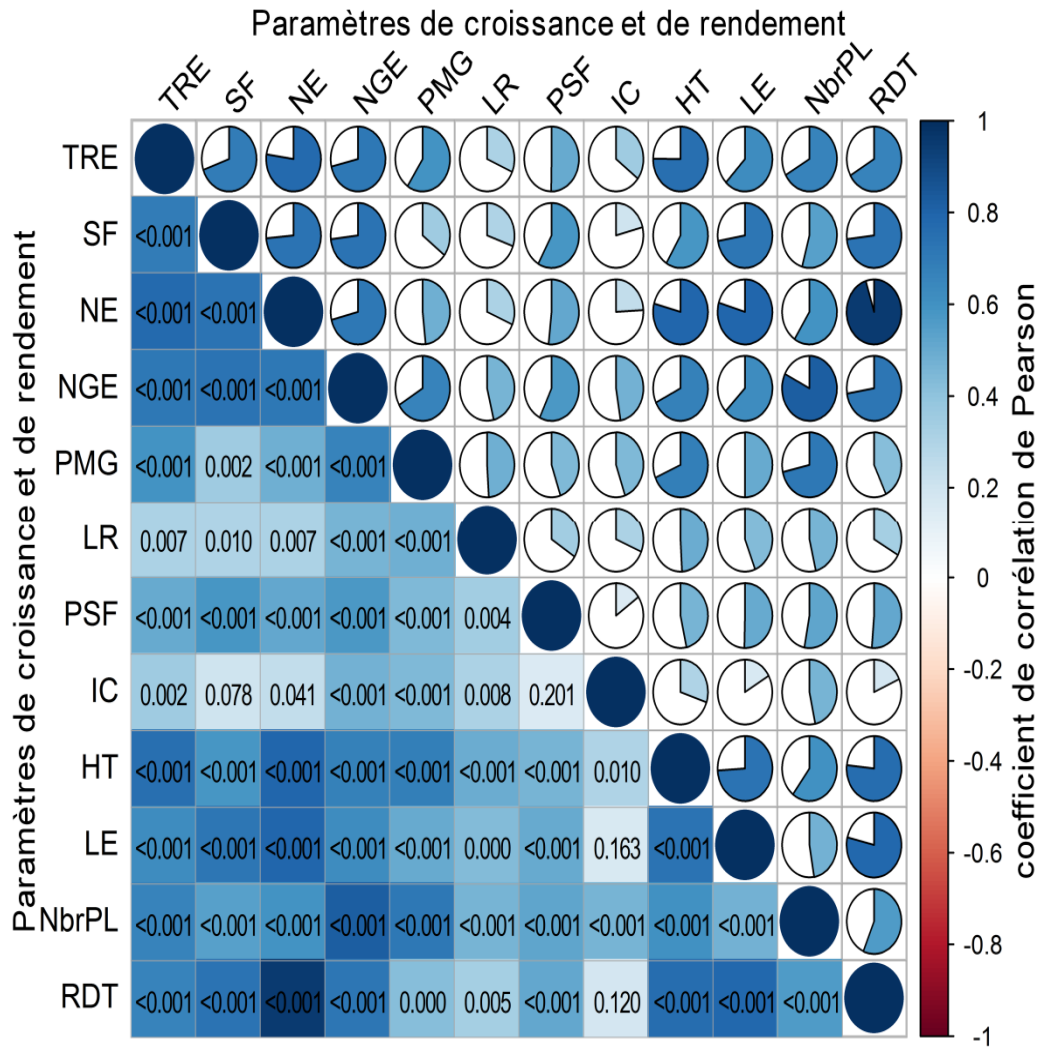
\*\*\* : très hautement significatif (seuil signification 1%<sup>o</sup>)

\*\* : hautement significatif (au seuil de 1%)

\* : significatif (au seuil de 5%)

#### 4.11. Typologie Spatio-Temporelle de rendement et ses composantes

La synthèse de la variation de l'ensemble valeurs mesurées, est faite en utilisant l'analyse de coefficient de corrélation de Pearson. Une matrice de données, constituée de 08 paramètres représentant les principaux paramètres de rendement et ses composantes pour (6 traitements : ETM, Pluv, T1, T2, T3 et T4 x 2campagnes) .



**Figure 33 .** Matrice de corrélation appliquée entre les caractères d'adaptation (TRE, PSF,SF,LR,IC,HT et LE) et les caractéristiques de production (NP / m<sup>2</sup>, NE / m<sup>2</sup>, NG/E, PMG et Rendement). Les tests de corrélation de Pearson sont donnés comme valeurs de coefficient de corrélation (en dessous de la diagonale) et la valeur P (au-dessus de la diagonale)

Les tests de corrélation de Pearson indiquent que toutes les corrélations entre les paramètres de croissance et les composantes du rendement sont positives et que la plupart sont significatives ( $P < 0,05$ ) pour la corrélation SF-TRE ( $r = 0,21$ ,  $p = 0,078$ ) et TRE- Rdt ( $r = 0,18$   $P = 0,120$ ) (figure 33). Les corrélations sont particulièrement élevées entre IC d'une part et rendement, TRE, SF, NGE, NP / m<sup>2</sup>, NE / m<sup>2</sup> d'autre part. Lorsque l'intégrité cellulaire augmente, elle induit une accélération du métabolisme du stress hydrique qui crée et accroît les besoins d'irrigation complémentaire (Capriotti et al., 2014).

La combinaison des variations spatiales et temporelles de Rendement et ses composantes, révèle que la croissance de Nombre des épis(NE) et plus marqué par le Rendement (RDT) que par Nombre de plants par m<sup>2</sup> (Nbr pl/m<sup>2</sup>) et Nombre de grain par épi(NGE) et que le déficit hydrique influe directement sur Poids de mille grains (PMG) traduisant un faible rendement ainsi sur l'intégrité cellulaire qui assure le maintien de la cellule lors de stress.(Hammad et *al.*, 2014) du fait de l'influence sur le IC, qui assure généralement le maintien de la cellule dans des conditions de stress (De Simone et al. 2014).

Si le potentiel foliaire a montré des différences significatives entre les différentes stratégies d'irrigation, la teneur en eau relative ne semble pas être influencée par les traitements de l'eau au moins dans ce contexte de notre expérience (Medina et *al.*, 2016). Cependant, il a été observé que la TRE ne réagit pas systématiquement à une alimentation en eau, probablement à cause de l'intensité et de la durée du stress hydrique qui deviennent presque irréversibles (Ouerghi et *al.*, 2015).

Bouthour et *al.* (2015), notent que la turgescence foliaire, qui dépend de la TRE, ne montre pas de liens significatifs avec la durée des phases végétatives, la croissance des grains et avec le rendement en grains et les composantes du rendement. Cependant, la TRE est négativement corrélée avec PMG dans certaines conditions où elle est conditionnée par la durée de la phase végétative, puisque les variétés tardives ont une teneur en eau plus élevée.

Cependant, en raison de leur retard plus prononcé, ces variétés sont plus influencées par les stress hydriques et thermiques à la fin de leur cycle de croissance. Cet effet est évident sur les variations temporelles de PMG.

Ces corrélations indiquent que le génotype qui arrive à faire un bon rendement en grains, en l'absence de la contrainte, comme sous contrainte hydrique, doit avoir des valeurs supérieures à la moyenne pour les variables qui sont positivement liées au rendement en grains. En d'autres termes, le génotype qui minimise la réduction de la valeur moyenne de ces variables, sous l'effet de la contrainte hydrique, minimise en même temps la baisse de rendement car il est tolérant.

L'analyse établit une forte opposition entre Rdt, PMG et LR d'une part et IC d'autre part. Ceci, en particulier, lorsque l'intégrité cellulaire s'élève, engendrant une accélération du métabolisme de stress hydrique qui s'installe et des besoins croissants en irrigation de complément (Fellah et *al.*,2008).

Ces essais confirment la mauvaise performance du traitement pluvial par rapport au traitement ETM pour toutes les composantes du rendement, particulièrement pour le NG/épis qui a enregistré pratiquement 50% de moins que le traitement ETM.

Il est à noter que la hauteur élevée des pailles constitue un avantage important en favorisant une bonne résistance à la sécheresse, ceci s'expliquerait d'une part : par le fait qu'une paille haute s'accompagne souvent d'un système racinaire profond ce qui conférerait à la plante une capacité d'extraction de l'eau supérieure (Bagga et al., 1970), d'autre part :

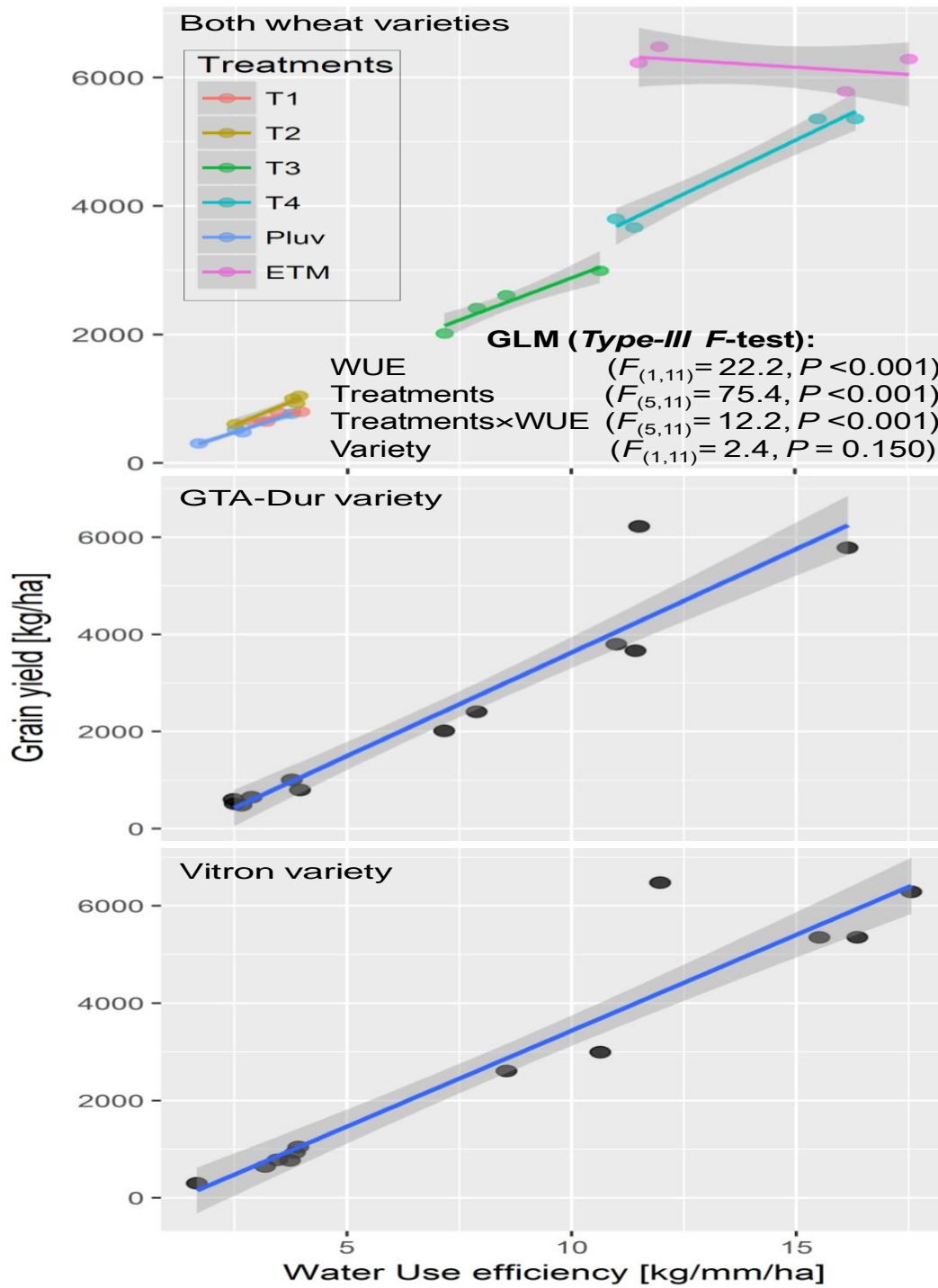
Selon Monneveux et al., (1986), c'est grâce au constituant glucidique qu'elle conserve et que contribuent à l'élaboration de la matière sèche des grains en cas de déficit hydrique.

Si le potentiel foliaire a montré des différences significatives entre les différentes stratégies d'irrigation, la teneur en eau relative ne semble pas être influencée par les traitements hydriques du moins dans ce contexte de notre expérimentation (Medina, S., Vicente, R., Amador, A., & Araus, J. L. 2016).

Cependant on a remarqué que la teneur en eau relative ne réagit pas systématiquement à un apport d'eau en raison probablement de l'intensité et la durée du stress hydrique devenant quasiment irréversible (Ouerghi et al., 2015).

Fellah *et al.* (2011) notent que la turgescence foliaire (TRE) ne présente pas de liaisons significatives avec la durée des phases végétative et de remplissage du grain ni avec le rendement grain et les composantes du rendement dans un environnement. Elle est par contre aussi positivement corrélée avec le poids de 1000 grains dans un autre environnement où elle semble conditionnée par la durée de la phase végétative, vu que les variétés précoces ont une teneur en eau élevée.

4.12. Efficacité d'utilisation de l'eau chez différentes variétés



**Figure 34.** Effets de l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) sur le rendement en grains du blé dur à différents traitements d'irrigation dans les conditions de terrain dans le nord-est de l'Algérie. Les droites représentent une régression linéaire avec un ajustement GLM (modèle linéaire généralisé) avec des régions de confiance à 95% en gris clair. Les valeurs F et P sont des statistiques du GLM.

Le GLM a révélé l'existence d'un effet très fortement significatif ( $P < 0,001$ ) des EUE à différents niveaux de «traitements» d'irrigation ainsi que leur interaction (traitements \* EUE) sur la variation des valeurs de rendement grainier des deux variétés (Figure 34). L'irrigation supplémentaire a amélioré l'efficacité de l'utilisation de l'eau et par conséquent augmenté le rendement en grain, cependant, le modèle a révélé qu'il n'y avait aucune différence entre les cultivars étudiés ( $P = 0,150$ ).

Les résultats obtenus ont montré qu'un apport en eau au début de la période végétative (T1, T2 et T3) n'a pas eu un effet positif important sur l'amélioration des EUE (valeurs comprises entre 2,88 et 8,55 kg / mm / ha) culture pluviale (figure 34). Il est conclu que les fortes exigences climatiques, en particulier au cours du premier cycle, provoquent un assèchement rapide des horizons de surface associé à l'incapacité de la culture à exploiter l'eau des horizons profonds. Approvisionnement en eau à la fin de la période de reproduction (T4) avec 140 mm d'eau répartis sur les étapes: le tallage, montaison, la floraison et le grossissement des grains ont entraîné une amélioration de l'EUE d'une valeur maximale de 15,5 kg / mm / ha et une augmentation du rendement. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Karrou (2013).

Les EUEs augmentent lorsque l'utilisation des apports d'eau de pluie et d'irrigation est raisonnable (Daroui, 2011). Sous irrigation régulière (ETM), le test conduit à une meilleure utilisation de l'eau EUE (jusqu'à 17,5 kg / mm / ha) et donc à un meilleur rendement en grains avec environ 63 kg / ha. Bien que la variété Vitron ait montré une productivité un peu plus élevée et ait utilisé plus efficacement l'eau sous le traitement ETM, le GLM a démontré que la variation du rendement par rapport à EUE dans cette variété est aussi similaire à celui de GTA-Dur (figure 34). L'irrigation supplémentaire augmente significativement l'efficacité de l'utilisation de l'eau par rapport au traitement avec des conditions pluviales et réduit sa variation inter-annuelle (Fellah et *al.*, 2008). Pour l'amélioration des EUE irrigués dans les cultures de blé dans les zones arides et semi-arides d'Afrique du Nord, il est proposé :

(i) appliquer 3 à 4 irrigations au moment approprié de la saison de croissance, (ii) lutter contre les mauvaises herbes et (iii) appliquer des doses appropriées d'engrais. Dans ce contexte, il a été démontré que le biofertilisant offre de meilleurs rendements et une adaptation résiliente aux plantes cultivées sous l'eau et des stress de salinité par rapport aux engrais minéraux (Boudjabi et *al.*, 2015; Oustani et *al.*, 2015). Nakhforoosh et *al.* (2016) considèrent que les EUE sont une composante de la résistance des cultures au stress hydrique qui détermine le rendement. En effet, le rendement d'une culture reflète le produit de l'eau

utilisée par la plante et l'efficacité de l'utilisation de l'eau (Lauri et *al.*,2014). En outre, Khila et *al.* (2015), constatent que l'amélioration des EUE dans les cultivars modernes est associée à un développement rapide, à une floraison précoce, à une bonne structure de couverture végétale et à un indice de récolte élevé.

#### 4.13. Critères de qualité

##### 4.13.1. Teneur d'azote du grain

Ce paramètre de qualité dépendait beaucoup plus de l'état hydrique et nutritionnel du sol durant la phase floraison. A ce stade, l'état d'humidité du sol fut favorable et similaire pour l'ensemble des traitements. Seulement, on peut noter que la variété GTA-Dur présente des taux légèrement supérieurs à la variété introduite Vitron ( tab 36).

**Tableau 36** .Teneur en azote total en (%) de la matière sèche du grain

Variété	GTA-Dur	Vitron
Pluvial	2.1	1.75
Irrigué	2.2	1.88

##### 4.13.2. Teneur en protéine du grain

La teneur du grain en protéines est le résultat de la dilution de cette quantité totale d'azote dans l'amidon du grain (tab 37).

**Tableau 37** .Teneur en protéine en (%) de la matière sèche du grain

Variété	GTA-Dur	Vitron
Pluvial	11.97	9.97
Irrigué	12.54	10.71

D'après (Bedoussac et Justes , 2010), la concentration en protéines des grains de blé dur est souvent trop faible, notamment dans les systèmes à faibles intrants en azote.

Les teneurs en protéines enregistrées montrent que la variété Vitron a une faible force boulangère par rapport à la variété GTA- Dur qui présente un taux de protéine élevé qui sera très déterminant sur le marché avec un taux de 12.5% qui est proche de la valeur de référence de 13.7% chez le blé dur en général( Feillet.2000).

### Conclusion

L'amélioration variétale et l'irrigation complémentaire s'avèrent être très efficace pour l'accroissement et la stabilisation des rendements de blé dur, dans les zones arides et semi-arides ; où le manque d'eau est le principal facteur limitant de la production. L'apport d'eau pendant chacune des quatre phases phénologiques du blé, a eu un effet bénéfique sur toutes les composantes du rendement. Cet effet est plus ou moins important, en raison du décalage temporel entre la prise de chaque composante de rendement, qui correspond en fait à une phase spécifique de la période de reproduction. Cela confirme le rôle clé de cibler les phases les plus sensibles qui valorisent mieux l'eau d'irrigation.

Il y a une différence de comportement entre les deux variétés, il y a donc des niveaux de tolérance en fonction de la période où les régimes hydriques se produisent. Vitron semble être sensible pendant le captage (réduction du nombre d'épis / m<sup>2</sup> et nombre de grains / épis) et peu sensible pendant le remplissage (PMG), tandis que GTA-Dur a une certaine tolérance pour le PMG. Les composantes du rendement qui dépendent des paramètres de croissance des plantes, ont affiché des réponses plus ou moins prononcées après le moment de l'approvisionnement en eau. Pour les deux variétés de blé étudiées, la supplémentation en eau au début de la période de reproduction (phase de l'épiaison) favorise l'augmentation de NGE mais pas nécessairement l'augmentation de la PMG.

Cependant GTA -Dur et Vitron sont très instables en conditions pluviales et doivent recevoir systématiquement des irrigations d'appoint. Effectivement, selon Merouche et al (2014), dans le cas où l'irrigation est entièrement disponible, le cultivar Vitron serait un bon choix si le potentiel de la culture est réalisable.

Le rendement en grain chez la variété Vitron dépasse 60 quintaux par hectare. La protection à l'aide de fongicide serait nécessaire avec cette option en raison de la sensibilité du cultivar car le microclimat de la culture favorise la diffusion de la maladie.

En pluvial, le nombre d'épis/ m<sup>-2</sup> (NE) et le nombre de grain par épis (NGE), constituent les composantes les plus déterminantes dans l'élaboration du rendement final tandis que sous irrigation, le nombre de grain par épis (NGE) et le poids de mille grains (PMG) sont les plus déterminants.

Les résultats obtenus montrent une interaction non significative entre le facteur variétal et le régime. Des études réalisées ont montré également l'absence de cette interaction (Gummuluru et al., 1989).

L'utilisation de l'eau doit être maximisée sous la forme de transpiration pour optimiser la production. Par conséquent, la réduction de l'évaporation et l'amélioration simultanée du stockage de l'eau, ou de la capacité de rétention ainsi que la maîtrise des mauvaises herbes sont les procédures clés pour améliorer les EUE. Ainsi, l'optimisation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans les cultures pluviales et l'amélioration du rendement céréalier dans les systèmes de culture, à eau limitée nécessitent la maximisation des précipitations pour la transpiration en réduisant les pertes d'eau du sol.

L'amélioration de l'irrigation d'appoint adaptée avec les variétés de blé dur choisie et le respect des itinéraires techniques de la culture, peuvent contribuer à réduire les différences entre les rendements actuels et escomptés ainsi que la diminution de la variabilité interannuelle de la performance du blé dans les zones semi-arides Algériennes.

Le pilotage d'une irrigation optimisée exige la connaissance en temps réel de :

- L'évapotranspiration du couvert végétal.
- L'état hydrique du sol.
- Le réservoir principal en eau pour les racines est le plus soumis à l'action de l'évaporation en zones semi-arides au niveau des couches superficielles. Leur dessèchement est de retour fréquent et rapide même sous apports importants d'eau.

Pour atténuer l'installation de ce stress hydrique et améliorer donc l'efficacité globale des eaux de pluie et d'irrigation, il faut adopter une stratégie d'irrigation pilotée en fonction de l'état d'humidité du sol. Le fractionnement des apports d'eau d'irrigation devient donc plus avantageux du fait qu'il permet de maintenir le plus longtemps possible, une humidité favorable des couches superficielles au profit de la culture.

La question est alors : l'irrigation des céréales permettra-t-elle de procurer les marges nettes suffisantes pour contrebalancer les frais d'installation et d'exploitation ?

Pour répondre à cette question de détail, il est nécessaire de déterminer la taille de l'exploitation susceptible de rationaliser l'eau pour l'irrigation par le choix judicieux du système d'irrigation à pratiquer. En effet, si l'irrigation par gravité est moins onéreuse que l'irrigation par aspersion elle reste aussi la moins efficace. Le calcul des besoins en eau avec des risques de moins de 10 %, a conduit à établir que le débit fictif caractéristique de 0.319 l/s/ha au mois d'avril. En considérant un puits de débit réel de 10 l/s, la surface optimale à irriguer est de 20 ha pour le gravitaire alors qu'elle est de 24 ha pour l'aspersion.

Certes, les exploitations capables de réserver plus de 20 ha à la seule culture des céréales sont des exploitations de grandes tailles et les charges imputables aux investissements du premier et second ordre peuvent être supportées pour autant qu'elles soient justifiées. Mais pour les exploitations de petites tailles, on peut proposer la création de coopératives de service où les charges sont supportées de façon proportionnelle aux surfaces emblavées par les céréales entre les membres coopérants. Dans l'un comme dans l'autre de ces deux cas, la question est : l'irrigation procurera-t-elle la marge nette économique nécessaire?

## **CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES**

La pédologie de la région a pour résultat deux classements de sol. Les sols de texture fine, sont très compacts en profondeur et pour augmenter leur capacité de stockage en eau, il est conseillé de leur faire subir un sous solage d'une profondeur d'environ 60 cm. Ce remaniement de la structure améliorera significativement la conductivité hydraulique du sol, sa porosité totale. Cet état facilite la pénétration maximale des eaux de pluies d'automne dans le sol, en effet, elles constitueront une réserve initiale nécessaire pour le démarrage de la culture du blé, en plus de la réduction des ruissellements de surface et la bonne perméabilité du sol qui contribuent à l'augmentation de l'efficacité agronomique des eaux de pluie et d'irrigation chez la culture.

L'unité des sols lourds de la région possédant une forte capacité de rétention de l'eau, sont aptes à stocker les pluies du début de la saison entre octobre et décembre. En fonction de leurs importances, ces réserves permettent à la culture une résistance relative en cas de sécheresse précoce.

Pour cela, Al-Khayri, et al (2015) recommandent des irrigations d'appoint entre un tiers et deux des exigences totales du blé dur pour des raisons d'efficacité et de rentabilité, étant donné les ressources en eau limitées disponibles pour l'irrigation dans les régions semi-arides méditerranéennes.

En plus des risques fréquents des dégâts causés par les effets thermiques du Sirocco et pour réduire leurs répercussions sur le rendement final, l'irrigation d'appoint devrait être planifiée afin de permettre des interventions opportunes.

Le recours à cette technique permet de concilier les faibles disponibilités hydriques et le besoin d'une production relativement élevée. Son application à grande échelle peut être une source d'amélioration des productions en zones arides.

L'irrigation complémentaire peut se faire par une ou plusieurs irrigations à des stades critiques de la croissance de la plante. Ces irrigations pourront augmenter le rendement jusqu'à 50%. Mais la décision d'irriguer dépend du régime climatique et de la disponibilité de l'eau d'irrigation, ainsi que le coût résultant de l'application d'une ou de plusieurs irrigations.

D'autre part les objectifs de l'irrigation complémentaire se résument en plusieurs points :

- a) Optimiser le rendement dans des lieux où le déficit de l'eau est occasionnel et de courte durée.

b) Optimiser les limites disponibles naturelles et les ressources d'irrigation.

L'évolution du contexte de production du blé dur Algérien pose de nouveaux enjeux pour la recherche agronomique. Il s'agit de proposer, dans un contexte climatique, économique et règlementaire en mutation, de nouvelles pratiques culturales permettant d'assurer un revenu à l'agriculteur au travers d'une production suffisante et de qualité, et en limitant les externalités négatives liées à l'activité agricole. **L'enjeu de la thèse était de proposer des pratiques culturales de gestion de l'irrigation pour différents stades cultivars de blé dur.**

### *Acquis du travail de thèse*

**Le premier objectif du travail de thèse était d'adapter un modèle de culture à deux différentes variétés de blé dur cultivées en Algérie.** Nous avons entrepris dans un premier temps un travail de terrain : de prospection, d'échantillonnages, d'analyses, d'interprétation autrement dit reconnaissance du terrain ensuite un travail d'estimation des paramètres et des composantes du rendement.

Bien que les choix opérés pour réaliser l'estimation des paramètres d'un modèle de culture comme le blé ont un impact significatif sur la valeur obtenus. Le travail entrepris démontre l'importance de cette réflexion préalable, comme illustré dans l'introduction de la thèse où nous répondons aux questions suivantes :

- Doit-on intégrer toutes les variables dont on souhaite améliorer le rendement au cours du processus d'estimation ?
- Dans quelle mesure la gestion hydrique, et en présence de quelles pratiques culturales, une quantité limitée d'eau peut-elle améliorer les rendements d'une culture donnée ?
- Comment peut-on augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau ?

**Le deuxième objectif de la thèse était d'élaborer un modèle de décision de l'agriculteur vis-à-vis des pratiques d'irrigation.**

Au travers des enquêtes en exploitation agricole et en mobilisant le concept du modèle d'action proposé par Sebillotte et Soler (1988), nous avons pu révéler les différentes stratégies mises en œuvre pour l'irrigation du blé dur ainsi que les différentes règles de décision intervenant dans la gestion stratégique et tactique, telles que définies par Trouvat (1997), de cette opération.

**Les stratégies d'irrigation sont liées à la localisation des exploitations et au volume d'eau disponible sur l'exploitation.**

La localisation influence directement la demande en eau pour le blé dur au travers d'une demande climatique différenciée. Elle influence indirectement les choix d'assolement réalisés sur la sole irrigable, desquels découlent l'importance donnée à la culture de blé dur à l'échelle de l'exploitation agricole et les volumes d'eau d'irrigation attribués pour cette culture.

**Les décisions qui interviennent dans la gestion d'opération d'irrigation relèvent plus du niveau stratégique que du niveau tactique.** Un nombre important de décisions stratégiques est pris en début de campagne (détermination de la dose apportée, du nombre de fractionnement, de la période des apports, du volume d'irrigation attribué au blé dur, du nombre de tours d'eau réalisables). Les décisions tactiques relèvent de la détermination du moment des apports d'eau et de la quantité d'eau attribuée à chaque tour d'eau.

**Il ressort de ce travail que la recherche de stratégies de gestion de l'irrigation est encore conjointe avec l'apport d'azote pour le blé dur devra intégrer les différentes contraintes rencontrées par les agriculteurs et notamment les contraintes liées au volume d'eau disponible pour le blé dur.** La recherche de stratégies adaptées ne sera pas la même pour les agriculteurs du Sud-Ouest de la région d'étude pour lesquels la ressource en eau s'avère pour le moment admissible pour l'irrigation, et l'irrigation du blé dur, une pratique indispensable à la pérennité de la culture au sein de l'exploitation, que pour les agriculteurs de la région pour qui l'irrigation du blé dur est vue comme un moyen de réduire la demande en eau de l'exploitation agricole, dans un contexte de pénuries croissantes en période estivale.

L'enjeu de la thèse étant d'évaluer les opportunités d'opérer une irrigation d'appoint en cas de sécheresse et son intérêt par rapport à une stratégie sans irrigation. Nous avons évalué l'intérêt que pouvait avoir la dose d'azote, associée à des irrigations si nécessaire sur les gains de rendement et de teneur en protéines. Il ressort de ce travail que des gains de rendements de 15 % pourraient être observés au travers d'une irrigation de 40 mm les années où 70% de la réserve utile a été consommée. Cette augmentation de rendement aurait cependant pour corollaire une baisse de la teneur en protéines obtenues.

**Ces résultats remettent en perspectives l'enjeu de proposer des stratégies de gestion conjointe de l'irrigation et de la fertilisation azotée permettant d'assurer des niveaux de rendement acceptables pour l'agriculteur, associés à des teneurs en protéines satisfaisant les critères de commercialisation.**

### *Les limites du travail de thèse*

Au démarrage de la thèse, la valorisation des travaux expérimentaux existants avait été privilégiée au détriment de la **réalisation** d'expérimentations spécifiques. Ce choix se justifiait par l'existence de nombreuses références expérimentales, obtenues au cours de plusieurs campagnes, sur différents sites permettant d'appréhender la variabilité pédo-climatique et avec différents cultivars. Après un recensement des expérimentations réalisées sur les réseaux INSID et ITGC au niveau de la wilaya d'Oum-El-Bouaghi.

**L'absence de métadonnées caractérisant certains éléments de l'itinéraire technique (type de précédent, date des apports d'azote...), ou l'état sanitaire de la culture ainsi que l'absence de données permettant de caractériser le milieu physique (caractéristiques permanentes du sol, données climatiques...) ou les conditions hydriques et azotées du sol au moment du semis a conduit à la suppression d'un tiers des données initialement recensées.**

Le choix de cette stratégie de valorisation des travaux existants s'est certes, traduit par un nombre de références expérimentales important, mais aussi par un nombre limité de situations comparables les unes aux autres (entre années ou entre itinéraires techniques) ainsi que par une hétérogénéité au niveau du nombre de variables disponibles dans chaque essai.

**Ceci a eu pour conséquences de limiter la capacité à identifier certains processus, comme l'effet de la température sur la dynamique d'accumulation d'azote et dans les grain. L'absence de données caractérisant le statut de la culture en phase reproductrice (biomasse, quantité d'azote absorbée) et du sol (humidité, quantité d'azote) a par exemple rendu délicate l'identification des raisons de la sous-estimation de la quantité d'azote absorbée en cas d'apport tardif.**

La question des impacts du changement climatique sur la production est de plus en plus prégnante dans la communauté scientifique. Dans leurs travaux conduits sur l'origine du plafonnement du rendement du blé observé ces dernières années, Gate et al. (2010) ainsi que Brisson et al. (2010) estiment que chaque jour dépassant la température moyenne de 25°C équivaut à une perte de rendement de 1.4 q/ha pour le blé. Les scénarios pour le climat futur prévoient une augmentation des températures moyennes qui aurait pour impact d'augmenter ce risque d'échaudage thermique. L'effet des températures élevées est pris en compte indirectement au travers d'un raccourcissement du nombre de jours de remplissage des grains. Les températures extrêmes journalières inférieures à 0°C et supérieures à 38°C annulent le transfert journalier de l'azote vers les grains.

Enfin, dans la perspective de proposer des stratégies de gestion durables du point de vue agronomique, environnemental et économique, l'évaluation multicritère pourra être mobilisée pour évaluer les différentes stratégies (Sadok et al., 2008). **Une réflexion autour de la définition et de la pondération des critères d'évaluation sera nécessaire i) pour générer des stratégies par optimisation, ii) pour évaluer les performances des systèmes étudiés et iii) pour proposer des stratégies de gestion conjointe de l'irrigation et aussi de la fertilisation azotée pour le blé dur adaptées au contexte des exploitations agricoles.**

Enfin dans le cadre de la réorientation du système économique de production, les résultats de cette étude devront permettre en principe, de sensibiliser les autorités publiques et d'attirer leur attention sur l'allocation rationnelle et l'utilisation optimale des ressources en eau, ainsi que les moyens d'orientation et d'initiation en matière de politique de tarifications et des mesures d'encouragement.

Les grands écarts observés entre les parcelles témoins et les parcelles irriguées peuvent être expliqué par l'effet de l'irrigation complémentaire, mais aussi par le taux de pluviométrie très faible qui a marqué cette année exceptionnelle.

Une reprise de cette même expérimentation sera donc une nécessité pour avoir une idée plus précise encore de l'effet de l'irrigation complémentaire durant une année à pluviométrie moyenne.

On doit penser aux outils de pilotage de l'irrigation d'appoint afin d'optimiser les blés installés sur de grandes surfaces sous climat aléatoirement déficitaire. Ces outils à rechercher seront basés sur la détermination de modèles de relations entre les informations obtenues par télédétection, traitant des photos satellitaires du couvert végétal d'une part et les variables liées au végétal d'autre part, tel que l'indice de végétation et de la biomasse à différents stades critiques corrélées préalablement en expérimentation au champ avec le rendement final. Dans un même sens, Aidaoui et Hartani (2008) montrent que les méthodes de maîtrise du développement de la culture du blé dur est de trouver des critères simples et facilement mesurables sur la plante pour caractériser sa réaction aux conditions du milieu et par la même de piloter plus efficacement les irrigations.

En réalité, l'appoint d'irrigation ne fait gagner que 15 q/ha, car l'autre moitié est déjà obtenue en pluvial, alors la plus-value n'est que de 18 Mq (millions de quintaux).

Combien coûterait le quintal de blé en irrigué en tenant compte de tout l'investissement lié à la mobilisation de la ressource en eau, à l'équipement d'irrigation et à la main d'œuvre nécessaire ? Sachant que de telles entreprises d'irrigation exigent un certain savoir-faire et un équipement pour déterminer avec précision le moment et les volumes d'eau d'appoint de chaque exploitant. Une nécessité à la rentabilité de l'irrigation qui partout ailleurs est complètement absente. Et enfin quelle serait la plus-value en termes de production de cette entreprise ?

Les essais expérimentaux sur l'irrigation des céréales, réalisés en Algérie et dans les pays voisins débouchent tous sur des résultats mitigés, parce que ces résultats sont obtenus dans des conditions contrôlées et les accroissements générés ne sont pas uniquement attribués à l'irrigation mais aussi aux soins apportés à l'itinéraire technique.

Tous les efforts consentis par l'Etat Algérien afin de juguler la dépendance en céréales de l'étranger sont restés insuffisants. Les importations relatives aux produits alimentaires (20,8% du volume total des importations) augmentent d'année en année, celles du blé dur ont connu une hausse de 128% au premier semestre 2011 par rapport avec la période précédente. Pour les mêmes périodes, les quantités de blé importées sont passées de 29,3 à 39,7 millions de quintaux (Mq) pour un coût progressif de 0,665 à 1,5 milliard de dollars.

Quantitativement, la rente céréalière dépend aussi bien de la fécondité naturelle du terroir dont la nature des sols et la pluviométrie sont les premiers inputs, que des circonstances techniques et économiques requises. Le prix de la main d'œuvre, la facilité des transports, les débouchés plus ou moins avantageux affectent largement la valeur du produit brut.

Depuis quatre ans, l'Institut français de technique des céréales et fourrages (ITCF) observe les parcelles de blé conduites en irrigation de complément où le rendement se stabilise autour de 75 q/ha. Il est précisé qu'un accroissement de rendement de 8 à 15 q/ha est obtenu avec un seul apport d'eau de 40 mm au stade de montaison (ITCF, 2012).

D'autres études (Zambujo, 2011), mettent en évidence l'effet des changements climatiques sur la rentabilité du blé durant les quinze dernières années. Il a été constaté que le rendement dans l'Est de l'Algérie présente un déficit de 7 q/ha, dû essentiellement à l'évolution du climat ayant accentué le phénomène de la précocification.

Dans les sols ayant une réserve entre 150 et 215 mm, le manque de 50 mm engendre une perte du potentiel de rendement de 15% (soit 11 q/ha sur 71 q/ha) et 20% (soit 12 q/ha sur 60 q/ha) en sol moyen profond. Cette situation impose 1 à 3 irrigations supplémentaires de 40 mm chacune, soit au maximum 105 mm, pour compenser le déficit hydrique.

L'analyse qui a été entreprise dans la présente étude a pu montrer que les cultures céréalières souffrent de stress hydriques durant tout le cycle végétatif. Les observations faites durant toute la période de 1951 à 2000 ont montré qu'il n'y a pas une seule année où le déficit hydrique ne se manifeste pas. Il en résulte que l'irrigation reste la technique la plus efficace pour échapper aux caprices du climat.

Il a été mis en évidence que l'irrigation des céréales permet non seulement d'améliorer la productivité des terres emblavées, mais aussi de régulariser la production de ces cultures à un niveau stable. Cette stabilité de la production est seule susceptible d'apporter des améliorations notables tant au niveau de la planification nationale qu'au niveau du bien-être de l'agriculteur.

*Conclusion Générale*  
*ET PERSPECTIVES*

## *Références Bibliographiques*



- Abbad H, El jaafari S, Bort J, Araus J L., 2004. Comparison of flag leaf and ear photosynthesis with biomass and grain yield of durum wheat under various water conditions and genotypes *Agronomie* 24 (2004) 19–28 19
- Abbassenne, F. 1997. Etude génétique de la durée des phases de développement et leur influence sur le rendement et ses composantes chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Mémoire magister, INA Alger. 81p.*
- Achouri .I ,1985 - Fertilisation azotée et densité de peuplement d'une variété de blé dur dans la Mitidja. Thèse d'INGINA .EL-Harrach 62 p.
- Adda A., Sahnoune M., Kaid-Harch M., Merah O., 2005. Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. *C. R. Biologies* 328 : 918–927
- Aidaoui A ; Hartani T .2000. Gestion de l'irrigation du blé dur par des indicateurs de l'état hydrique. *Options Méditerranéennes.Série A, Séminaires Méditerranéens*, pp. 579-582
- Adjabi A, Bouzerzour H, Benmahammed A. 2016. Study of the effects of physiological trait selection on the yield potential in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi-arid conditions. *Advances in Environmental Biology* 10(5):153–164.
- Ait Kaki, Y. 1993. Contribution à l'étude des mécanismes morphophysologiques de tolérance au stress hydrique sur 5 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) (Doctoral dissertation, Thèse de Magister, Université d'Annaba).
- Alem C., Labhilili M., Brahmi K., Jlibene M., Nasrallah N Maltouf A., 2002. Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C.R. Biologies* 325 : 1097-1109p
- Ali dib T. 1992. Etude de la tolérance :Ji la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Oesf.). Etude de la tolérance :Ji la sécheresse chez le blé dur (*Triticum cJurum* Desf.) . Etude des caractères phénologiques et morphologiques d'adaptation. Thèse Doct. ENSA. Montpellier 186 p.
- Ali Dib T, Monneveux P, Araus JL .1992.Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. Caractères physiologiques d'adaptation.*Agronomie*, 12 , 381 : 393
- Al-Khayri, J. M., Jain, S. M., & Johnson, D. V. (Eds.),. 2015. *Advances in plant breeding strategies: Breeding, biotechnology and molecular tools*. Springer International Publishing.
- Anderson, J. L. ; Ashcroft, G. L. ; Richardson, E.A. ; Alfaro, J. F. ; Griffin, R. E. ; Hanson, G. R. et Keller, J. 1990. Effects of evaporative cooling on temperature and development of apple buds. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 100 (3) : 229-231.
- Annicchiarico, P., & Piano, E. 2005. Use of artificial environments to reproduce and exploit genotype× location interaction for lucerne in northern Italy. *Theoretical and Applied Genetics*, 110(2) : 219-227.

Annicchiarico P, Bellah F., Chiari T . 2006. Repeatable genotype x location interaction and its exploitation by conventional and GIS-based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *Eur J Agron.* 24 : 70-81.

Anonyme .2003. Analyse des enjeux du développement agricole et du monde rural en Algérie. Groupe de recherche et d'études pour le développement de l'agriculture algérienne (GREDAAL).

Araus, J.L., Villegas, D., Aparicio, N., del Moral, L.F.G., El Hani, S., Rharrabti, Y., Ferrio, J.P., Royo, C., 2003. Environmental factors determining carbon isotope discrimination and yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Crop Science* 43, 170-180.

Arduini, I., Masoni, A., Ercoli, L., Mariotti, M., 2006. Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate. *European Journal of Agronomy* 25, 309-318.

Asseng, S., Foster, I. A. N., & Turner, N. C. 2011. The impact of temperature variability on wheat yields. *Global Change Biology*, 17(2), 997-1012.

Assem N, El Hafid L, Haloui B, El Atmani K. 2006. Effets du stress hydrique appliqué au stade trois feuilles sur le rendement en grains de dix variétés de blé cultivées au Maroc oriental. *Sécheresse* 17: 499-505.

Austin, R.B. 1999. Yield of Wheat in the United Kingdom: Recent Advances and Prospects. *Crop Science* 39 : 1604-1610.

Ayers RS, Westcot DW .1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 : 174 . Rome.

## B

Bagga A.K., Ruwali K.N. et Asana R.D., 1970: Comparison of responses of some Indian and semi dwarf Mexican wheat to irrigated cultivation. *Indien J, Agri, Sci*, 40: 421-427.

Bajji M, Lutts S et Kinnet J.M., 2000 La résistance au stress hydrique chez le blé dur: Comparaison des comportements au niveau cellulaire et au niveau de la plante entière In : Royo C. (ed.), Nachit M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.). *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges* . Zaragoza : Options Médit : Série A. Séminaires Médit. (40) : 227-231

Bakhella, M., & Akil, M. 2011. Appréciation de la valeur semoulière des principales variétés marocaines de blé dur. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 16(3) :19-28.

Bammoun A ., 1997- Contribution à l'étude de quelques caractères morpho- physiologiques, biochimiques et moléculaires chez des variétés de blé dur (*Triticum turgidum ssp durum.*) pour l'étude de la tolérance à la sécheresse dans la région des hauts plateaux de l'Ouest Algérien. Thèse de Magistère, pp 1-33.

- Blake, G.R. and Hartge, K.H. (1986) Bulk density. In: Klute, A., Ed., *Methods of Soil Analysis, Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, 2nd Edition, Agronomy Monograph 9, American Society of Agronomy—Soil Science Society of America, Madison, 363-382.
- Bauder, T.A., Waskom, R.M., Davis, J.G. .2007. Irrigation water quality criteria, Crop serie. Note 506. Colorado State University Extension. 4p
- Basset, L.M., R.E. Allan, and G.L. Rubenthaler .1989. Genotype\*Environment Interactions on soft White Winter Wheat Quality. *Agronomy Journal* 81 : 955-960.
- Bedoussac L. et Justes E. 2010. L'efficience des cultures associées blé dur-pois d'hiver pour améliorer la production et la teneur en protéine du grain de blé dépend de la disponibilité de l'azote en début de croissance. *Plant Soil* , 330:19–35
- Belaid. D, 1986 : Aspect de la céréaliculture algérienne. OPU. Alger. 126 p.
- Belbsir, A. 1990. Irrigation d'appoint et efficience d'utilisation de l'eau chez les cereles: cas du ble. Memoire de troisieme cycle. Rabat, Maroc: Agronomic 1AV Hassan II.
- Belhassen E, Dominique T, Monneveux P .1995. L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahiers Agricultures*. 4: 251-261
- Belkherchouche, H., Fellah, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Chellal, N. 2009. Vigueur de la croissance, translocation et rendement grain du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi arides. *Courrier du savoir*, 9 : 17-24.
- Belkharchouche, H., Benbelkacem, A., Bouzerzour, H., & Benmahammed, A. 2015. Flag leaf and awns ablation and spike shading effects on spike yield and kernel weight of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) under rainfed conditions. *Advances in Environmental Biology*, 9(8) : 184-191.
- Bendjemaa O., 1977 - Contribution à l'étude de l'élaboration de rendement de quelques variétés de blé dur fonction des conditions de semis dans les conditions écologiques de la station d'El Khroub. Thèse ingénieur Agronomie .INA, Alger, 105 pages.
- Ben Naceur M , Nailly M, Selmi M .1999. Effet d'un deficit hydrique, survenant a différents stades de developpement du ble, sur l'humidite du sol, la physiologie de la plante et sur les composantes du rendement. *MEDIT* n°2.
- Ben Naceur M, Rahmoune C, Sdiri H, Meddahi ML, Selmi M. 2001. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse*, 12(3): 167-74.
- Ben Salem, M., Boussem, H., and Slama, A. 1997. Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF/UREF), Orsay. *Sécheresse*, 2 : 75- 83.
- Benard, L., & Biaggini, F. 2005. Rhône-Alpes: Sa diversité fait sa force. *RIA. Revue économique et technique de l'industrie alimentaire européenne*, 660:14-16.

Benbelkacem, A., Djenadi, C., Khaldoun, A. History of Wheat genetic resources and Breeding in Algeria . Proceedings of the 8th.IWC, St Petersburg, Russia. 2013.

Benbelkacem A, Kellou K. 2001. Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) cultivées en Algérie. Options Méditerranéennes 6 : 105-10.

Benbella, M., El Midaoui, M., Serieys, H., Griveau, Y., Talouizte, A., Berville, A., & Kaan, F. 2003. Effects of osmotic and water stresses on root and shoot morphology and seed yield in sunflower (*Helianthus annuus* L.) Genotypes bred for morocco or issued from introgression with *H. argophyllus* T. & G. AND *H. debilis* Nutt/Influencia del estrés osmótico e hídrico en la morfología de raíz y brotes y rendimiento de semilla en genotipos de girasol (*Helianthus annuus* L.) Creados para las condiciones marroquíes u obtenidos por la introgresión con especies *H. argophyllus* T. & G. Y *H. debilis* Nutt/EFFET DE .... *Helia*, 26(38) : 1-16.

Bendjama, A., Bouzerzour, H., and Benbelkacem, A. 2014. Adaptability of durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* L. var. durum) to contrasted locations. *Aust. J. Basic & Appl. Sci.* 8(6): 390 - 396.

Benmahammed, A., Bouzerzour, H., Djekoun, A., and Hassous, L. 1998. Contribution de la biomasse aérienne de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement en grain (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi d'altitude. *Cahiers d'Agriculture*. 8: 133-137.

Ben Mimoune, (1994): Caractérisation physiologique et organique de huit variétés de blé tendre en vue d'une sélection dans la zone sub humide .Thèse ING Blida ,54p.

Benlarabi, M. et Monneveux, Ph. .1988. –Etude comparée du comportement en situation de déficit hydrique de deux variétés algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) adaptées à la sécheresse. *C.R Acad. Agric. France.*, 74 (5) : 73-83.

Benlaribi OU Benlarabi M., Monneveux PH., Grignac P., 1990. Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Agronomie* 10: 305-322.

Benseddik B. 1998. L'efficience de l'eau en zone semi -aride. Une approche simple pour l'optimisation du rendement et une meilleure gestion de l'eau. *CIHEAM, Options Méditerranéennes*.


Benseddik B et Benabdelli K., 2000 .Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride : Approche éco physiologique. *Revue sécheresse*, (11), (1) : 45-51.

Binet P et Brunet J-P .1967. *Physiologie végétale* , Doin, Paris, 339 p.

Biscope P.V., Gallagher J., Littleton E.J., Monteinth K.L. ET Scott R.K., 1975: Barley and its Environment. Sources of assimilates. *J. Appel. Eco*; 12: 395.

Blake, G. R., & Hartge, K. H. 1986. Bulk Density1. *Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods*, (methodsofsoilan1), 363-375.

- Blinda M., 2012 : Vers une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau en Méditerranée. Cahier 14, Plan Bleu, Centre d'Activités Régionales du PNUE/PAM, Novembre 2012, 44 p.
- Blum, A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, 112(2-3) : 119-123.
- Bogges, S-F ; Aspinall, D. ; Paleg, L-G. 1976. -Stress metabolism. IX. The significance of end product inhibition of proline synthesis and of compartmentation in relation to stress-induced proline accumulation. *Aust. J. Plant Physiol.*, (3) ; 513-525.
- Bonnefoy M, Moynier J-L .2014. Besoins en eau des céréales. Colloque au champ-Irrigation-le Magneraud, Arvalis, France
- Bouaziz, A., & Elmourid, M. 1999. Validation des acquis de la recherche sur blé en irrigué. Projet PSDA, ORMA des Doukkala. El Jadida, Maroc.
- Boudjabi, S., Kribaa, M., Chenchouni, H. 2015. Growth, physiology and yield of durum wheat (*Triticum durum*) treated with sewage sludge under water stress conditions. *EXCLI journal*, 14 :320-334.
- Boujelben, A , Khila, S. B., Douh, B. & Mguidiche, A. 2015. Effets de la contrainte hydrique et des changements climatiques sur la productivité du blé dur en conditions climatiques semi arides de Tunisie. *LARHYSS Journal* ISSN 1112-3680, (23):69-85.
- Bouthiba A., Debaeke P., Hamoudi, S.A .2008. Varietal differences in the response of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) to irrigation strategies in a semi-arid region of Algeria. *Irrigation Science* . 26 : 239-251.
- Bouthiba A, Debaeke P .2009. Besoins en eau de différentes variétés de blé dur en conditions semi-arides. Symposium International (AGRUMED), Rabat, Maroc : 188-195.
- Bouthour, D., Kalai, T., Chaffei, H.C., Gouia, H., Corpas, F.J. 2015. Differential response of NADP-dehydrogenases and carbon metabolism in leaves and roots of two durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars (Karim and Azizi) with different sensitivities to salt stress. *Journal of Plant Physiology* 179: 56–63.
- Boutfirass, M. 1990. Irrigation d'appoint et efficacité d'utilisation de l'eau en zone semi-aride: cas du blé tendre. Mémoire de 3ème cycle. Rabat, Maroc: Département d'Agronomie, IAV Hassan II.
- Bouzerzour H, Monneveux P. 1992. Analyses des facteurs de stabilité du rendement de l'orge dans les conditions des hauts plateaux algériens. *Les Colloques* 1992 ; 64 : 205-15.
- Bouzerzour, H., Djekoun, A., Benmahammed, A., & Hassous, K. L. 1998. Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement grain de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone d'altitude. *Cahiers de l'Agriculture*, 8 : 133-137.
- Bouzerzour, H., Abbas, K., & Benmahammed, A. 2003. Les céréales, les légumineuses alimentaires, les plantes fourragères et Pastorales. *Recueil des communications, Atelier*, (3) : 79.

- Bouzerzour ,H. et Benmahammed,A.2009. Variation in Early Growth, Canopy Temperature, Translocation and Yield of Four Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Genotypes under Semi Arid Conditions. Jordan. Journal of Agricultural Sciences, Volume 5, (2):142-154
- Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F.X., Huard, F., 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. Field Crops Research 119, 201-212.
- Brown S.C., Gregory P.J, Wahbi A., In: J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo, S. Varma (Eds).1985. Drought tolerance in winter cereals. Proceedings of the international workshop, Capri, Italy : 27-31.
- Brunini O, Sawazaki E, Miranda L.T .1984. Water Use efficiency for corn cultivars. Conférence internationale, INRA, Paris : 361-368
- BSA .2007..Bulletin de statistique agricole- Inventaire statistique des terres agricoles. Ministère de l'agriculture, Série B, 1970-2007, 21p
- Buerstmayr, H., Steiner, B., Lemmens, M., & Ruckenbauer, P. 2000. Resistance to Fusarium head blight in winter wheat: heritability and trait associations. Crop Science, 40 (4) :1012-1018.
-  Capriotti, A.L., Borrelli, G.M., Colapicchioni, V., Papa, R., Piovesana, S., Samperi, R., et al. 2014. Proteomic study of a tolerant genotype of durum wheat under salt-stress conditions. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 406(5) : 1423–1435.
- Ceccarelli S, Grando S.(1991) Selection environment and environmental sensivity in barley. Euphytica ; 57 : 157-67.
- Chahbar, S., Belkhodja, M. 2016. Water deficit effects on osmolyts traits in five durum wheat varieties (*Triticum durum*). International Journal of Innovation and Applied Studies, 17(3) : 757–767.
- Chamekh Z, Ayadi S, Karmous C, Trifa Y, Amara H, Boudabbous K et al. 2016. Comparative effect of salinity on growth, grain yield, water use efficiency,  $\delta$  13 C and  $\delta$  15 N of landraces and improved durum wheat varieties. Plant Science 251: 44–53. DOI: 10.1016/j.plantsci.2016.07.005
- Chebil A, Abbas K, Frija A. 2014. Water use efficiency in irrigated wheat production systems in central Tunisia: A stochastic data envelopment approach. Journal of Agricultural Science 6(2): 63. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v6n2p63>
- Chen W, Wellings C, Chen X, Kang Z, Liu T. 2014. Wheat stripe (yellow) rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. Molecular Plant Pathology 15(5): 433–446. DOI: 10.1111/mpp.12116
- Chaib, G., Benlaribi, M., & Hazmoune, T. 2015. Accumulation d'osmoticums chez le blé dur (*triticum durum* desf.) sous stress hydrique. European Scientific Journal, ESJ, 11(24).

Chennafi, H., Saci, A., Harkati, N., Fellahi, N., Hannachi, A., & Fellafi, Z. 2011. Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous l'effet des façons culturales en environnement semi-aride.

Chennafi, H., Saci, A., Harkati, N., Adjabi, A., & Mébarkia, A. 2010. L'optimisation du rendement de la culture du blé sous l'effet du précédent cultural et l'outil de labour en environnement semi-aride. Actes des quatrièmes rencontres méditerranéennes du semis direct. Revue INRAA No. Spécial : 879-887.

Chennafi H, Aïdaoui A, Bouzerzour H, Saci A .2006. Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to déficit irrigation under semi-arid growth conditions. Asian j. Plant Sci. 5:854-860.

Cherfia, R. Etude de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Magister, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Ecologie. Université Mentouri, Constantine. 77pp. 2010

CLARKE, J. M., & McCAIG, T. N. (1982). Excised-leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. Canadian Journal of Plant Science, 62(3), 571-578.

Cline, W. R. 2007. Global warming and agriculture: Impact estimates by country. Peterson Institute.

CNIS (2005) Agriculture algérienne. Les statistiques. <http://www.douanes.cnis.dz>.

CNIS (2011) Agriculture algérienne. Les statistiques. <http://www.douanes.cnis.dz>.

Combe. L, Piccard. D ,1994 : élaboration du rendement des principales cultures annuelles. INRA, Paris.32, 36p.

Condon, A. G., Richards, R. A., Rebetzke, G. J., & Farquhar, G. D. 2004. Breeding for high water-use efficiency. Journal of experimental botany, 55(407) : 2447-2460.

Cooper, J. R., & Gilliam, J. W. 1987. Phosphorus Redistribution from Cultivated Fields into Riparian Areas 1. Soil Science Society of America Journal, 51(6) : 1600-1604.

Couvreur F., 1981 : La culture du blé se raisonne .perspectives agricoles 91,28-32.

Couvreur .F, 1985 : Formation du rendement du blé et risque climatiques.Perspectives agricoles N°95.PP 12-19.

Cowger, C., Patton-Özkurt, J., Brown-Guedira, G., & Perugini, L. 2009. Post-anthesis moisture increased Fusarium head blight and deoxynivalenol levels in North Carolina winter wheat. Phytopathology, 99(4) ; 320-327.

Daaloul A, Bchini H, Sayar R. 2014. Variabilité génétique de quelques paramètres du système racinaire du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous deux régimes hydriques. *Bioersivity International*, FAO 129 : 25 – 31

DAJOZ R., 1971 -Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434p.

Daroui, E.A., Boukroute, A., Kajeiou, M., Kouddane, N.E., Berrichi, A. 2011. Effet de l'irrigation d'appoint sur le rendement d'une culture de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) (Variété Rajae) au Maroc Oriental. *Revue Nature & Technologie*, 5: 80-86.

Davidson DJ, Chevalier PM. 1990. Pre-anthesis tiller mortality in spring wheat *Crop Sciences* ; 30 : 832-6.

De Simone, V., Soccio, M., Borrelli, G. M., Pastore, D., Trono, D. 2014. Stay-green trait-antioxidant status interrelationship in durum wheat (*Triticum durum*) flag leaf during post-flowering. *Journal of plant research*, 127(1), 159–171. DOI: 10.1007/s10265-013-0584-0

Debaeke, P., & Hilaire, A. 1995. Wheat response to supplementary irrigation in south-western France: I. Experimental response to pre-anthesis applications. *AGRICOLTURA MEDITERRANEA*, 125 :51-51.

Debaeke P., Puech, J., Casals, M.L. 1996. Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. I. Etude en lysimètres. *Agronomie*, 16 : 3-23.

Debaeke P. 2009. Quels outils pour concevoir, conduire et évaluer des systèmes de culture adaptés à la contrainte hydrique. ? Symposium. International. AGDUMED, Rabat, Maroc, 14-16 Mai.

Debaeke, P., Aboudrare, A. & Bouaziz, A., 2000. Recherche de stratégies de conduite du tournesol dans les conditions pluviales de la région de Meknès (Maroc). II. Explorations à l'aide du modèle Epic-Phase. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 11(1) : 19-27.

Decroix, M., and Puech, J., (1985) Le pilotage de l'irrigation a la parcelle. In : Les besoins en eau des cultures. Conférence international Paris, INRA-CI1FL, Paris: 693-724.

Delcolle R, et Gurnade .Y, (1980): Liaison entre le développement et de la morphologie du blé tendre d'hiver .*Anales d'amélioration des plantes* pp 479-498.

Di Fonzo N., De Vita, P., Gallo, A., Fares, C., Padalino, O., Troccoli, A.. 2000. Crop management efficiency as a tool to improve durum wheat quality in mediterranean areas. In: Abecassis, J., Autran, J.C., Feillet, P. (Eds) *Durum Wheat, semolina and pasta quality. Recent achievements and new trends*. Montpellier, 27 novembre 2000. 67-82.

DHW-OEB : Direction de l'Hydraulique de la wilaya d'Oum El Bouaghi, Etude du perimetre d'irrigation de f'kirina a l'aval de la retenue collinaire de oulmene, Entreprise nationale de projets hydrauliques de l'est hydro-PROJET-EST .2013.

Dib D., 2018. Origine et caractérisation de la pollution des eaux dans le bassin de Taref (NE-Algérien). Thèse de Doctorat, PP 53-54.

Doorenbos J et Pruitt W.O .1975. Crop Water Requirements, FAO, Rome 179 p.

Doorenbos J, Kassam A. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper n° 33. FAO, Rome. 193 p.

Doorenbos J, Pruitt WO .1996. Les besoins en eau des cultures. Bulletin F.A.O. d'irrigation et de drainage, 24, Rome, 144p.

Durand, Yves, Laternser, Martin, Giraud, Gérald, et al. Reanalysis of 44 yr of climate in the French Alps .1958–2002. Methodology, model validation, climatology, and trends for air temperature and precipitation. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2009, vol. 48, no 3, p. 429-449.



EL Fakhri M, Mahboub S, Benchekroun M, Nsarellah N . 2010. Effet du stress hydrique sur les caractéristiques d'enracinement du blé dur (*Triticum Durum*. Desf). Revue « Nature et Technologie ». (03) : 06 - 12

El Hafid R, Smith DH, Karrou M, Samir K .1998.Root and shoot growth, water use and water use efficiency of spring durum wheat under early-season drought. Agronomie 18:181-195

Erchidi, A. E., Benbella, M., & Talouizte, A. 2000. Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement grain chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique. Options méditerranéennes, série A (Séminaires méditerranéens), 40 :279-82.

Ernez M, Lannoye R (1991) Quantification of physiological disorders in stressed plants. In: Physiologybreeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments. Montpellier, France, 3-6 July 1989 (E Acevedo, AP Conesa, P Monneveux, J Srivastava, eds) Colloques INRA n° 55, 414-433.



FAOSTAT .2014. Statistics Division, FAO, <http://faostat3.fa0.org>.

Febrero A.; Brot J.; Brown R.H. etAriaus J.L., 1990: The role of durum wheat ear as photosynthetic organ during grain filling. In: advanced trends in photosynthetic, Mallorca, Spain (unpublished).

Feillet P .2000.Le grain de blé : composition et utilisation. INRA. Paris Paris: 23- 25p

Feliachi K, Amroun R, Khaldoun A .2001. Impact de la sécheresse sur la production des céréales cultivées dans le nord de l'Algerie. Céréaliculture- ITGC, Algérie, 35: 28-34

Fellah, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., & Djerkoun, A. 2011. Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 22(3), 161-168.

Fellah, S.,Benmahammed, A., & Bouzerzour, H . 2008.Variation de la teneur relative en eau, de l'intégrité cellulaire,de la croissance et de l'efficacité d'utilisation de l'eau des variétés de

ble dur (*Triticum durum*, Desf.) conduites sous différentes intensités de stress hydrique. Thèse magister. 2008. Sci. Biol. Institut Science et Vie, O. E. Boughi.

Fellahi, Z., Hannachi, A., Guendouz, A., Bouzerzour, H., and Boutekrabt, A. 2013. Genetic variability, heritability and association studies in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Electronic Journal of Plant Breeding*. 4:1161 - 1166.

Fischer R.A. ET Maurer R., 1978: Drought resistance in spring resistance wheat cultivar. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agri. Res.*, 29: 105-912.

Fisher R.A., 1985: Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. agric. Sci., Camb*, 105, 447-461.



Grahmann K, Govaerts B, Fonteyne S, Guzmán C, Soto APG, Buerkert A, Verhulst N. 2016. Nitrogen fertilizer placement and timing affects bread wheat (*Triticum aestivum*) quality and yield in an irrigated bed planting system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 106(2):185–199. DOI: 10.1007/s10705-016-9798-6

Gallais A. 1980. Sélection du maïs fourrage *Revue Cult.* ; France , 133:28-30

Garrido-Lestache, E., Lopez-Bellido, R.J., Lopez-Bellido, L., 2005. Durum wheat quality under Mediterranean conditions as affected by N rate, timing and splitting, N form and S fertilization. *European Journal of Agronomy* 23, 265-278.

Gate P., Bouthier A., Casablanca H. et Deleens E., 1992 : Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France. Interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique du carbone des grains. In : *Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale*. Montpellier (France) INRA. (Les colloques n°64).

Gate P, (1987): Mieux comprendre l'élaboration du rendement chez le blé. *Perspectives agricoles n°169* Paris, pp 62-67.

Gate P., 1995. *Ecophysiologie du blé*. Tec Doc. Lavoisier. Paris. 429p.

Gate P. 1997. *Ecophysiologie du blé*, préface de Tony Fischer, 103p

Gillet M (1979) *Les graminées fourragères. Description, fonctionnement applications à la culture de l'herbe*. Ed Gauthier-Villars, Collection "Nature et Agriculture", 306 pp

Giunta F., Motzo R. et Deidda, M. 1993. Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in Mediterranean environment. *Field crops Research*. 33: 399-409.

Grandcourt, M. C., & Prats, J. 1971. *Les céréales*. Ed. JB Bailliers et Fils.

Gregory P.J., Simmonds L.P., Pilbeam C.J. 2000. Soil type, climatic regime, and the response of water use efficiency to crop management. *Agron. Journal* , 92: 814-820.

Grignac P.H., 1981 : Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen français.

Grignac.R ,1986 : contrainte de l'environnement et l'élaboration du rendement dans la zone méditerranéenne France. In l'élaboration du rendement des cultures céréalière, colloque Franco-Romain généralement, 17-18 mars 178-207.

Gros A .1979. Engrais .Guide pratique de la fertilisation. Ed. Maison. Rustique, Paris, 382p.  
Gonzalez-Dugo, V., Durand, J.L., Gastal, F., 2010. Water deficit and nitrogen nutrition of crops: A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30, 529-544.

Gummuluru, S., Jana, S., Hobbs, S.L.A, 1989. Genotypic variability in physiological characters and its relationship to drought tolerance in durum wheat. *Can. J. Plant Sci.*69 : 703-711.

## H

Habi M, Morsli B. 2013. Impact of water and soil conservation (WSC) strategies in improving water balance and soil production in Algeria: options to alleviate the negative impacts of climate change. *Arabian Journal of Geosciences* 6(4):1073–1080. DOI: 10.1007/s12517-011-0412-6.

Halimi A. (1980) -L'atlas Blideen, climat et étages végétaux. Ed.OPU. Alger. 523p.

Hamli, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Oulmi, A., Kadi, K., and Addad, D. 2015b Déterminisme génétique des caractères morpho-physiologiques liés au rendement chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride des hauts plateaux Sétifiens, Algérie. *European Scientific Journal*. 12 : 146- 160.

Hammad, S.A., Ali, O.A. 2014. Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Annals of Agricultural Sciences*, 59(1) : 133–145.

Hammiche, B. 1993. Le marché des céréales et des légumes secs. *L'économie*, (2) : 40-47.

Heller, R., Esnault, R., and Lance, C. 1993. *Physiologie végétale*, 1. Nutrition, Paris, 294p.

Hillel D (1984) *L'eau et le sol .Principes et processus physique* Academia.Louvain la Neuve, Belgique 288p.

Houot S, Mordelet P, Tardieu F, Molina J .1990. Effet du tassement du sol sur la biomasse microbienne et la libération d'azote. *Symp. INRA-Paris Grignon, France* , PP :201-207.

Hucl P, Baker RJ. 1989. Tillering patterns of spring wheat genotypes grown in a semi-arid environment. *Can J Plant Sci* 1989 ; 69 : 71-9.

## I

ITGC .1998. Etude sur les perspectives de réhabilitation des légumineuses alimentaires en Algérie. Atelier ITGC, 22 février 1998, El-Harrach, Alger, 12p.

ITGC .2010. Essais de fertilisation combinée azotée et phosphatée. Site internet de l'ITGC.

ITFC (2012). <http://www.arvalis-infos.fr> MADR. (2012). Ministère de l'agriculture et du renouveau rural. Déclaration à la presse.

## J

Jonard .P, 1964 : étude comparative de la croissance de deux variétés de blé tendre. Annal de l'amélioration des plantes, pp101-130.

## K

Karam F, Kabalan R, Breidi J, Roupahel Y, Oweis T, 2009. Yield and water-production functions of two durum wheat cultivars grown under different irrigation and nitrogen regimes Agricultural Water Management 96,603-615.

Karrou M.2000. Contribution à la mise en place d'une approche intégrée de lutte contre la sécheresse chez le blé dur au Maroc. In : Royo C. (ed.), Nach it M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Arau s J.L. (ed.). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges . Zaragoza : CIHEAM, 559 -567 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n° 40)

Khaldoun A, Chery J, Monneveux P. 1990. Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.). Agronomie 10:369-379.

Khila SB, Douh B, Mguidiche A, Ruget F, Mansour M, Boujelben A .2013.Yield and water use efficiency of a durum wheat (*Triticum Durum* Desf.) cultivar under the influence of various irrigation levels in a Mediterranean climate. j. Nat. Prod. Plant Resour. 3(1 ):78-87.

Khila, S. B., Douh, B., Mguidiche, A., & Boujelben, A. 2015. Effets de la contrainte hydrique et des changements climatiques sur la productivité du blé dur en conditions climatiques semi arides de tunisie. LARHYSS Journal ISSN 1112-3680, (23), 69-85.


## U

USSLS, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United State Salinity Laboratory Staff,US Department of Agriculture, Handbook n°60, U. S. Gov. Print. Office, Washington DC.

## L

Lacroix .1989. Irrigation du maïs, quelle dose, quelle fréquence Revue Cultivar, France, (250) : 40-42

Lahlou O. 1989. Irrigation d'appoint et efficacité d'utilisation de l'eau en zone semi-aride. Cas du blé. Mémoire de 3ème cycle, Agronomie. IAV Hassan II. Rabat.

- Lahlou O. 2005. Gestion de la ressource en eau et effet du régime hydrique sur l'agrophysiologie du blé et de la pomme de terre. These de doctorat es-science agronomie. IAV. Hassan II. Rabat.
- Lahmar R, Bouzerzour H. 2010. For mulch organic at earthy mulch. Revisiting dry-farming to ensure a transition to sustainable agriculture in the High Plains Sétif, IV Mediterranean Encounters Tillage, Options Mediterranean, A 96: 99–106.
- Latiri K, Lhomme JP Lawlor DW .2013. Grain filling of durum wheat through assimilate remobilisation under semi-arid conditions. Exp. Agric. 49:197-211.
- Laurent B. et Ahmed B., 1991. La germination des semences en conditions sèches. Science et changements planétaires/ sécheresse. Vol. 2 (4): 239-249.
- Lauri, P. É., Losciale, P., Zibordi, M., Manfrini, L., Corelli-Grappadelli, L., Regnard, J. L., Costes, E. 2014. Responses of young apple trees to soil water restriction: combining shoot morphology and leaf functioning over a range of genotypes. In: XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014): 1130, pp. 473–478.
- Ledent J.F., 1978 :Verbalization and an thesis in a collection of wheat cultivars ( *Triticum aestivum* L.) : a quantitative study in controlled environment . Bull. Soc .Roy .bot .belg. 112, 186 - 192.
- Lefi, E., Medrano, H., & Cifre, J. 2004. Water uptake dynamics, photosynthesis and water use efficiency in field- grown *Medicago arborea* and *Medicago citrina* under prolonged Mediterranean drought conditions. Annals of Applied Biology, 144(3), 299-307.
- Lerner, S.E., Seghezzo, M.L., Molfese, E.R., Ponzio, N.R., Cogliatti, M., Rogers, W.J., 2006. N- and S-fertiliser effects on grain composition, industrial quality and end-use in durum wheat. Journal of Cereal Science 44, 2-11.
- Levrault F. (2010). Changement climatique et irrigation. Proceedings of the conference CLIMATOR, 17–18 June 2010, INRA Versailles, pp. 44–46.
- Louati M.H., 2008 : Stratégie méditerranéenne pour le développement durable, Efficience d'utilisation de l'eau, Étude Nationale de Tunisie. Plan Bleu, 17p.
- 
- M.A.D.R. (2007). Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Annuaire statistiques, Série B.
- Mare-Dgrrre (Ministère de l'Agriculture et des Ressources en Eau, Direction Générale du Génie Rural et des Ressources en Eau) .2007. Rapport de préparation du projet d'investissement dans le secteur de l'eau.
- Marty J-R 1997. Irrigation des fourrages. Production et valorisation de l'eau de quelques

- espèces fourragères. Bulletin Technique Info, , France 319: 209-220
- Mebarki, A., & Laborde, J. P. (2012, September). Synthèse cartographique des bilans hydriques de l'Algérie du Nord. In *Colloque International de Rouen, Regards croisés Nord-Sud*, Université de Rouen (pp. 25-26).
- Medina, S., Vicente, R., Amador, A., Araus, J.L. 2016. Interactive Effects of Elevated [CO<sub>2</sub>] and Water Stress on Physiological Traits and Gene Expression during Vegetative Growth in Four Durum Wheat Genotypes. *Frontiers in Plant Science*, 7:1738. DOI: 10.3389/fpls.2016.01738
- Megherbi, A., Mehdadi, Z., Toumi, F., Moueddene, K., & Bouadjra, S. E. B. 2012. Tolérance à la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.) et identification des paramètres morpho-physiologiques d'adaptation dans la région de Sidi Bel-Abbès (Algérie occidentale). *Acta Botanica Gallica*, 159(1), 137-143.
- Mekliche H.L., 1983- Etude agronomique, analyses diallèles et cytogénétique de quatre variétés de blé Tender cultivées en Algérie. Thèse de Magister. I.N.A. El-Harrach, 150 p.
- Melki. M : Dahmane. AEK et Garout. A, 1996: « Effet de la variation saisonnière des facteurs climatiques sur les composantes de rendement des céréales (blé dur et orge) Journal des sciences agronomiques. IN AT. Tunis. V 10. n° 1. 105-114.
- Merouche , A., Boulassel, A., & Saïdi, L. 2014. Eau et sécurité alimentaire: Quel apport de l'irrigation d'appoint des céréales en Algérie. Éditions universitaires européennes.
- Merabet B.A , Bouthiba, .2004. Effet de l'irrigation de complément sur quelques variétés de blé dur dans une région semi-aride (plaine du Chélif) *Annales INA EL-Harrach (Alger)*, 25 :89-109.
- Mihoub A, Mokhtari S. 2016. Effects of water quality on wheat (*Triticum durum* L. var Boussalem) irrigated with drainage water in a saline environment under palm grove conditions, southern Algeria. *Algerian Journal of Arid Regions* 13: 97-100.
- Mogensen VO, Jensen HE, Abdur.Rab .1985. Grain yield, yield components, drought sensitivity and water use efficiency of spring wheat subjected to water stress at various growth stages. *Irrig Sci* 6 : 131-140.
- Monneveux Ph., et Nemmar M., 1986 : Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, 6(6), 583-590
- Monneveux Ph., 1991 - Quelle stratégie pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? In : Chalbi Demarly Y. éd. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey. INSA-INRA, P165:186.
- Monneveux P, This D. 1996. La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés. *Sécheresse* ; 8 : 29-37.
- Monteny, B. A. 1972. Evapotranspiration de différents couverts végétaux en région

méditerranéenne semi-aride. (Evapotranspiration of different crops in a Mediterranean semi-arid region.) *Agnk Meteorol.*, 10: 19-38.

Morris, L.C. ; Thompson, J.F.; Johnson, C.M. (1969) Metabolism of glutamic and N-acetyl glutamic acid in leaf discs and cell-free extracts of higher plants. *Plant Physiol.*, 44, pp. 1023-1026.

Mouhouche, B., & Boulassel, A. 1997. Gestion rationnelle des irrigations de complément des cultures de légumineuses alimentaires et des céréales. *Recherche Agronomique*, 1, 21-31.

Mouhouche B. et Khiati M. 1999. Situation de l'alimentation et de l'agriculture Algérienne. Journée d'études à l'occasion de la journée Arabe de l'agriculture. INA d'El-Harrach, Alger.

Mouhouche B. 2003. Utilisation rationnelle et valorisation de l'eau en agriculture. Journée Mondiale de l'eau. Palais de la Culture Alger, 25 & 26 mars 2003.

Moule C .1980. Bases scientifiques et techniques de la production des principales espèces de grande culture en France, Ed, Miason Rustique, Paris, 319p.

Mrabet, R. 2001. Le semis direct: potentiel et limites pour une agriculture durable en Afrique du Nord. Centre de développement sous-régional pour l'Afrique du Nord (CDSR), Nations Unies, Commission Économique pour l'Afrique (CEA/TNG/CDSR/AGR).

Monji H, Dhouha L, Rajouene M, Habib, A. 2016. Impact of spate irrigation of flood waters on agricultural drought and groundwater recharge: case of Sidi Bouzid plain, Central Tunisia. *Arabian Journal of Geosciences* 9(15):653. DOI: 10.1007/s12517-016-2686-1

Musa JJ, Mustapha IA, Yerima IY, Kuti IA, Abogunrin ME. 2016. Evaluation of irrigation application efficiency: case study of chanchaga irrigation scheme. *Arid Zone Journal of Engineering, Technology and Environment* 12:58–64.

Musick, J.T, Jones, O. R , Stewart, B.A, Dusek, D.A .1994. Water yield relationships for irrigated and dryland wheat in the US southern plain. *Agronomy Journal*, 86 : 980-986.



Nakhforoosh, A., Bodewein, T., Fiorani, F., Bodner, G.2016. Identification of water use strategies at early growth stages in durum wheat from shoot phenotyping and physiological measurements. *Frontiers in Plant Science*, 7: 1155.

Nouar, H., Haddad, L., Laala, Z., Oulmi, L., Zerargui, H., Benmahammed, A., & Bouzerzour, H. 2010. Performances comparées des variétés de blé dur: Mohammed Ben Bachir, Waha et Boussalam dans la wilaya de Sétif. *Céréaliculture*, 54 :23-28.

Nouar, H., Bouzerzour, H., Haddad, L., Menad, A., Hazmoune, T., & Zerargui, H. 2012. Genotype xEnvironment interaction assessment in Durum wheat (*Triticum durum* Desf) using AMMI and GGE models. *Advances in Environmental Biology*, 3007-3016.

Novak, S., Kockmann, F et Villard, A.2006. Adapter la stratégie culturale au type de sol 140 *Perspective Agricole* 322 : 14-17



Olesen, J. E., Bøcher, P. K., & Jensen, T. 2000. Comparison of scales of climate and soil data for aggregating simulated yields of winter wheat in Denmark. *Agriculture, ecosystems & environment*, 82(1-3), 213-228.

Ollier, C., & Poiree, M. 1981. *Agricultural drainage. Drainage by pipes or ditches, planning channels and effluents soil-water relationships, principles and bases of agricultural drainage*. [French].

Oudin, L. (2004). *Recherche d'un modèle d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-débit global* (Doctoral dissertation, ENGREF (AgroParisTech)).

Ouerghi, F., Ben-Hammouda, M., Teixeira Da Silva, J. A., Albouchi, A., Bouzaïen, G., Aloui, S., et al. 2015. The effects of vapor gard on some physiological traits of durum wheat and barley leaves under water stress. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 79(4), 261–267.  
OUSSINAULT, 1993

Oustani M., Halilat, M. T., & Chenchouni, H. 2015. Effect of poultry manure on the yield and nutriment uptake of potato under saline conditions of arid regions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27(1) : 106-120.

Oweis T, Pala M, Ryan J .1999. Management alternatives for improved durum wheat production under supplemental irrigation in Syria. *Eur J Agron* 11: 255-266

Oweis, T., Zhang, H., & Pala, M. 2000. Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. *Agronomy Journal*, 92(2) :231-238.



Paillard C., Masse J., Robert D., Crosson P., 1992. Blé d'hiver : modélisation de la progression racinaire. *Persp. Agric.* 175 : 112-115.

Perrier, E. R., & Salkini, A. B. (Eds.). 2012. *Supplemental Irrigation in the Near East and North Africa: Proceedings of a Workshop on Regional Consultation on Supplemental Irrigation*. ICARDA and FAO, Rabat, Morocco, 7–9 December, 1987. Springer Science & Business Media.

Piao S, Ciais P, Huang Y, Shen Z, Peng S, Li J, et al. 2010. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature* 467:43–51. DOI: 10.1038/nature09364

Poly J .1979. L'INRA , l'eau est la production végétale. SEI.CNPA , Versailles, Paris, 269 P.

Rao, A.C.S., Smith, J.L., Jandhyala, V.K., Papendick, R.I., Parr, J.F., 1993. Cultivar and climatic effects on the protein-content of soft white winter-wheat. *Agronomy Journal* 85, 1023-1028.

Prévost P, (2006) : Les bases de l'agriculture 3eme. EdLavoisier, 123p.

**R**

Radhouane L, Jamil Mellouli H (2007) Effet d'un stress hydrique sur les rendements de deux écotypes locaux de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Cahiers Agricultures. Vol 16, (1) 17- 22.

Rharrabti, Y., Villegas, D., Royo, C., Martos-Nunez, V., del Moral, L.F.G., 2003. Durum wheat quality in Mediterranean environments II. Influence of climatic variables and relationships between quality parameters. *Field Crops Research* 80, 133-140.

R Core Team.2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at [www.r-project.org](http://www.r-project.org).

Reynolds, M. P., Quilligan, E., Aggarwal, P. K., Bansal, K. C., Cavalieri, A. J., Chapman, S. C., ... & Jagadish, K. S. 2016. An integrated approach to maintaining cereal productivity under climate change. *Global Food Security*, 8 : 9–18.

Rezzoug w, Gabrielle B, Suleiman A, Benabdeli K .2008. Application and évaluation of the DSSAT wheat in the Tiaret région of Algeria. *Afr. j. Agric. Res.* 3:284-296.

Richards RA, Rebtzke GJ, Van Herwaarden AF, Dugganb BL, Condon A. (1997). Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture* ; 36 : 254-66

Riou C .1993. L'eau et la production végétale, *Revue Secheresse* , 4 : 75-83

Ritchie, J. Basso, B., T., Cammarano, D., & Sartori, L. 2011. A strategic and tactical management approach to select optimal N fertilizer rates for wheat in a spatially variable field. *European Journal of Agronomy*, 35(4) : 215-222.

Robinson, F.E., Cudney, D.W., Lehman, W.F., 1979. Nitrate Fertilizer Timing, Irrigation, Protein, and Yellow Berry in Durum-Wheat. *Agronomy Journal* 71, 304-308.

**S**

Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J.E., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., Reau, R., Doré, T., 2008. Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multicriteria decision-aid methods. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 28, 163-174.

Sahnoune, F., Belhamel, M., Zelmat, M., & Kerbachi, R.2013. Climate change in Algeria: vulnerability and strategy of mitigation and adaptation. *Energy Procedia*, 36 : 1286-1294.

Saadi S, Todorovic M, Tanasijevic L, Pereira LS, Pizzigalli C, Lionello P. 2015. Climate change and Mediterranean agriculture: impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. *Agricultural Water Management* 147: 103–115.

- Samson, M.-F. and Desclaux, D., 2006. Amélioration de la valeur technologique et commerciale du blé dur : vers une réduction des taux de moucheture et de mitadin. Colloque régional 21 juin 2006, Montpellier, 4 pages.
- Saxena, D. C., Prasad, S. S., Parashar, R., Rathi, I. 2016. Phenotypic characterization of specific adaptive physiological traits for heat tolerance in wheat. *Indian Journal of Plant Physiology*, 21(3) : 318–322.
- Schilling, J., Freier, K. P., Hertig, E., & Scheffran, J. 2012. Climate change, vulnerability and adaptation in North Africa with focus on Morocco. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 156 : 12-26.
- Sébillotte, M., Soler, L.-G., 1988. Le concept de modèle général et la compréhension du comportement de l'agriculteur. *Compte-rendu de l'Académie d'Agriculture de France* 74, 59-70.
- Seelan, S. K., Laguette, S., Casady, G. M., Seielstad, G. A. (2003). Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, ( 88), n° (1-2) : 157-169.
- Singh A. 2014. Conjunctive use of water resources for sustainable irrigated agriculture. *Journal of Hydrology* 519: 1688–1697. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.09.049.
- Smadhi, D., Mouhouche, B., Zella, L., & Semiani, M. 2009. Pluviométrie et céréaliculture dans le système agro-économique de l'Algérie. *Sciences & Technologie C*, (29) : 56-62.
- Smadhi D, Zella L. 2009. Céréaliculture en sec et précipitations annuelles : le cas de l'Algérie du Nord. *Sécheresse* 20 : 199-203.
- Smadhi, D., Zella, L., Semiani, M., Chabane, A., & Fedjer, Z. 2013. Evolution des cultures céréalières (1876-2011) en Algérie et perspective. *Recherche agronomiques*.
- Spagnoletti Zeuli, P. L., & Qualset, C. O. (1990). Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breeding*, 105(3), 189-202.
- Soltner D. 1988. Les bases de la production végétale. Ed. Collec. Sci et Tech. Agri., Paris, 566 p.
- Soltner, D. 2000. Phytotechnie générale : les bases de la production végétales. Tome 1 : le sol et son amélioration. Ed. collection sciences et techniques agricoles, 467 p.
- Smadhi D, Zella L. 2009. Céréaliculture en sec et précipitations annuelles : le cas de l'Algérie du Nord. *Sécheresse* 20 : 199-203.
- Sorrells ME, Diab A, Nachit M. 2000. Comparative genetics of drought tolerance. *Options Méditerranéennes série A* 40 : 191-201.
- STEWART P., 1969 – Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique. *Bull. Soc. Hist. Natu., Afr. Nord*, New York and London, T. 59, pp. 23 – 36.

T

Tahri E, Belabed A , Sadki K (1998) Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, 21 : 81-87

Tardieu, F., and Dreyer, E. 1997. Régulation des échanges gazeux par les plantes soumises à la sécheresse. In L'eau dans l'espace rural. Production végétale et qualité de l'eau. Éditions. Institut National de Recherche Agronomique : 41-59.

Thameur, A., Lachiheb, B., Ferchichi, A. 2012. Drought effect on growth, gas exchange and yield, in two strains of local barley Ardhauoui, under water deficit conditions in southern Tunisia. *Journal of Environmental Management*, 113: 495–500.

Thiault, J., & Crochon, M. (1977). Effets de l'irrigation sur la qualité des poires cv Doyennee du Comice. *Acta horticulturae*.

Tiercelin JR .1998. Traité d'irrigation. Ed. Paris: Lavoisier

Tittonell P. 2014. Ecological intensification of agriculture—sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 8: 53–61. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.006> .

Trouvat, J. L. 1997. Concepts de base de la gestion quantitative de la ressource en eau. Irrigation, outil de qualité et de régularité de la production agricole pour les marchés et les industries d'aval. Journées Techniques Nationales. AFEID–AGPM, 121-136.

W

Welsch R, Wüst F, Bär C, Al-Babili S et Beyer P (2008) A third phytoene synthase is devoted to abiotic stress-induced abscisic acid formation in Rice and defines functional diversification of phytoene synthase genes. *Plant physiology* 147: 367:380

Watts D, El Mourid M. 1988. Rainfall patterns and probabilities in the semi-arid cereal production region of Morocco. USAID Project n° : 608-0136. Settat : Aridoculture Center INRA.

Y

Younssi Houssam Eddine (2009). Epuisement de la nappe aquifère de la région de F'kirina (W. d'Oum El Bouaghi), et ces répercussions sur la gestion des ressources en eau. thèse de Magister.

Z

Zair M, 1994 :L'irrigation d'appoint et fertilisation azotée de blé dur .Céréaliculture N°24.

Zambujo C. (2011). Changement climatique : le blé dur malmené. www. Terrenet.fr

Zhang S, Sadras V, Chen X, Zhang F. 2014. Water use efficiency of dryland maize in the Loess Plateau of China in response to crop management. Field Crops Research 163: 55–63. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.04.003

Zucca, C., Hermassi, T., Ouessar, M., Frija, A., Dhehibi, B., Sghaier, M., et al.2015. Impacts of soil and water conservation techniques in Tunisia: Inventory of research works and studies. Food security and better livelihoods for rural dryland communities. Research program on Dryland systems. URL: <http://drylandsystems.cgiar.org/>

*Annexes*

**Annexe 1 : Tableau des données climatiques 2013-2016**

<b>Year</b>	<b>Month</b>	<b>T</b>	<b>TM</b>	<b>Tm</b>	<b>H</b>	<b>PP</b>	<b>VV</b>	<b>V</b>	<b>VM</b>	<b>RA</b>	<b>SN</b>	<b>TS</b>	<b>FG</b>
2013	Janvier	7,6	12	1,1	71	29,72	12	15	24	8	0	0	0
2013	Février	6,7	11	0,7	70	39,63	12	16	25	4	8	0	0
2013	Mars	13	18	5,4	60	24,89	12	15	26	4	2	0	1
2013	Avril	17	22	8,2	52	29,7	13	16	27	2	0	0	0
2013	Mai	19	25	9,8	51	18,03	13	15	26	2	0	4	2
2013	Juin	24	29	14	43	3,05	15	14	26	0	0	2	0
2013	Juillet	28	34	18	47	25,14	12	10	21	1	0	2	0
2013	Août	27	32	17	43	41,91	13	11	23	2	0	7	0
2013	Septembre	23	28	16	56	60,46	11	9,5	19	1	0	1	1
2013	Octobre	22	28	13	50	22,1	13	7	16	1	0	2	1
2013	Novembre	11	15	5,6	74	53,59	13	12	20	6	0	0	1
2013	Décembre	7,6	12	1,5	78	13,72	9,6	8,3	16	6	0	1	2
2014	Janvier	8,6	13	2,7	71	34,8	12	11	19	7	0	0	0
2014	Février	9,9	14	2,9	69	21,59	13	11	21	7	0	0	0
2014	Mars	9,3	13	3,9	75	101,9	9,9	14	23	14	1	1	2
2014	Avril	16	21	6,1	51	2,79	13	13	23	2	0	0	1
2014	Mai	20	25	10	49	48	14	13	24	3	0	4	0
2014	Juin	24	30	14	48	14,99	12	11	22	2	0	3	0
2014	Juillet	29	34	18	37	0	13	13	23	0	0	2	0
2014	Août	32	40	20	32	0	9,5	11	26	0	0	1	0
2014	Septembre	26	31	17	43	13,45	9,8	8,7	22	1	0	4	1
2014	Octobre	20	26	12	46	13,47	12	11	19	3	0	2	1
2014	Novembre	15	20	8,1	56	8,89	13	8,3	20	5	0	0	1
2014	Décembre	7,4	11	2,4	79	35,79	10	11	18	12	2	0	1
2015	Janvier	6,4	11	1	74	74,94	13	12	18	7	5	0	1
2015	Février	6,1	9,9	1,4	74	52,09	10	14	24	10	3	0	0
2015	Mars	11	16	3,6	62	24,88	11	11	22	2	2	0	0
2015	Avril	17	22	6,8	49	3,05	15	9,9	19	0	0	1	0
2015	Mai	22	27	12	44	9,9	12	13	24	3	0	1	0
2015	Juin	25	30	14	42	17,52	14	11	21	1	0	4	0
2015	Juillet	29	35	17	37	24,64	17	9,7	20	3	0	5	0
2015	Août	28	34	19	40	61,22	13	10	21	5	0	12	0
2015	Septembre	24	29	17	49	7,63	10	11	21	1	0	3	0

2015	Octobre	19	23	12	61	46,99	11	12	21	4	0	3	0
2015	Novembre	12	16	6	71	44,45	10	9,5	16	7	0	0	2
2015	Décembre	9,2	15	0,8	70	0,25	12	5,2	10	0	0	0	4
2016	Janvier	9,6	15	2,1	69	17,52	14	12	21	3	2	0	3
2016	Février	10	16	3,5	63	5,34	13	16	25	3	0	0	2
2016	Mars	12	16	3,8	57	28,43	13	17	27	6	0	1	1
2016	Avril	18	23	9,1	55	36,06	13	14	23	4	0	0	0
2016	Mai	21	18,6	11	49	25,15	14	15	25	5	0	5	1
2016	Juin	26	31	15	38	18,03	16	14	25	1	0	3	0
2016	Juillet	29	34	17	31	0	14	13	23	0	0	0	0
2016	Août	27	32	16	40	1,02	17	13	23	2	0	1	0
2016	Septembre	23	28	14	54	17,27	13	12	21	3	0	3	0
2016	Octobre	21	26	13	62	5,07	12	13	21	3	0	3	1
2016	Novembre	13	17	6,2	63	30,74	12	13	21	4	0	1	4
2016	Décembre	9,7	13	4,6	78	16,23	11	11	18	6	0	0	3

### Interprétation valeurs climatiques moyennes annuelles

**T** Température moyenne annuelle

**TM** Température maximale moyenne annuelle

**Tm** Température minimale moyenne annuelle

**PP** Précipitation totale annuelle de pluie et/ou neige fondue (mm)

**V** Vitesse moyenne annuelle du vent (Km/h)

**RA** Total jours de pluie durant l'année

**SN** Total jours de neige durant l'année

**TS** Total jours de tempête durant l'année

**FG** Total jours de brouillard durant l'année

**TN** Total jours de tornades ou nuages en entonnoir durant l'année

**GR** Total jours de grêle durant l'année

**Annexe 2 : Tableau des températures et précipitations moyenne mensuelle (2003-2016)**

<b>Prec</b>	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D
2003	68	52	28	73	26	9	18	0	19	43	32,5	39
2004	14,9	3,5	44,2	12,2	72,5	107	0	10	2	10	132	111
2005	14,5	43	16	25	3	12	7	14	16	3	12	39
2006	74	68	6	45	105	2	5	7	70	26	11	60,5
2007	11	16	73	27	26	118	0	0	28	13	0	19
2008	7	1	37	14	63	18	19	25	85	53	19	37
2009	82,5	11	51,4	131	35	0	6	3,5	63	19,5	2	9,5
2010	56	12,5	34,5	54	52,5	39,5	0	13	24	25	59	9
2011	4,5	77	36	42	73	25	0	0	4	0	16,5	27
2012	23	31	31	47	11	0	0	4	45	40	10	0
2013	71	69,5	60,3	52,1	50,6	42,6	47,2	42,5	55,7	49,8	73,9	77,7
2014	70,9	68,7	74,9	50,9	48,7	47,5	36,8	31,5	42,6	46,4	55,9	79,1
2015	74,4	73,8	61,6	49	44,1	41,5	36,9	40,1	49,1	61,2	71,3	69,8
2016	68,6	63,4	57,4	54,5	48,7	37,9	30,5	40,1	54,3	62,2	62,7	77,5

<b>Temp</b>	J	F	M	A	M	Jn	Jl	A	S	O	N	D
2003	8,35	6,9	9,07	11,89	19,49	25,14	27,74	19,55	16,31	21,01	10,73	6,23
2004	6,83	7,5	8,99	10,83	14,12	21,36	22,45	23,46	17,83	17,6	9,93	6,95
2005	2,85	2,51	9,35	14,55	20,54	25,95	29,62	27,8	24,2	22,46	22,46	17
2006	7,51	7,41	11,7	15,9	18,7	23,01	23,24	23,98	20,16	19,22	14,68	11,25
2007	7,76	9,71	14,48	12,15	22,67	23,04	26,23	29,11	21,65	15,85	8,89	6,85
2008	8,66	9,1	8,41	17	20,74	20,06	24,24	21,4	20,59	17,38	11,16	5,06
2009	4,19	4,05	9,43	14,95	18,24	23,05	27,64	25,03	21,46	19,88	16,96	13,13
2010	10,25	8,81	12,69	14,74	21,41	23,78	24,24	25,11	23,7	23,62	12,58	5,31
2011	6	4,78	7,88	10,43	21,41	27,78	29,75	29,95	23,38	18,38	13,16	5,88
2012	3,09	2,01	7,03	12,08	19,4	29,53	33,4	28,79	27,88	20,85	10,11	6,31
2013	7,6	6,7	13	16,7	19,3	23,9	28,3	26,8	23,2	21,8	11,1	7,6
2014	8,6	9,9	9,3	15,8	19,9	24,4	28,9	31,9	25,7	20,2	14,8	7,4
2015	6,4	6,1	10,9	16,6	21,6	24,7	29,2	28	23,8	18,6	12,4	9,2
2016	9,6	10,4	11,5	17,6	20,8	25,7	28,6	26,8	22,5	20,8	13	9,7

### Annexe 3 : Méthodes analyses du sol de la plaine de F'kirina

➤ Analyse Granulométrique

L'analyse granulométrique permet en classant les sols d'après leurs textures , de définir les possibilités d'adaptation des cultures sur les différents sols ( vocation culturale ) . (pipette ROBINSON)

➤ Dosage du calcaire total :

Méthode volumétrique ( la + précise )

➤ Dosage du calcaire total :

Méthode gazométrique ( calcimètre de BERNARD )

➤ -Mesure du pH dans les sols : (méthode électrométrique à l'électrode de verre ) :

le pH , facteur important du sol , peut jouer sur la solubilisation des éléments du sol , sur leur absorption par les plantes mais aussi sur les caractéristiques physiques du sol ( macroporosité , perméabilité , stabilité ... ) . de plus il conditionne l'évolution du sol ( activité biologique ) .

➤ La conductivité électrique

la conductivité d'un liquide est fonction de sa concentration en électrolytes . en pratiquant des extraits aqueux de sols, la mesure de la conductivité permet d'obtenir rapidement une estimation de la teneur globale en sel dissous . ( pour sol salé et à taux de fertilisation élevé ) ( surtout chlorures ) . analyse préalable importante car les fortes salinités impliquent des méthodes d'analyse différentes ( bases échangeables ) .

➤ Cation échangeables et capacité d'échange

L'échange d'ions est un phénomène d'équilibre entre les ions déjà fixés par le complexe colloïdal du sol et ceux de la solution d'échange . pour que cette réaction soit complète , il faut que l'équilibre soit sans cesse renouvelé avec de la solution d'échange fraîche . c'est la technique par percolation qui est la plus efficace . les ions dosés sont exprimés en méq / 100 g de terre sèche ou en ppm .

➤ Dosage du phosphore assimilable

Méthode de Joret-Hebert

➤ Dosage de l'azote total

Méthode kjeldahl

**Annexe 4: 1-Les profils décrits et analysés****1.1- Les sols peu évolués d'apport alluvial****Profil 2****Localisation :**

x : 07°21'51.12'' E

y : 35°43'5.16'' N

z : 899.99 m

Matériau parental : alluvions

Pente : 0-2%

Charge en cailloux : - 1 %

Végétation : céréales

Drainage : moyen à faible

Date : 17 / 04 / 2013

Classification : Sol peu évolué, d'origine non climatique, d'apport alluvial, modal.

**Horizon A : 0 – 35 cm**

Brun (10YR 5/3) état frais, texture limoneuse , structure polyédrique fine à moyenne ,charge en cailloux très faible( -1 %), forte effervescence à l'HCl , très nombreuses racines fines, bonne porosité fine à moyenne , friable, bonne répartition de la matière organique , transition diffuse , échantillon P3H1.

**Horizon AC : 35 - 70 cm**

Brun jaunâtre (10YR 5/4) état frais, texture limoneuse, structure grossière à massive, charge en cailloux très faible (-1 %), forte effervescence à l'HCl , nombreuses racines fines, faible porosité fine à moyenne , peu de matière organique , transition diffuse, échantillon P3H2.

**Horizon C: 70 - 140 cm**

Brun foncé jaunâtre (10YR 4/4) état frais, texture limoneuse , structure massive, charge en cailloux faible(-1 %), forte effervescence à l'HCl , très peu de racines , faible porosité moyenne , échantillon P3H3.

<b>Echantillon P2</b>			
<b>paramètres</b>	<b>Horizon 1</b>	<b>Horizon2</b>	<b>Horizon3</b>
<b>Profondeur (cm)</b>	0-35	35-70	<b>70-140</b>
<b>Granulométrie</b>			
<b>Argile %</b>	25	17	<b>25</b>
<b>Limon Fin %</b>	27	27	<b>35</b>
<b>Limon Grossier %</b>	25	18	<b>15</b>
<b>Sable Fin %</b>	20	30	<b>18</b>
<b>Sable Grossier %</b>	0	3	<b>2</b>
<b>Réserves Minérales</b>			
<b>Calcaire actif %</b>	14.1	14.7	<b>13.7</b>
<b>Calcaire total %</b>	37.24	26.6	<b>21.28</b>
<b>Solution de Sol</b>			
<b>PH eau en 1/5</b>	8.7	8.7	<b>8.8</b>
<b>CE mmhos/cm</b>	0.3	0.5	<b>0.7</b>
<b>Matière Organique</b>			
<b>Carbone %</b>	12.6	9.7	<b>8.5</b>
<b>Matière organique %</b>	2.167	1.668	<b>1.462</b>
<b>Azote total %<sup>o</sup></b>	1.30	1.05	<b>0.86</b>
<b>C/N</b>	10	9	<b>10</b>
<b>Complexe Absorbant</b>			
<b>Ca++ en méq /100g</b>	40.08	42.10	<b>47.26</b>
<b>Mg++ en méq /100g</b>	4.29	5.51	<b>7.87</b>
<b>K+ en méq /100g</b>	0.00	0.00	<b>5.73</b>
<b>Na+ en méq /100g</b>	0.00	0.03	<b>3.61</b>
<b>CEC en méq /100g</b>	<b>40.51</b>	<b>50.74</b>	<b>49.60</b>

**1.2- Les sols peu évolués d'apport colluvial.****Profil 12****Localisation :**

x : 07°34'19.9'' E

y : 35°42'14.76'' N

z : 935.65 m

Matériau parental : alluvions

Pente : 0-2%

Charge en cailloux : 20-25%

Végétation : céréaliculture

Drainage : moyen à faible

Date : 1 /7 04 / 2013

Classification : Les sols peu évolués d'apport colluvial

**Horizon 1 : 0 – 30 cm**

Brun jaunâtre (10YR 5/4) état sec, texture limoneuse, structure polyédrique fine à moyenne, charge en cailloux de 5 à 10 %, forte effervescence à l'HCl , très nombreuses racines fines, bonne porosité fine à moyenne , bonne répartition de la matière organique , transition graduelle , échantillon P12H1.

**Horizon 2 : 30 -90 cm**

Brun très pâle (10YR7/4) état sec, texture limoneuse, structure polyédrique moyenne, charge en cailloux très forte( 50-60 %) de tous les calibres, forte effervescence à l'HCl , peu nombreuses racines fines, forte porosité fine à moyenne , friable , peu de matière organique , transition graduelle, échantillon P12H2.

**Horizon 3 : 90 cm et plus**

Croûte calcaire.

<b>Echantillon P12</b>	<b>Horizon 1</b>	<b>Horizon2</b>
<b>paramètres</b>		
<b>Profondeur (cm)</b>	0-30	30-90
<b>Granulométrie</b>		
<b>Argile %</b>	20	23
<b>Limon Fin %</b>	39	32
<b>Limon Grossier %</b>	18	23
<b>Sable Fin %</b>	15	20
<b>Sable Grossier %</b>	02	01
<b>Réserves Minérales</b>		
<b>Calcaire actif %</b>	08.9	16.4
<b>Calcaire total %</b>	22	36.55
<b>Solution de Sol</b>		
<b>PH eau en 1/5</b>	8.7	8.9
<b>CE mmhos/cm</b>	0.4	0.3
<b>Matière Organique</b>		
<b>Carbone %</b>	7.1	7.9
<b>Matière organique %</b>	1.441	0.89
<b>Azote total %°</b>	0.66	0.58
<b>C/N</b>	11	13.6
<b>Complexe Absorbant</b>		
<b>Ca++ en méq /100g</b>	59.4	42.65
<b>Mg++ en méq /100g</b>	2.51	5.99
<b>K+ en méq /100g</b>	0.47	0.18
<b>Na+ en méq /100g</b>	0.00	0.16
<b>CEC en méq /100g</b>	<b>25.99</b>	<b>34.97</b>

**1.3- Sol halomorphe modérément salin à encroutement saline.****Profil P9****Localisation :**

x : 07°17'53.16'' E

y : 35° 37'21'' N

z : 856.4 m

Matériau parental : Quaternaire ancien

Pente : 2-4%

Charge en cailloux : Eléments grossiers de 5 à 15% de cailloux et graviers

Végétation : Parcours de plantes halophiles

Date : 18 / 04 / 2013

Classification : Sol halomorphe modérément salin à encroutement saline.

**Horizon 1 : 0 – 35 cm**

Sec, brun foncé (10YR 3/3), texture limono-sablo-argileuse, structure fragmentaire à perpendiculaire, matière organique décelable, vive effervescence à l'HCl , très nombreuses racines fines, poreux, friable, débris végétaux , calcaire diffus , transition graduelle. échantillon P9H1.

**Horizon 2 : 35 - 90 cm**

Brun (10YR 5/4) état sec, texture limono-argileuse, structure polyédrique fine à moyenne, charge en cailloux ( <3 %), forte effervescence à l'HCl , nombreuses racines fines, peu poreux , matière organique décelable , calcaire diffus, échantillon P9H2.

<b>Echantillon P9</b>		
<b>paramètres</b>	<b>Horizon 1</b>	<b>Horizon2</b>
<b>Profondeur (cm)</b>	0-35	35-90
<b>Granulométrie</b>		
<b>Argile %</b>	23	30
<b>Limon Fin %</b>	20	20
<b>Limon Grossier %</b>	30	20
<b>Sable Fin %</b>	31	10
<b>Sable Grossier %</b>	11	05
<b>Réserves Minérales</b>		
<b>Calcaire actif %</b>	14.2	14
<b>Calcaire total %</b>	25.2	26.9
<b>Solution de Sol</b>		
<b>PH eau en 1/5</b>	7.95	8.1
<b>CE mms/cm</b>	4.7	5.2
<b>Matière Organique</b>		
<b>Carbone %</b>	1.28	0.16
<b>Matière organique %</b>	2.11	0.29
<b>Azote total %°</b>	0.70	0.22
<b>C/N</b>	18.28	7.27
<b>Complexe Absorbant</b>		
<b>Ca++ en méq /100g</b>	3.61	9.81
<b>Mg++ en méq /100g</b>	1.44	3.10
<b>K+ en méq /100g</b>	0.91	0.82
<b>Na+ en méq /100g</b>	1.04	1.6
<b>CEC en méq /100g</b>	<b>11.32</b>	<b>21.64</b>

#### **1.4. Les sols Calcimagnésiques : Les Rendzines**

##### **Profil 18**

##### **Localisation :**

x : 07°29'57.12'' E

y : 35°37'35.04'' N

z : 931.05 m

Matériau parental : marnes

Pente : 1-3%

Charge en cailloux : 3-6 %

Végétation : jachère

Drainage : moyen

Date : 17 / 04 / 2013

Classification :

##### **Horizon 1 : 0 – 30 cm**

Sec, Brun clair, texture limono-argilo-sableuse, structure grumuleuse ,éléments grossiers très faible(5-7%), forte effervescence à l'HCl , racines fines moyenne, poreux, matière organique décelable , transition nette .

##### **Horizon 2 : 30 - 60 cm**

Sec, brun ocre, texture limono-argileuse, structure grumuleuse à polyédrique subngulaire fine, éléments grossiers très faible, calcaire diffus, vive effervescence à l'HCl .

##### **Horizon 3: >60 cm**

Encroutement calcaire , forte effervescence à l'HCl .

Echantillon P18	Horizon 1	Horizon2	Horizon3
paramètres			
Profondeur (cm)	0-30	30-60	➤ 60cm
<b>Granulométrie</b>			
Argile %	33.12	22.74	
Limon Fin %	18.22	32.71	<b>Encrouement calcaire.</b>
Limon Grossier %	6.44	06.15	
Sable Fin %	22.7	32.15	
Sable Grossier %	21.12	4.84	
<b>Réserves Minérales</b>			
Calcaire actif %	16	17	
Calcaire total %	35	43	
<b>Solution de Sol</b>			
PH eau en 1/5	8.2	8.3	
CE mms/cm	0.44	0.76	
<b>Matière Organique</b>			
Carbone %°	5.65	5.75	
Matière organique %°	0.98	1.01	
Azote total %°	0.95	0.86	
C/N	6	6.68	
<b>Complexe Absorbant</b>			
Ca++ en méq /100g	7.50	10.97	
Mg++ en méq /100g	1.77	2.18	
K+ en méq /100g	0.45	1.05	
Na+ en méq /100g	1.67	2.89	
CEC en méq /100g	<b>19.53</b>	<b>26.09</b>	

## **2-Les profils décrits**

### **2.1-Les sols Isohumiques marron modal**

#### **Profil P3**

##### **Localisation :**

x : 07°20'12.12'' E

y : 35°41'26.52'' N

z : 875.99 m

Lithologie : Quaternaire ancien

Pente : 0-2%

Charge en cailloux : moyenne 5-9%

Végétation : Jacher

Drainage : moyen

Date : 17 / 04 / 2013

Classification : Sol isohumique marron modal

#### **Horizon 1 : 0 –28 cm**

Marron, texture limono-argileuse, structure grumuleuse, charge en cailloux faible(1-3%),effervescence à l'HCl , racines fines myenne, matière organique décelable , transition graduelle.

#### **Horizon2 : 28 -60cm**

Brun foncé, texture limono-argileuse, structure polyédrique moyenne, charge en cailloux faible( <2%), moyennement compact,calcaire diffus, effervescence à l'HCl , nombreuses moyennement décelble, , transition graduelle.

#### **Horizon3 : 60- 110cm**

Brun jaunatre, texture limono-argileuse, structure polyedrique moyenne, compact, cailloux de 4-8%, cacaire diffus, vive effervescence à l'HCL.

**Profil P16****Localisation :**

x : 07°20'37.32'' E

y : 35°40'36.84'' N

z : 871.2 m

Lithologie : Quaternaire ancien

Pente : Plaine

Charge en cailloux : Eléments grossiers 2-4%

Végétation : Terre labourée

Drainage : moyen

Date : 17 / 04 / 2013

Classification : Sol isohumique marron modal

**Horizon 1 : 0 –35 cm**

Marron, texture limono-sablo-argileuse, structure grumuleuse, calcaire diffus, effervescence à l'HCl, activité biologique bonne, racines fines, matière organique décelable, transition nette.

**Horizon2 : 35 -80cm**

Brun foncé, texture limono-argileuse, structure polyédrique subangulaire grossière, racines fines, matière organique décelable, débris organiques, calcaire diffus, effervescence à l'HCl, activité biologique faible, transition graduelle.

**Horizon3 : 80- 120cm**

Brun claire à jaune, texture limono-sableuse, éléments grossier stratifiés structure fragmentaire, calcaire diffus, vive effervescence à l'HCL.

**Profil P13****Localisation :**

x : 07°21'37.08'' E

y : 35°35'42'' N

z : 888.53 m

**Profil P14****Localisation :**

x : 07°28'41.88'' E

y : 35° 37'42.96'' N

z : 926.4 m

**Profil P10****Localisation :**

x : 07°20'17.16'' E

y : 35°36'54.72'' N

z : 866 m

**2- Sol isohumiques marron à encroûtement calcaire.****Profil 7****Localisation :**

x : 07°22'16.32'' E

y : 35°41'38.04'' N

z : 896.19 m

Matériau parental : Marnes

Pente : 0-2%

Charge en cailloux : - 5 %

Végétation : céréales

Date : 218/ 04 / 2013

Classification : Sol isohumiques marron à encroûtement calcaire.

**Horizon 1 : 0 – 30 cm**

Brun (10YR 5/4) état frais, texture limoneuse , structure polyédrique moyenne, charge en cailloux très faible( -2 %), forte effervescence à l'HCl ,quelques fentes de retrait , très nombreuses racines fines, bonne porosité fine à moyenne , compact, bonne répartition de la matière organique , transition diffuse , échantillon P5H1.

**Horizon 2 : 30 - 55 cm**

Brun jaunâtre foncé (10YR 4/4) état frais, texture limoneuse , structure polyédrique grossière, charge en cailloux faible( 2-3 %), forte effervescence à l'HCl , nombreuses racines

fines, bonne porosité fine à moyenne , peu de matière organique , transition diffuse, échantillon P5H2.

### **Horizon 3 : 30 - 110 cm**

Brun jaunâtre (10YR 5/6) état frais, texture limono-argileuse , structure massive, charge en cailloux forte( 10-15 %), forte effervescence à l'HCl , très peu de racines , faible porosité moyenne , compact, apparition en bas de l'horizon d'une croûte calcaire , échantillon P3H3

### **3 -Les sols Calcimagnésiques : Les Rendzines**

#### **Profil 15**

#### **Localisation :**

x : 07°29'6.36'' E

y : 35°40'36.84'' N

z : 871.2 m

Lithologie : Marne

Pente : 2-4 %

Charge en cailloux : charge en surface de 5- 10 % cailloux et graviers

Végétation : rien

Drainage : moyen à faible

Date : 17 / 04 / 2013

Classification : Sol Calcimagnésique-Rendzine

### **Horizon 1 : 0 – 25 cm**

Sec, brun, texture limono-argileuse , structure grumuleuse, éléments grossiers de 5-7% de cailloux et graviers, forte effervescence à l'HCl ,racines fines, poreux, friable, bonne activité biologique , transition nette.

### **Horizon 2 : 25 - 80 cm**

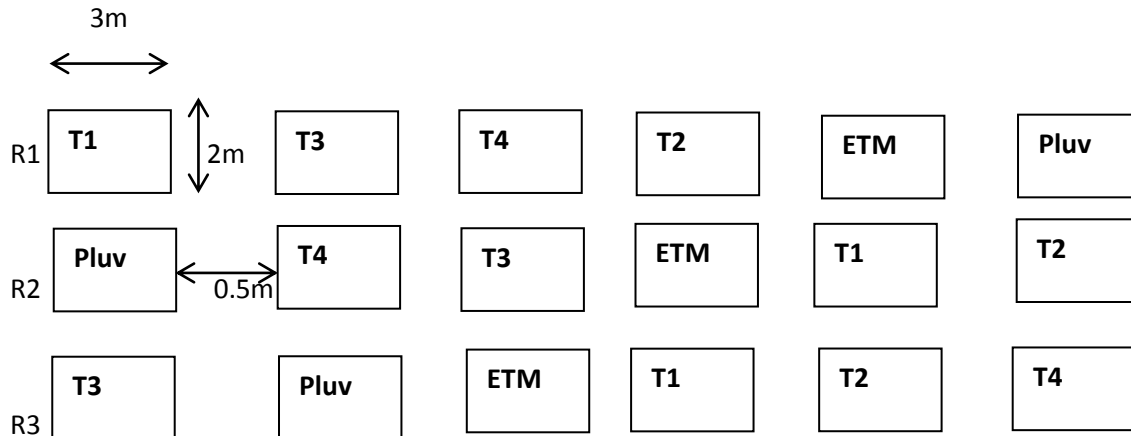
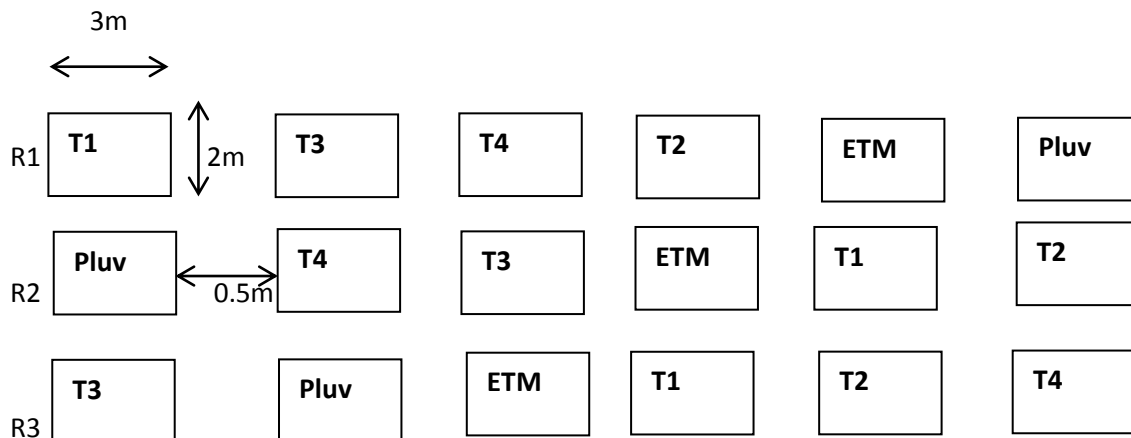
Sec, brun, texture limono-argileuse, structure polyédrique, charge en cailloux très forte ( 10-15 %), forte effervescence à l'HCl ,racines fines , bonne activité biologique , matière organique décelable , transition graduelle.

### **Horizon 3: >80 cm**

Croute calcaire blanchâtre, très forte effervescence à l'HCL.

**Annexe 5 : Dispositif de l'essai est représenté par le schéma suivant :**

Chaque bloc contenait trois micro-parcelles correspondant aux deux variétés étudiées. Par conséquent, avec un total de dix-huit micro-parcelles pour chaque variété, soit 36 parcelles élémentaires pour l'ensemble du dispositif par campagne.

**Variété : Vitron****Variété : GTA Dur**

T1 : une irrigation à la phase tallage.

T2 : une irrigation à la phase montaison.

T3 : une irrigation à la phase floraison.

T4 : une irrigation à la phase grossissement du grain

Pluv : régime sans irrigation ou pluvial.

ETM : régime sans restriction hydrique.

R : répétitions (Chaque traitement est répété trois fois).

$RFU = 3 \times (H_{cc} - H_{pf}) \times D_{ax} \times H$

ETR :

Si  $P > ETP \rightarrow ETR = ETP$

Si  $P < ETP \rightarrow ETR = P + RFU$



**Annexe 6 :** Tableau des valeurs mensuelles pour l'évapotranspiration de référence (ET<sub>0</sub>), réserve facilement utilisable (RFU), coefficient culturel (K<sub>c</sub>), évapotranspiration culturelle maximale (ETM), déficit pluviométrique (DH), précipitations utiles à apporter aux plantes (bilan hydrique) des deux années de récolte dans la région d'Oum-El-Bouaghi, dans le nord-est de l'Algérie

Paramètres	Année de récolte	Stades Végétaifs							
		Octobre	Decembre (Semi)	Levée-Tallage	Tallage-Montaison	Montaison Epiaison	Epiaison Floraison	Floraison Maturité	Maturité-Récolte
Précipitation [mm]	2014–2015	13.5	59.5	40	62	57.5	01	1.2	20
	2015–2016	42	01	46	52	50	03	21	08
Pluie Utile: PU [mm]	2014–2015	12.52	53.75	37	55.7	51.87	01	20	08
	2015–2016	38.7	01	42.1	47.2	45.5	3	20.85	08
K <sub>c</sub>	—	0.70	0.85	1.05	1.10	1.20	1.20	0.20	0.20
ET <sub>0</sub> [mm]	2014–2015	53	28.00	20.94	22.33	35.90	137.55	293.10	228.30
	2015–2016	33.3	12.30	18.80	31.20	71.60	152.10	142.60	134.20
ETM [mm]	2014–2015	37.1	23.80	21.99	24.56	43.08	165.06	58.62	45.66
	2015–2016	23.31	10.46	19.74	34.32	85.92	182.5	28.52	26.84
Déficit Pluviométrique DP [mm]=ETM-PU	2014–2015		-29.77	-15.12	-31.14	-08.80	164.06	38.62	37.66
	2015–2016		08.06	-22.36	-12.88	40.42	179.52	07.67	18.84
Profondeur d'enracinement: H [m]	2014–2015	-	-	0.25	0.4	0.7	01	01.2	01.2
	2015–2016	-	-	0.21	0.38	0.9	01.3	01.4	01.4
Stock au début de la période RFU (mm) x H(m)	2014–2015		-	13.5	21.6	37.8	54	64.8	64.8
	2015–2016		-	11.35	20.52	48.6	70.2	75.6	75.6
Calcul du nombre dose d'arrosage n= Da/RFU	2014–2015			-1.12	-1.44	-0.23	3.03	0.6	0.6
	2015–2016			-1.97	-0.62	0.83	2.55	0.1	0.24
Nombre d'arrosage choisi N	2014–2015					0	3 doses de	½ dose	½ dose
	2015–2016					1 dose	2 doses + ½ dose	0	0

Annexe 7 : Les photos



Photo prise par FELLAH S

**Sols halomorphes**



Photo prise par FELLAH S

**Sol Isohumique**



Photo prise par FELLAH S

**Sols Isohumiques à encroutement calcaire**



Photo prise par FELLAH S



**Sol peu évolué d'apport alluvial**



**Sol isohumique marron modal.**

FELLAH S

Photo prise par FELLAH S



Photo prise par FELLAH S

### Puits de l'exploitation



Photo prise par FELLAH S

### Forage de l'exploitation



Photo prise par FELLAH S



Photo prise par FELLAH S

**Stade de montaison**



Photo prise par FELLAH S



Photo prise par FELLAH S

**Stade d'épiaison**



Photo prise par FELLAH S

**Stade de maturation**



Photo prise par FELLAH S