



DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Pour l'obtention du diplôme de

Master en AGRONOMIE

Spécialité

GESTION DURABLE DE L'ENVIRONNEMENT

Thème

**L'effet de l'irrigation par l'eau magnétisée sur trois
cultures (L'orge, la fève et l'haricot)**

Présenté par

ABDELNEBI Abdelkarim

Devant le Jury

NOM Prénoms	Grade	Qualité	Structure
BENKHELIFA Mohammed	Pr	Président	Université de Mostaganem
GACEM Farid	CR	Encadreur	Université de Mostaganem
NEMMICHE Said	Dr	Examineur	Université de Mostaganem
KRADIA Laid	CR	Co-encadreur	INSID, El Matmar, Relizane

**Thème réalisé au laboratoire régional ouest des analyses des sols et de l'eau
(INSID)**

Année universitaire : 2016-2017

Remerciements

*En premier lieu je tiens à remercier le **BON DIEU** qui m'a donné le courage pour accomplir ce modeste travail.*

Au terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer ma profonde reconnaissance et ma gratitude aux personnes qui ont contribué à faciliter ma tâche et la mener à bien.

*Mes remerciements vont d'abord à mon directeur de mémoire, **Mr. GACEM. F**, directeur du Laboratoire régional Ouest d'analyses des sols et des eaux d'irrigation, INSID, El Matmar (Wilaya de Relizane), de m'avoir confié ce travail, pour son soutien et l'aide qu'il m'a apportée au cours de ce mémoire sans son appui je n'aurai pu mener à bien ce travail.*

*A **Mr. KRADIA Laid**, Ingénieur principal au sein du Laboratoire régional Ouest d'analyses des sols et des eaux d'irrigation, INSID, et Co- encadreur de ce modeste travail pour son soutien, ses orientations, ses remarques fructueuses et d'avoir eu l'amabilité d'accepter de jurer ce travail. Qu'il trouve ici ma profonde gratitude.*

*A **Mr. BENKHELIFA. M**, professeur au département d'agronomie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem), qui a bien voulu présider mon jury. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.*

*A **Mr. NEMICHE. S**, Dr au département d'agronomie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem), pour avoir bien accepté d'examiner mon travail.*

Mes vifs remerciements vont aussi à tous les enseignants de la faculté des sciences exacte et sciences de la nature et de la vie et tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce mémoire.

J'adresse aussi mes remerciements à mes collègues du laboratoire ouest de l'INSID El Matmar, Relizane pour leur aide et soutien, ce qui a permis la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ma mère, ma source de tendresse et de courage.

A mon père, que dieu le protège, mon frère, ma sœur, mes oncles et toute la famille ABDELNEBI.

A mes collègues du laboratoire ouest de l'INSID El Matmar

A tous mes collègues de Master II Gestion durable de l'environnement 2016/2017.

A tous ce qui est connait et aime Abdelkarim de près ou de loin.

ABDELNEBI Abdelkarim

Sommaire

Sommaire

INTRODUCTION.....	01
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I : la salinité	03
1. Définition	03
1.2 Salinisation primaire	03
1.3 Salinisation secondaire	04
1.4 Cause et effet de la salinisation	04
1.5 Rapport entre la salinité du sol et celle de l'eau d'irrigation	04
1.6 Effet de salinité sur les plantes	05
1.6.1 Effet de la salinité sur la germination et la levée	05
1.6.2 Effet de la salinité sur la morphologie de la plante	06
a. Effet de la salinité sur l'architecture de la plante	06
b. Effet de la salinité sur la partie aérienne	06
c. Effet de la salinité sur la partie racinaire	06
1.6.3 Action des sels sur la croissance et le développement	06
1.6.4 Impacts de la salinité sur l'eau dans la plante	07
1.6.5 Sur l'anatomie des feuilles	07
1.6.6 Sur la photosynthèse	07
1.6.7 Sur les lipides	07
1.6.8 Sur l'absorption minérale	08
1.6.9 Effet de la salinité sur les enzymes antioxydants	08
1.6.10 Effet de la salinité sur les glycophytes et les halophytes	09
1.7 Tolérance des plantes à la salinité	10
1.7.1 Régulation ionique et compartimentation	10
1.7.2 Accumulation de proline	11
1.7.3 Autres modes de tolérance à la salinité	12
1.7.4 Mécanisme de tolérance vis-à-vis la salinité	13
L'exclusion	13
L'inclusion	13
CHAPITRE II :L'eau magnétisée	15
1. L'eau, principal constituant des êtres vivants	15
2. Des eaux qui agissent sur le processus vivant	15

Sommaire

2.1 Les pluies d'orage	16
2.2 L'exposition au soleil	16
3. L'eau magnétisée	16
3.1 Définition	16
3.2 Les principes de l'eau magnétisée	17
3.3 Les propriétés de l'eau magnétisée	18
3.4 Les effets de l'eau magnétisée	18
3.4.1 Les effets sur l'organisme humain	19
3.4.2 Les effets sur la Salinité du sol et la perméabilité.....	19
3.4.3 Les effets sur les plantes.....	20
a. Amélioration de la germination des graines	20
b. Amélioration de l'augmentation du rendement des cultures.....	20
c. Autres effets de l'eau magnétisée	20
CHAPITRE III : Légumineuses et Céréales	22
1. Les légumineuses	22
1.1 Présentation générale des légumineuses	22
1.2 Principales caractéristiques des légumineuses	22
1.3 Les légumineuses et la salinité	23
1.3.1 Les espèces étudiées	23
1.3.1.1 Haricot <i>Phaseolus vulgaris</i> L.....	23
a. Origine.....	23
b. Classification.....	24
c. Caractéristiques botaniques de l'espèce.....	24
d. Ecologie du haricot.....	25
e. Valeur alimentaire.....	25
f. Production et importance du haricot.....	25
1.3.1.2 La fève <i>Vicia faba</i> L.....	26
a. Origine et répartition géographique et écologie.....	26
b. Classification systématique.....	26
c. Aspect et particularités.....	27
d. Intérêt écotoxicologique.....	27
e. Intérêt économique.....	28
f. Valeur nutritive de la fève.....	28

Sommaire

1.4 Les céréales	29
1.4.1 Origine et historique de la céréaliculture	29
1.4.2 Tolérance des céréales à la salinité	30
1.4.3 L'espèce étudiée : l'orge <i>Hordeum vulgare</i> L.	30
1.4.3.1 Origine géographique et génétique	30
1.4.3.2 Classification de l'orge	30
1.4.3.3 Caractéristiques botaniques	31
a. Appareil végétatif	31
b. Inflorescence	32
c. Fruit	32
1.4.3.4 Exigences agro-écologiques de l'orge	33
1.4.3.5 Objectifs et critères de sélection de l'orge	33
1.4.3.6 Valeur alimentaire de l'orge	34

DEUXIEME PARTIE : EXPERIMENTATION

CHAPITRE IV : Matériels et méthodes	35
1. Localisation du site expérimental	35
2. Caractéristiques climatiques du site expérimental	35
3. Préparation de substrat de culture	36
4. Paramètres physicochimiques du sol étudié	37
4.1 La Granulométrie	37
4.2 Le pH-eau	37
4.3 La Conductivité électrique de l'extrait dilué ($CE_d1/5$)	37
4.4 La Conductivité électrique de la pâte saturée (CE_{ps})	37
4.5 Le Calcaire total	38
4.6 Les Bases échangeables	38
4.7 Les Sels solubles	38
4.8 La capacité d'échange cationique (CEC)	38
5. L'Hydro-magnétiseur	39
5.1 Protocole expérimental de la magnétisation de l'eau « Delta Water »	39
5.2 Caractérisation physicochimique de l'eau d'irrigation	39
5.2.1 Mesure du pH	40
5.2.2 Mesure de la conductivité électrique	40
6. Matériel végétal	41

Sommaire

6.1 Choix de l'espèce végétale	41
6.2 Le semis	41
6.3 Dose d'irrigation appliquée	41
7. Paramètres mesurés	42
7.1 La germination des graines	42
a. Le taux de germination	42
b. La durée de germination	42
c. Temps Moyen de Germination	42
7.2 Paramètres morphologiques	43
a. Mesure de la partie aérienne et souterraine	43
b. Mesure du poids sec de la partie aérienne et souterraine	43
c. Surface foliaire	43
d. Calcul du nombre des feuilles.....	43
7.3 Paramètres physiologiques	43
a. Dosage de la chlorophylle	43
b. Dosage de proline	44
7.4 Paramètres hydriques	44
- Teneur en eau relative	44
7.5. Extraction et dosage chimique de la plante	45
7.5.1. Extraction des éléments minéraux de la plante	45
7.5.2. Dosage des éléments minéraux de la plante	45
a. Dosage du sodium et du potassium par le spectrophotomètre à flamme	45
b. le sodium.....	45
c. le potassium	45
7.6 Analyse statistique.....	46
CHAPITRE V : Résultats et discussions	
1. Estimation de l'efficacité de l'appareil de magnétisation : Delta Water	48
1.1 Etude physico-chimique des eaux utilisées	48
1.2 Evolution de la conductivité électrique et du pH de l'eau d'irrigation	49
1.3 Evolution de la conductivité électrique et du pH de l'eau de drainage.....	50
1.3.1 Evolution du pH de l'eau de drainage	50
1.3.2 Evolution de la conductivité électrique	51
2. Caractérisation physico-chimique du sol avant et après l'irrigation par l'eau magnétisée	52

Sommaire

2.1 Caractérisation physico-chimique du sol avant l'irrigation.....	52
2.2 Caractérisation physico-chimique du sol après l'irrigation.....	53
3. Action de l'eau magnétisée sur les caractéristiques morphologiques et physiologiques des plantes.....	54
3.1 Effet de la magnétisation de l'eau sur la germination.....	54
3.1.1 Taux de germination (TG).....	54
3.1.2 Durée de germination (DG).....	55
3.1.3 Temps Moyen de Germination (TMG).....	56
3.2 Effets de la magnétisation de l'eau sur les caractéristiques morphologiques des plantes.....	57
3.2.1 Le nombre des feuilles (NF).....	57
3.2.2 La longueur de la tige (LPA).....	58
3.2.3 La longueur de la racine (LPR).....	60
3.2.4 La biomasse fraîche de la partie aérienne (BPA).....	61
3.2.5 La biomasse fraîche des racines (BPR).....	61
3.2.6 Le Poids sec de la partie aérienne (PSA).....	62
3.2.7 Poids sec de la partie racinaire (PSR).....	63
3.2.8 La Surface foliaire (SF).....	64
3.3 Effets de la magnétisation de l'eau sur les caractéristiques physiologiques des plants	64
3.3.1 Teneur en chlorophylles (Chl (a+b)).....	64
3.3.2 Accumulation de la proline.....	66
3.4 Effets de la magnétisation de l'eau sur les caractéristiques hydriques des plants....	67
3.4.1 Teneur en eau relative.....	67
3.5 Effets de la magnétisation de l'eau sur les caractéristiques chimiques des plants....	68
3.5.1 Bilan minéral du sodium et du potassium dans la plante (Partie aérienne et racines)	68
3.5.1.1 La teneur en sodium dans la partie aérienne.....	68
3.5.1.2 La teneur en Sodium dans les racines.....	69
3.5.1.3 La teneur en potassium dans la partie aérienne.....	70
3.5.1.4 La teneur en potassium dans les racines.....	71
Conclusion générale	72
Références bibliographiques	74
Annexes	86

ملخص

نعلم أن ندرة الموارد المائية منخفضة الملوحة هي مشكلة رئيسية في الجزائر. علما أنه غالبية مياه الري في المناطق الجافة وشبه الجافة في الجزائر هي ذات مصدر المياه الجوفية. وغالبا تكون طبقات المياه الجوفية مالحة تتجاوز عموما ملوحتها (2.25 dS/m).

للتغلب على هذه المشكلة تم ابتكار تقنية جديدة تقوم على مغنطة المياه، هذه التقنية يمكن أن تكون حل مثالي من أجل تميم هذه المياه في مجال الزراعة.

يهدف هذا العمل إلى تميم استعمال المياه المالحة في الزراعة بعد مغنطتها. وذلك بتسليط الضوء على تأثير المياه المغنطة على مختلف مكونات البيئة، بما في ذلك الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة. صرف المياه والسلوك الفيزيائي، المورفولوجي، والكيميائي للأصناف النباتية التي شملتها الدراسة [الفاصولياء (*Vicia faba* L)، الفاصولياء (*Phaseolus vulgaris* L)، والشعير (*hordeum vulgaris* L)].

نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية للمياه المستخدمة في التجربة، وذلك قبل وبعد المغنطة أظهرت أن مغنطت هذه المياه أدت إلى زيادة طفيفة في درجة الحموضة وانخفاض طفيف في التوصيل الكهربائي.

أظهرت نتائج التجارب التي أجريت على ثلاثة أنواع من النباتات، مغروسة في أواني بلاستيكية ذات حجم 3 كغ، وفي ظروف مناخية غير خاضعة للرقابة أن مياه الري المغنطة لها تأثير كبير و جد مفيد وذلك من خلال تقليل الموصلية الكهربائية للتربة مقارنة مع التربة المسقية بالمياه غير المغنطة.

وفما يتعلق بتأثير المياه المغنطة على الخصائص النباتية، أظهرت النتائج كذلك أن مغنطة المياه لها آثار جد إيجابية على الإنبات والنمو (طول الساق، وطول الجذر، مساحة الورقة، عدد الأوراق) و كذلك على الخصائص الفسيولوجية والكيميائية على النباتات المستخدمة في هذه التجربة.

الكلمات المفتاحية: الملوحة ، مغنطة المياه.

Résumé

La rareté des ressources en eaux de faible salinité constitue un problème majeur en Algérie. La majorité des eaux d'irrigation dans la zone aride et semi-aride en Algérie est d'origine souterraine. Les eaux des nappes phréatiques sont fréquemment salées avec une salinité qui dépasse généralement 2.25 dS/m. Pour pallier à ce problème, une nouvelle technologie basée sur la magnétisation des eaux, peut constituer une solution de recours permettant la valorisation de ces eaux en agriculture.

De ce fait, ce travail vise à valoriser les eaux salines en agriculture par le procédé de magnétisation ; et de mettre en évidence l'impact de ces eaux sur les différentes composantes de l'environnement, notamment les caractéristiques physico-chimiques du sol ; de l'eau de drainage et le comportement physico morphologique et chimiques des espèces étudiées (Fève *Vicia faba* L ; l'haricot *Phaseolus vulgaris* L. et l'orge *hordeum vulgar* L).

Les résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau utilisée, dans notre expérimentation, avant et après magnétisation montre que cette dernière entraîne une légère augmentation du pH et une légère diminution de la conductivité électrique.

Les résultats des essais menés sur les trois espèces végétales, semis dans des pots en plastique de 3kg, dans un milieu à conditions non contrôlées ont montré que l'irrigation par l'eau magnétisée entraîne un effet positif en diminuant la conductivité électrique du sol par rapport au sol irrigué par l'eau non magnétisée.

En ce qui concerne, l'effet de la magnétisation sur les caractéristiques du matériel végétal, les résultats montrent des effets positifs sur la germination, ainsi que sur la croissance (hauteur de la tige ; longueur de la racine ; surface foliaire, nombre des feuilles) et les paramètres physiologiques, hydriques et chimiques des plantes utilisées.

Mots clés : Salinité, Magnétisation des eaux.

Abstract

We know that the scarcity of resources in low-salinity waters is a major problem in Algeria. The majority of irrigation water in the arid and semi-arid zone in Algeria is of underground origin. Ground water is frequently saline with a salinity of more than 2.25 dS /m. for overcome this problem, a new technology based on the magnetization of water, can constitute a solution of recourse allowing the valorization of these waters in agriculture.

Consequently, this work aims at enhancing saline waters in agriculture after magnetization; And to highlight the impact of these waters on the various components of the environment, in particular the physical and chemical characteristics of the soil; Drainage water and the physic-morphological and chemical behavior of the species studied (broad bean *Vicia faba* L, bean *Phaseolus vulgaris* L. and barley *Hordeum vulgar* L).

The results of physico-chemical analyzes of the water used in our experiments before and after magnetization show that the latter results in a slight increase in pH and a slight decrease in electrical conductivity.

The results of trials of three plant species seeded in 3 kg plastic pots in a non-controlled environment showed that magnetized water irrigation results in a beneficial effect by decreasing the electrical conductivity of the soil. Relative to ground irrigated by non-magnetized water.

The effect of magnetization on the characteristics of the plant material results in very beneficial effects on germination as well as on growth (stem height, root length, leaf area, number of Leaves) and the physiological, hydric and chemical parameters of the plants used.

Key words: Salinity, the magnetization of water.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01. Composition (g/100g de graines) et valeur énergétique (calorie/ 100g) des graines de <i>Vigna unguiculata</i> , de <i>Cicer arietinum</i> et de <i>Phaseolus vulgaris</i> (Sinha et Watters ,1980 ; Iserin ,1997).	25
Tableau 02. Valeur calorique et teneur en éléments nutritifs de l'orge (pour 100g de grains) (Leureau, 1999).....	34
Tableau 03. Classification des eaux d'irrigation proposée par l'United States Department of Agriculture (USDA) (in. Harivandi, 1999).	40
Tableau 04. Dispositif expérimental.....	42
Tableau 05. Qualité physico-chimique de l'eau utilisée.....	48
Tableau 06. Evolution du Ce et du pH des eaux d'irrigation.	49
Tableau 07. Evolution du pH de l'eau de drainage.	50
Tableau 08. Evolution de la conductivité électrique	51
Tableau 09. Caractérisation physicochimique du sol du site expérimental	52
Tableau 10. Résultats des analyses physicochimiques du sol	53

LISTE DES PHOTOS

Photo 01. L'espèce <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	24
Photo 02. Différents organes de la fève <i>vicia faba</i> L.	27
Photo 03. Préparation de substrat de culture	37
Photo 04. L'installation de l'appareil Delta water	39
Photo 05. Les graines utilisées (Photos Originaux).	41
Photo 06. La germination des graines.	46
Photo 07. Dispositif expérimental après une semaine de la germination	46
Photo 08. Développement des plants des trois espèces.....	59

LISTE DES FIGURES

Figure 01. Tolérance des plantes glycophytes et hallophytes à la salinité (Salha, 2010).	10
Figure 02. Régulation et compartimentation ionique (Mehdi, 2008)	11
Figure 03. Rôle de l'acide abscéique dans la réponse au stress salin	13
Figure 04. Schéma du champ magnétique et de la direction de l'écoulement de l'eau au cours du traitement (Maheshwari and Grewal, 2009).....	14
Figure 05. La structure de l'eau dynamisée en micromolécules (Microcluster)	17
Figure 06. Cristaux de Masaru Emoto (un Médecin chercheur Japonais) (Emoto, 1999)	18
Figure 07. Effet de la consommation de l'eau vitalisée sur le sang	19
Figure 08. Description de l'orge	32
Figure 09. Localisation du Site expérimental	35
Figure 10. Le protocole de travail expérimental	47
Figure 11. Evolution du pH de l'eau de drainage	50
Figure 12. Evolution de la conductivité électrique de l'eau de drainage	51
Figure 13. Effet de la magnétisation sur le taux de germination	55
Figure 14. Effet de la magnétisation sur la durée de germination	56
Figure 15. Effet de la magnétisation sur le temps moyen de germination	57
Figure 16. Effet de la magnétisation sur le nombre de feuilles	58
Figure 17. Effets de la magnétisation sur la longueur de la tige	59
Figure 18. Effets de la magnétisation sur la longueur des racines	60
Figure 19. Effets de la magnétisation sur la biomasse fraîche de la partie aérienne ...	61
Figure 20. Effets de la magnétisation sur la biomasse fraîche de la partie racinaire ..	62
Figure 21. Effets de la magnétisation sur le Poids sec de la partie aérienne	63
Figure 22. Effets de la magnétisation sur le Poids sec de la partie racinaire	63
Figure 23. Effets de la magnétisation sur la surface foliaire.....	64

Figure 24. Effets de la magnétisation sur la teneur en chlorophylles	65
Figure 25. Effets de la magnétisation sur la teneur de la proline	67
Figure 26. Effets de la magnétisation sur la teneur en eau relative	68
Figure 27. Effets de la magnétisation sur la teneur en sodium dans la partie aérienne .	69
Figure 28. Effets de la magnétisation sur la teneur en sodium dans les racines	70
Figure 29. Effets de la magnétisation sur la teneur en potassium dans la partie aérienne	71
Figure 30. Effets de la magnétisation sur la teneur en potassium dans les racines	71

LISTE DES ABREVIATIONS

C.E.C: Capacité d'échange cationique

FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

Mmho/cm : Millimhos par centimètre.

Meq : Milliéquivalent

N: Normalité

SAR : Sodium Adsorption Ratio.

ESP: Exchangeable Sodium Pourcentage (en %).

Ppm : Partie par million

USDA: United state department agronomic

INSID : Institut National des Sol, Irrigation et du Drainage

ABA : Acide abscéique

EM : Eau magnétisée

ENM : Eau non magnétisée

ED: Eau distillée

TG : Taux de germination

DG : Durée de germination

TMG : Temps Moyen de Germination

NF: Le nombre de feuilles

PSA: Le Poids sec de la partie aérienne

BSR : Poids sec de la partie racinaire

SF : La Surface foliaire

LPA: La longueur de la tige

LPR : La longueur de la racine

BPA: La biomasse fraîche de la partie aérienne

BPR : La biomasse fraîche de la racine

Chl (a+b): La chlorophylle (a+b)

RWC: La teneur relative en eau

Introduction

Introduction

Les terres arides et semi arides représentent un tiers de la surface du globe. Dans ces zones, la salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des facteurs limitant de la productivité végétale et du rendement agricole (Djerroudi *et al.*, 2010).

La réponse au sel des espèces végétales dépend de l'espèce même, de sa variété, de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante. L'identification des variétés tolérantes aux sels permettrait certainement d'améliorer la production des zones à risque ou irriguées à l'eau saumâtre et présenterait un intérêt dans l'optique d'aide à l'amélioration variétale (Braudeau, 1998).

La prise de conscience concernant le développement rationnel des ressources naturelles a pour but une production agricole durable et une meilleure protection de l'environnement.

Nous assistons à une croissance démographique rapide dans les pays en voie de développement en particulier l'Algérie, et qui entraîne des pressions importantes sur les ressources de la terre et de l'eau, surtout sur les terres au potentiel agricole adapté. Toutefois, des programmes et des politiques qui sont envisagés depuis quelques temps, la mise en valeur des terres agricoles en zones arides et semi-arides doivent être soigneusement élaborés et mis en place afin d'éviter les dégâts nuisibles qui peuvent survenir aux ressources de base du sol.

En Algérie, les facteurs qui contribuent à l'extension du phénomène de salinisation des terres sont liés à l'aridité du climat qui porte sur plus de 95% du territoire, la qualité médiocre des eaux d'irrigation, le système de drainage souvent inexistant ou non fonctionnel, et la conduite empirique des irrigations (Daoud et Halitim, 1994). Selon Saidi (2004), la production agricole, en Algérie est limitée par de faibles ressources hydrauliques, une mauvaise répartition des précipitations et par des teneurs élevées en sels solubles dans les sols et les eaux.

La rareté des ressources en eaux de faible salinité constitue un problème majeur en Algérie. En effet, le manque d'eau a poussé les agriculteurs d'une part, à utiliser des eaux souterraines souvent très chargées avec une salinité qui dépasse généralement 2.25 dS/m (INSID, 2008), et d'autre part à abandonner la pratique du drainage. Ceci a entraîné une augmentation des teneurs en sel et dans certains cas une baisse de la production agricole.

Pour pallier à ce problème, une nouvelle technologie basée sur la magnétisation des eaux, peut constituer une solution de recours permettant la valorisation de ces eaux en agriculture.

Introduction

Cette nouvelle technologie très peu définie assure une magnétisation de l'eau le rendant vital. Afin de mieux comprendre cette nouvelle notion, l'objet de cette étude consiste à évaluer les effets de cette magnétisation sur les paramètres physicochimiques du sol et sur l'identification des réponses morphologiques et physiologiques de trois cultures (Fève, Haricot et Orge).

L'organisation de ce travail s'est articulée comme suit :

- ✓ Un premier chapitre qui concerne les données relatives à la salinité et les effets de la salinité sur le développement des végétaux;
- ✓ Le Chapitre. II est consacré à la magnétisation de l'eau ;
- ✓ Le Chapitre. III a porté sur le matériel végétal utilisé dans notre travail ;
- ✓ Le Chapitre. IV concerne la méthodologie adoptée dans notre expérimentation et les méthodes d'analyse utilisées dans ce travail ;
- ✓ Le Chapitre. V concerne les résultats obtenus ainsi qu'une discussion ;
- ✓ Nous terminerons ensuite par une conclusion générale.

1. La salinité

Selon Mermoud (2006), 10 à 15 % des surfaces irriguées dans le monde (20 à 30 millions hectares) souffrent, à des degrés divers, de problèmes de salinisation, alors que d'autres rapportent que plus d'un milliard d'hectares sont salés (Epstein & al, 1980 ; Choukrallah & al, 1996).

1.1. Définition

La salinisation est le processus par lequel les sels solubles s'accumulent dans le sol et elle a été identifiée comme un processus majeur de la dégradation des terres (USDA, 1998).

Les causes techniques les plus importantes à l'origine de la diminution de la production sur de nombreux périmètres est l'irrigation, particulièrement dans les zones arides et semi-arides. Il est estimé, à partir de diverses données disponibles que : Le monde perd au moins 3 ha de terres arables chaque minute à cause de la salinité du sol (Iptrid, 2006). En général, la salinité représente une teneur préjudiciable des sels solubles dans le sol à la production végétale ; d'une façon plus générale, il y a salinité chaque fois que la présence des sels vient modifier la vie végétale ou les caractéristiques des sols (Forges, 1979). La salinité, qu'elle soit naturelle ou induite, constitue un frein au développement des plantes cultivées. En effet, la salinité agit sur tous les aspects de la biologie des plantes. Ces effets négatifs du sel sont généralement considérés sous trois aspects :

- L'aspect osmotique qui se traduit par une moindre disponibilité en eau pour les plantes.
- L'aspect ionique et la toxicité des ions Na^+ et Cl^- qui ont un effet néfaste sur les structures membranaires.
- Le déséquilibre nutritionnel causé par les quantités excessives de Na^+ et Cl^- empêchent certains ions essentiels tels que K^+ d'être absorbé. (Chorfi, 2009).

1.2. Salinisation primaire

Les sels proviennent soit de l'altération des roches portant les sels, ou sont déposés sur la terre par le vent (IPWEA, 2000). Cette salinité provient de l'altération de la roche mère saline par les facteurs d'érosion. La dissolution, par les eaux de ruissellement des roches sédimentaires qui sont riches en chlorures, sulfates et carbonates contribuant ainsi à la salinisation des sols (Du Chaufour *et al*, 1979).

En effet, l'altération de la roche mère qui fournit les sels responsables de la salinisation primaire est provoquée par l'eau de pluie souvent acide carbonique (H_2CO_3) mais aussi par des agents physiques (Aubert et Boulaine., 1980 *in* Salha, 2010).

1.3. Salinisation secondaire

C'est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles causé par l'approvisionnement en eau pour l'irrigation et qui aboutit à la formation d'un sol salin. L'irrigation altère le bilan hydrique du sol en générant un apport d'eau supplémentaire ; cet apport est toujours associé à un apport de sels. En effet, même une eau douce de meilleure qualité contient des sels dissous et, si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable. Les échanges de cations entre le sol et l'eau d'irrigation sont le début de la salinisation du sol. L'accumulation des sels solubles à la surface ou en dessous de la surface du sol à des concentrations qui ont des effets négatifs sur la croissance des plantes et/ou sur les sols. Ceci se produit du fait de l'évaporation qui abandonne sur le sol les sels dissous dans l'eau. La salinisation peut aussi être causée par la remontée capillaire des eaux souterraines salines ou résulter d'une irrigation réalisée avec de l'eau saline (Iptribid, 2006).

1.4. Cause et effet de la salinisation

- Rareté des précipitations et évaporation élevée ;
- L'irrigation avec de l'eau saline et les pratiques culturelles ;
- La qualité médiocre de l'eau d'irrigation. (Ashraf et Foolad, 2007 ;Denden *et al*, 2005).
- Le phénomène d'invasion marine, qui peut s'étendre sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres est d'un grand risque pour les régions côtières tributaires des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau.
- L'invasion des eaux douces par les eaux salées aura pour effet une dégradation des sols et une salinisation par suite des irrigations avec ces eaux (Morsli, 2007).

1.5. Rapport entre la salinité du sol et celle de l'eau d'irrigation

Le développement de l'irrigation est dans la majorité des situations, accompagnée de l'apparition de processus de salinisation, de sodisation ou d'alcalinisation des sols `à des degrés d'importance divers (Serge, 2004). Plus la conductivité électrolytique de l'eau d'irrigation est forte plus la teneur en Sodium (Na^+) augmente, provoquant ainsi un enrichissement net en sodium soluble. Lorsque la conductivité croit, le faciès chimique passe du type calcium, chlore (Ca, Cl) au type sodium, chlore (Na, Cl). Les résultats ont montré que la salinisation était la conséquence d'une irrigation avec des eaux assez concentrées en sel. Bien que dans certains endroits, les eaux ne soient pas très salées, ce sont pourtant elles qui ont donné naissance aux différentes manifestations de salinisation à cause des caractéristiques spécifiques des sols (sols argileux). (Morsli., 2007).

1.6. Effet de la salinité sur les plantes

Les effets de la salinité sur les plantes sont complexes et ses conséquences incluent la toxicité par les ions (Pang *et al.*, 2007), le déficit hydrique (Desclos *et al.*, 2008), la déficience et le déséquilibre nutritifs (Chen *et al.*, 2007). La grande majorité des stress salins est provoquée par des sels de sodium, particulièrement le NaCl. De ce fait, les termes halophytes et glycophytes font essentiellement référence aux stress provoqués par un excès de Na⁺ (Gregory., 2005). La première difficulté d'une plante en milieu salin est d'assurer son apport en eau. Pour cela, il faut que la plante puisse ajuster la pression osmotique de ses tissus par rapport à la pression osmotique du sol. Ce phénomène nommé l'épictèse, permet donc à la plante d'assurer une hypertonie constante (Heller., 2004). A l'échelle agronomique, les risques de salinisation varient de 4 à 16 mmhos/cm. A partir de 8 mmhos/cm, la plupart des plantes cultivées ont leurs rendements fortement abaissés par la salinité. Seuls les végétaux halophiles prospèrent dans des milieux à salinité supérieure à 16 mmhos/cm (Kenfaoui., 1997). Durant le début et le développement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétiques sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress. (Parida et Das, 2005).

1.6.1. Effet de la salinité sur la germination et la levée

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et, en particulier, par la disponibilité de l'eau dans le sol (Sharma., 1973 ; Gutterman., 1993 in Ndour et Danthu., 2000), Selon Maillard (2001) , et Abdelly (2006), la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée dont l'effet nocif est de nature osmotique ou bien toxique. Selon Karmous (2007), elle agit également sur la germination en ralentissant sa vitesse, ce qui expose plus les semences aux risques. Il a été démontré que la salinité inhibe la germination par son effet osmotique où elle affecte tous les processus de germination suite à la baisse du potentiel hydrique autour des graines, ce qui rend l'eau inaccessible à cette dernière pour la réhydratation et la reprise de la vie active de l'embryon (Maas et Poss., 1989). La réduction du potentiel osmotique de la solution du sol empêche l'imbibition de la graine suite à une diminution des activités enzymatiques et une forte absorption de Na⁺ par rapport à K⁺, ce qui conduit à une toxicité embryonnaire et un retard dans les processus métaboliques (Hsiao *et al.*, 1976 ; Oertli., 1976 in Adel et Bader., 2002).

1.6.2. Effet de la salinité sur la morphologie de la plante

Il existe trois effets de la salinité sur la morphologie de la plante

a. Effet de la salinité sur l'architecture de la plante

L'architecture de la plante est profondément modifiée sous un stress osmotique, même très modéré et ne présentant pas de symptômes flagrants. Par exemple, chez des dicotylédones comme le pois ou la vigne, le nombre de ramifications et le nombre d'organes élémentaires (phytomères) de la tige sont drastiquement réduits. Il en va de même chez les graminées, où le nombre de talles est réduit en cas d'un stress osmotique.

b. Effet de la salinité sur la partie aérienne

D'après Munns et Rawson (1999), Maas et Poss (1989), l'effet de la salinité se traduit généralement par une réduction de la croissance végétative (réduction de la hauteur, nombre de talles et de feuilles) qui est en fonction de la division et l'élongation cellulaire. Elle retarde la croissance des pousses qui sont plus sensibles aux sels que les racines mais elle pousse prématurément la plante vers la maturité.

c. Effet de la salinité sur la partie racinaire

La salinité affecte en particulier la croissance des racines des plantes (Läuchli et Epstein, 1990 ; Bayuelo et *al.*, 2002) ont montré qu'elle augmente le rapport partie racinaire/partie aérienne (PR/PA). En effet, les plantes maintiennent une croissance racinaire relativement importante sous forte contrainte saline, l'augmentation du rapport PR/PA qui s'ensuit semble être associée à une augmentation de leur tolérance au sel. Kafkai (1991), suggère que sous contrainte saline, la plante dépense plus d'énergie photosynthétique pour maintenir un statut hydrique élevé et pour la production des racines en vue de la recherche d'eau et/ou la réduction de la perte d'eau. Dans ces conditions, il semble que l'arrêt de la croissance foliaire soit déclenché par des signaux hormonaux (Munns, 2002) et qu'une part importante des photosynthétats soit alors réallouée à la croissance racinaire. C'est l'une des réponses anatomiques clefs aux stress osmotiques chez de nombreuses espèces, dont le caractère adaptatif apparaît évident puisqu'une augmentation du ratio masse des racines/masse de la canopée maximise la surface d'absorption de l'eau en diminuant la surface d'évaporation (Munns, 2002).

1.6.3. Action des sels sur la croissance et le développement

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente (Wang et Nil, 2000). Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (Chartzoulakis et Klapaki, 2000). Les sels solubles

peuvent empêcher les racines d'absorber l'eau et les éléments nutritifs et, ainsi, restreindre la croissance des plantes cultivées, d'où un rendement plus faible (Wiebe, 2001). La salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire chez la tomate (Pessakli *et al.*, 1998). Le taux élevé de NaCl se manifeste par une faible croissance dans la biomasse des racines, tiges et feuilles et une augmentation dans le ratio partie racinaire/partie aérienne chez le coton (Meloni *et al.*, 2001).

1.6.4. Impacts de la salinité sur l'eau dans la plante

Le stress salin induit des changements au niveau du statut hydrique de la plante (Hasegawa *et al.*, 2000 ; Fricke et Peters., 2002). Le stress salin réduit le contenu relatif en eau des feuilles (Albouchi *et al.*, 2003). Il diminue la transpiration (Rengasam., 2006), l'absorption hydrique par les racines, ce fait a été établi chez des plantes de résistance différentes (Snoussi *et al.*, 2004).

1.6.5. Sur l'anatomie des feuilles

La salinité cause une augmentation de l'épaisseur de l'épiderme, l'épaisseur du mésophylle, la longueur des cellules palissadiques et le diamètre des cellules palissadiques dans les feuilles de l'haricot, du coton et de l'atriplex (Longstreth et Nobel., 1979 *in* Parida et Das., 2005). La salinité réduit aussi l'espace intercellulaire dans les feuilles (Delphine *et al.*, 1998 *in* Parida et Das., 2005). L'épaisseur du mésophylle et de l'épiderme ainsi que l'espace intercellulaire diminuent significativement dans les feuilles traitées avec le NaCl de la mangrove *B. parviflorai* (Parida et Das., 2005). Le stress salin cause le développement de la vacuolisation et un gonflement partiel du réticulum endoplasmique, le gonflement de la mitochondrie et la vésiculation et la fragmentation du tonoplaste en plus de la dégradation du cytoplasme par le mélange de la matrice cytoplasmique et vacuolaire des feuilles de la patate douce (*Ipomoeabatatas*) (Mitsuya *et al.*, 2000 *in* Parida et Das., 2005).

1.6.6. Sur la photosynthèse

L'excès de sel devient toxique à un certain degré et accélère la sénescence naturelle des feuilles, en réduisant la capacité photosynthétique causé par la fermeture des stomates qui limite l'entrée du CO₂ (Zhu, 2001; Munns., 2002). La salinité affecte l'ultra structure des chloroplastes (Ackerson., 1998 ; Salama., 1994) et plus particulièrement celle des granas (Baker., 2002; Rahman., 2002).

1.6.7. Sur les lipides

Les lipides sont la source la plus efficace du stockage de l'énergie, ils fonctionnent comme des isolateurs des hormones et organes délicats, et jouent un rôle important comme

des constituants des structures de la plupart des cellules membranaires (Singh *et al.* 2002). Ils ont aussi un rôle vital dans la tolérance à différents stress physiologiques chez une variété d'organismes comme la cyanobactérie. L'insaturation des acides gras contrecarre le stress salin ou hydrique. (Wu *et al.*, 1998) ont analysé le changement de la composition des lipides soumis à un stress salin dans la membrane plasmique des racines chez *Spartinapatens* et ont rapporté que les pourcentages molaires des stérols et les phospholipides diminuent avec l'augmentation de la salinité, mais le ratio stérols/phospholipides n'est pas affecté par le NaCl.

1.6.8. Sur l'absorption minérale

L'absorption à haute concentration de NaCl engendre une compétition entre les éléments minéraux, spécialement le sodium Na^+ , ce qui conduit à une déficience minérale des autres éléments. Le traitement accru de NaCl induit une augmentation dans le taux du Na^+ et Cl^- et une diminution dans le taux du calcium Ca^{2+} , le potassium K^+ et le magnésium Mg^{2+} chez de nombreuses plantes (Khan., 2001 in Haouala *et al.* 2007). La salinité fait augmenter le contenu de sodium Na^+ , du calcium Ca^{2+} et du chlore Cl^- chez *Vicia faba* L et le rapport K^+/Na^+ diminue (Gadallah., 1999 in Haouala *et al.*, 2007). Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes: la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions Na^+ et Cl^- dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre le sodium Na^+ et le calcium Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique. L'accumulation des ions Na^+ affecte l'absorption de potassium K^+ et ceci en fonction de la concentration du premier élément, cependant, la présence de sodium Na^+ en faible concentration peut augmenter l'absorption de potassium K^+ , tandis qu'une concentration élevée en sodium Na^+ diminue.

1.6.9. Effet de la salinité sur les enzymes antioxydants

Les effets inhibiteurs imposés par la salinité sur le processus de la germination peuvent être également expliqué par l'altération de l'activité enzymatique, indispensable à la réactivation cellulaire pendant cette phase. Ainsi la salinité inhibe l'activité de plusieurs enzymes (Blum, 1988 ; Larcher, 1995). La réponse aux stress chez un organisme fait intervenir un grand nombre d'enzymes, telles que le superoxyde dismutase, les peroxydases, la catalase et la glutathion réductase (Pelmont, 1995 ; Vincent, 2006). Les composés réduits de l'oxygène ont une chimie très étendue, sont à l'origine d'effets mutagènes et entraînent des altérations sur les protéines et les lipides. Pour faire face à ces inconvénients, les cellules

vivantes se sont dotées de plusieurs armes efficaces pour éliminer les réactifs EAO. Ces mécanismes peuvent être divisés en deux catégories selon qu'ils impliquent des enzymes de façon directe ou indirecte (Sofo *et al*, 2004).

1.6.10. Effet de la salinité sur les glycophytes et les halophytes

Les halophytes sont des plantes capables de réaliser leur cycle entier en survivant dans des conditions salines, ils s'opposent aux glycophytes, plantes des milieux non salés par leur morphologie (feuilles, tiges) et par leurs caractères physiologiques (pression osmotique, résistance à la nature et à la concentration des sels) (Genoux *et al* 1991 ; Binet, 2005). Bien que certaines halophytes puissent résister à d'importantes accumulations de sel ; d'autres ne peuvent se développer complètement qu'en présence de fortes concentrations salines, ce sont des halophytes obligatoires considérées comme étant «halophiles» qui signifie plantes aimant le sel (Genoux *et al.* 1991). La grande majorité des stress salins est provoquée par des sels de sodium, particulièrement le NaCl. De ce fait, les termes halophytes et glycophytes font essentiellement référence aux stress provoqués par un excès de Na⁺. Une plante halophile obligatoire ne peut pas se développer sans un excès de sel alors qu'une plante halophile facultative se développera normalement dans des conditions non stressantes. À l'inverse, une plante glycophile obligatoire ne se développera jamais en présence d'un excès de sels (figure 1). (Levitt, 1980 ; Tester et Davenport, 2003).

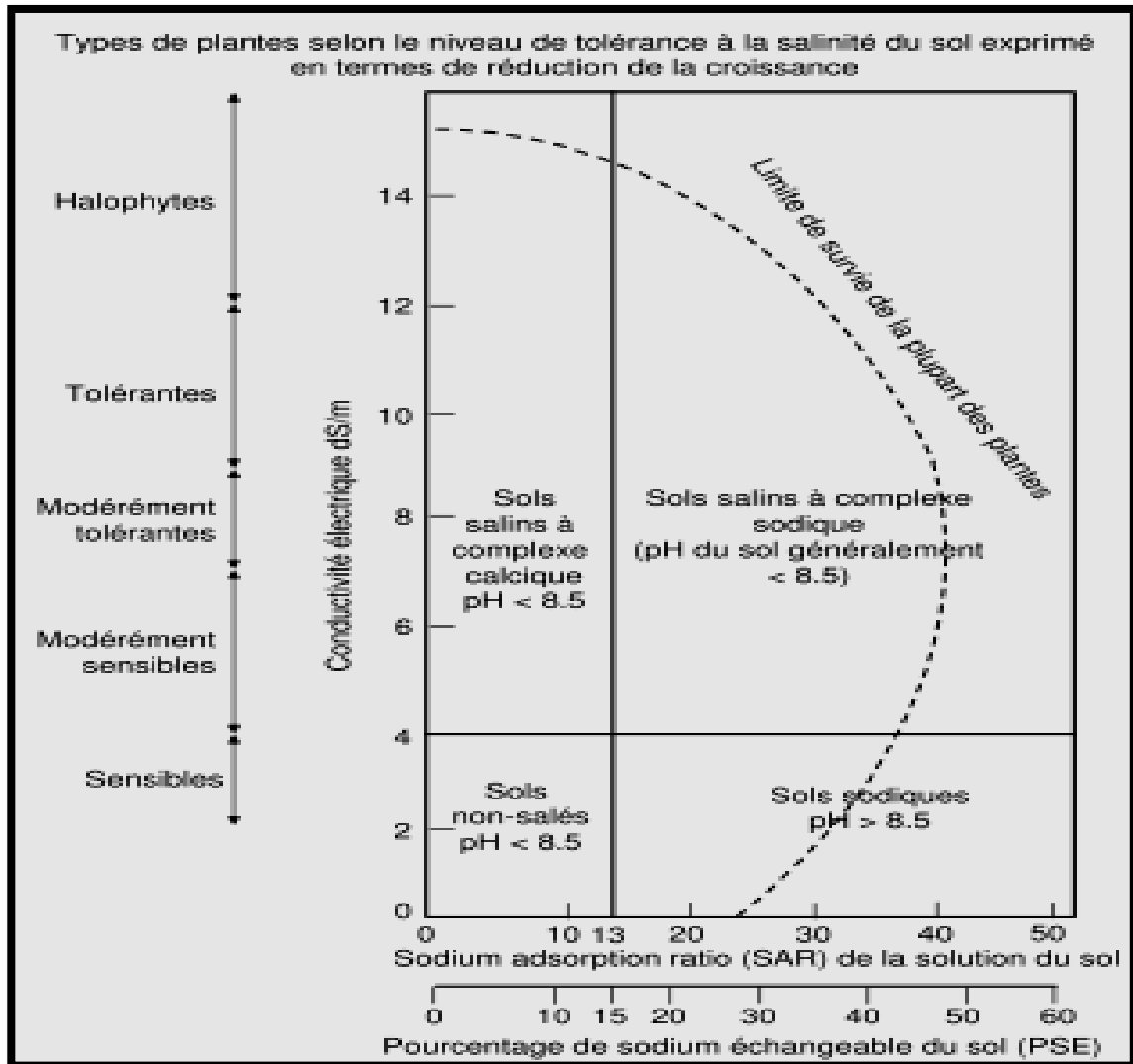


Figure 01. Tolérance des plantes glycophytes et hallophytes à la salinité (Salha, 2010).

1.7. Tolérance des plantes à la salinité

1.7.1. Régulation ionique et compartimentation

L'absorption ionique et la compartimentation sont importantes non seulement pour la croissance normale mais aussi pour la croissance sous des conditions de salinité (Adams *et al*, 1992 *in* Parida et Das, 2005) parce que le stress perturbe l'homéostasie ionique. Les plantes qu'elles soient glycophytes ou halophytes, ne peuvent tolérer une grande quantité de sel dans le cytoplasme, et par conséquent sous des conditions de salinité, elles limitent l'excès de sel dans la vacuole ou compartimentent les ions dans différents tissus pour faciliter leurs formes métaboliques (Zhu, 2003). Les glycophytes limitent l'absorption ou la translocation du sodium dans les tissus âgés qui servent de compartiments de stockage qui sont éventuellement sacrifiés. (Cheeseman, 1988 *in* Parida et Das, 2005). La suppression du sodium du cytoplasme ou la compartimentation dans les vacuoles est réalisée par des enzymes induites par le sel, le

transporteur membranaire (antiport) Na^+/H^+ (Apse *et al.*, 1999 in Parida et Das, 2005) (figure.2).

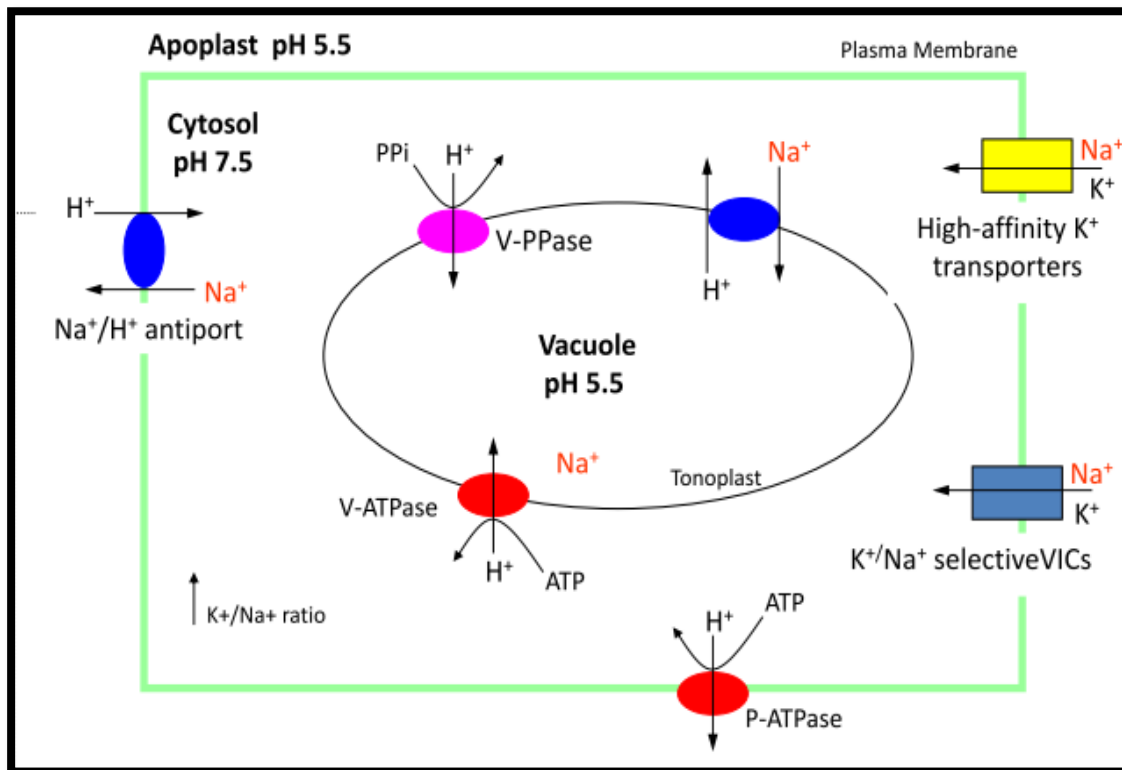


Figure 02. Régulation et compartimentation ionique (Mehdi, 2008).

1.7.2. Accumulation de proline

L'accumulation de proline est l'une des manifestations les plus remarquables du stress salin et hydrique (Belkhodja, 1996 ; Chen et Murata., 2002 ; Di Martino *et al.*, 2003). Le rôle de la proline dans la résistance au stress salin n'est pas encore élucidé. Il peut s'agir d'un osmoticum dont l'accumulation cytoplasmique permet de neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation du sel dans la vacuole (Naidoo, 2001 ; Rontein *et al.*, 2002). Selon un autre point de vue, l'accumulation de la proline n'est pas une réaction d'adaptation au stress, mais plutôt le signe d'une perturbation métabolique (Dix et Pearce., 1981). L'accumulation de proline en présence de NaCl est plus faible chez les espèces sauvages tolérantes que chez l'espèce cultivée sensible, ceci laisse penser que la proline ne joue pas un rôle essentiel dans la résistance au sel (Tal *et al.*, 1979).

1.7.3. Autres modes de tolérance à la salinité

L'accumulation des sucres solubles est très prononcée chez les plantes soumises à la contrainte saline, ces sucres ont pour rôle l'établissement de l'équilibre osmotique (Balibrea *et al.*, 2000 ; Munns, 2002 ; Gregory, 2005). Parmi les Hormones, on cite l'acide abscissique (ABA), synthétisé en réponse à l'effort de sécheresse et de salinité (Zhu, 2002) est connue pour induire la fermeture des stomates et pour réduire la perte d'eau par transpiration. L'ABA règle également la croissance de plantes et les processus développementaux, tels que la maturation d'embryon, sèment la dormance, et l'adaptation au stress salin (Leung et Giraudat, 1998; Finkelstein, 2002). Parmi les diverses phytohormones, L'ABA semble jouer le rôle le plus important dans la commande de la réponse des stomates. De nombreuses études récentes indiquent un effet coopératif entre L'ABA et d'autres phytohormones en réponse aux contraintes salines tel que l'éthylène (Dodd, 2003 ; Yu, 2005). Un apport exogène de l'acide salicylique sur les jeunes plantes d'*Atriplex halimusa* diminue les effets nocifs de la salinité (Boukraa et Belkhodja, 2008). L'éthylène règle de nombreux processus métaboliques y compris la germination de graine, le développement des racines, des feuilles et la sénescence et l'abscission des fleurs, la maturation du fruit, le nodulation, et les réponses des plantes à une grande Variété de stress (Bleecker et Kende, 2000), Bien que son rôle dans la fermeture des stomates a été suggéré (Giulivo, 1986). Dans des conditions de stress salin ou hydrique, les niveaux endogènes accrus d'ABA limitent la production d'éthylène et ainsi maintenir le rapport adéquat de croissance pousses/ racines (Sharp, 2002). Un autre mode de tolérance qui est l'ajustement osmotique est défini en tant qu'abaissement du potentiel osmotique dans le tissu végétal dû à l'accumulation des corps dissous compatibles qui peuvent agir en tant qu'osmolytes cytoplasmiques facilitant l'absorption et la conservation d'eau mais également comme protecteurs et stabilisateurs des macromolécules et des structures cellulaires (figure 3)(Bohnert et Jensen,1996 ; Di Martino *et al.*, 2003).

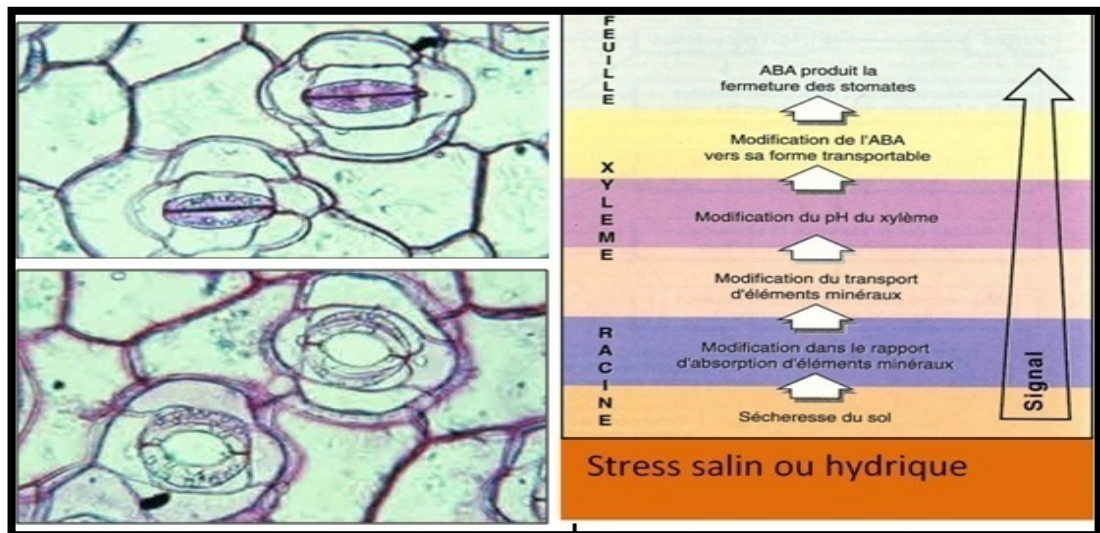


Figure 03. Rôle de l'acide abscéique dans la réponse au stress salin.

1.7.4. Mécanisme de tolérance vis-à-vis la salinité

Beaucoup d'informations sont disponibles sur les adaptations morphologiques et anatomiques en réponse à la salinité (Poljakof-Mayber., 1975). Les plantes poussant dans les conditions où le sol est affecté par la salinité subissent des perturbations d'ordre physiologique et biochimique (Ben Naceur *et al*, 2001). La réponse au sel des espèces végétales dépend de l'espèce même, de sa variété, de la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante (Poljakof-Mayber., 1975). La plante peut s'adapter au stress salin de différentes manières:

L'exclusion

La plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne des cellules de la racine, ainsi que le transport sélectif permet d'adsorber les ions nutritifs utiles et de réexcréter les ions Na^+ (Genoux *et al*, 1991).

L'inclusion

La plante capte le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompes moléculaires et ainsi le sel est isolé des constituants cellulaires vitaux (Levitt., 1980; Genoux *et al*, 1991; Berthomieu *et al.*, 2003). La résistance des plantes à la salinité est définie par Shannon et Grieve (1999) comme étant la capacité inhérente des plantes à résister aux effets des concentrations élevées en sels dans le profil racinaire où sur les feuilles sans subir des effets nuisibles significatifs. Sacher et Staples (1984) ont défini la tolérance à la salinité comme étant la capacité des plantes d'accroître et d'accomplir son cycle de vie sur un substrat qui contient des concentrations élevées en sels solubles.

Dans cet habitat la plante doit répondre à deux exigences : l'adaptation osmotique et l'acquisition des éléments minéraux dont elle a besoin pour la croissance et le fonctionnement du métabolisme.

Introduction

La croissance rapide de la population mondiale donne lieu à une hausse de la consommation d'aliments et de l'énergie. Cette tendance épuise sérieusement les ressources naturelles. Les tentatives visant à augmenter la production alimentaire et énergétique pour les besoins croissants satisfaisants ont conduit à forte intensité le développement de la production végétale par l'utilisation des additifs chimiques, qui à son tour provoqué plus de pollution du sol, de l'eau et de l'air (Aladjadjiyan, 2012).

La rareté des ressources en eaux de faible salinité constitue un problème majeur en Algérie. En effet, le manque d'eau a poussé les agriculteurs d'une part, à utiliser des eaux souterraines souvent très chargées avec une salinité qui dépasse généralement 2.25 dS/m (INSID, 2008), et d'autre part à abandonner la pratique du drainage. Ceci a entraîné une augmentation des teneurs en sel et dans certains cas une baisse de la production agricole. Pour pallier à ce problème, une nouvelle technologie basée sur la magnétisation des eaux, peut constituer une solution de recours permettant la valorisation de ces eaux en agriculture.

1. L'eau, principal constituant des êtres vivants

L'eau est indispensable à la vie de tout organisme sur terre. Toutes les plantes et les animaux sont composés en grande partie d'eau. 60% du poids de notre corps est constitué d'eau. L'eau, couvre environ 71 % de la surface de la terre. 97.2% de l'eau sur terre est constituée d'eau de mer, 2.15% de glace et seulement 0.65% d'eau douce directement utilisable (Hugonin, 2011).

Le premier secteur consommateur d'eau est l'agriculture avec un taux de 70%, les industries présentent un taux de consommation voisin de 20% et seuls les 10% restant servent à la consommation (Benamraoui, 2014). Vue la rareté de cette ressource vitale, le recours à des eaux souterraines peu salées dans l'agriculture devient une nécessité. Afin de valoriser ces ressources en eaux, la dynamisation de ces eaux pourrait apporter une plus-value par des améliorations sur la structure et donc sur la qualité des eaux.

2. Des eaux qui agissent sur le processus vivant

Au cours du XXe siècle, différents chercheurs ont mis au point des procédés pour améliorer le potentiel vital de l'eau (Marshutz et al., 1996 ; Brower, 2005). Pour cela, certains se sont inspirés des eaux ayant naturellement un potentiel vital accru : les pluies d'orage, les sources ou écoulements de glaciers de certaines régions du monde. Il s'agissait alors d'identifier les caractères qui différencient ces eaux aux propriétés particulières des eaux « ordinaire », et d'essayer de les reproduire. Ensuite, diverses expérimentations permettent de vérifier les propriétés spécifiques de l'eau obtenues par le processus de magnétisation.

2.1. Les pluies d'orage

Les agriculteurs, éleveurs et maraîchers, connaissent depuis longtemps les propriétés particulières des pluies d'orages. Les animaux préfèrent l'eau boueuse des ornières d'un chemin après un orage, alors que leurs abreuvoirs sont remplis d'une eau bien propre. Après une pluie d'orage les végétaux ont une croissance plus rapide. Ce bénéfice de croissance peut être observé objectivement en arrosant en parallèle des plantes identiques avec de l'eau ordinaire d'un côté et de l'eau de pluie d'orage de l'autre côté.

2.2. L'exposition au soleil

Un autre phénomène connu des maraîchers est l'amélioration de la qualité de l'eau lorsque celle-ci est exposée assez longuement au soleil. Cet effet est souvent attribué au léger échauffement que cet ensoleillement induit, mais si on amène l'eau à une température identique par un autre moyen, on ne retrouve pas cet effet dynamisant.

Au cours du XXe siècle, différents chercheurs ont mis au point des eaux magnétisées ayant des fonctions bénéfiques sur le processus vivant ou sur la santé. Pour cela, ils se sont inspirés des eaux naturellement magnétisées, ou ils ont suivi une voie plus intuitive.

3. L'eau magnétisée

3.1. Définition

Magnétiser une eau, c'est lui céder les propriétés vitales qui animent les eaux stagnantes tels que l'eau de pluie, de rivière, de torrent, c'est réanimer cette eau. (Lin and Yotvat, 1990).

La magnétisation de l'eau est l'opération par laquelle on restitue à l'eau ses qualités énergétiques et vitales. Une eau restructurée est une eau qui a retrouvé sa vitalité, donc la puissance de son champ électro magnétique lui permettant de recréer des liens ou structures caractérisant l'eau vivante (Figure 4).

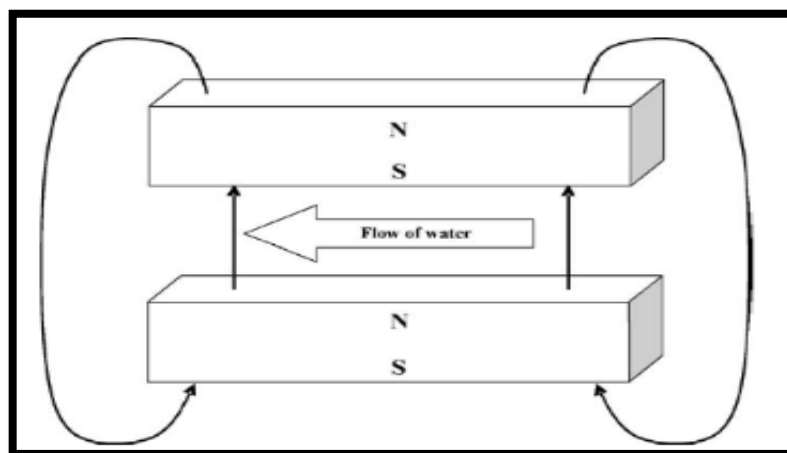


Figure 04. Schéma du champ magnétique et de la direction de l'écoulement de l'eau au cours du traitement (Maheshwari and Grewal, 2009).

Une eau magnétisée, redynamisée sur le plan moléculaire, retrouve son pouvoir inné d'absorption de l'oxygène; elle est aussi moins tendue en surface. La magnétisation permet d'obtenir une eau hautement énergisée, contrairement à l'eau fournie par le réseau public (ou par les eaux en bouteille) qui perd toute "vitalité" (transport et stockage).

La magnétisation vise à rectifier la nature subtile de l'eau qui peut produire des effets positifs sur la santé.

La magnétisation de l'eau permet d'éclater les groupements de molécules en de plus petits amas qui hydrateront mieux les cellules du corps (Figure 5).

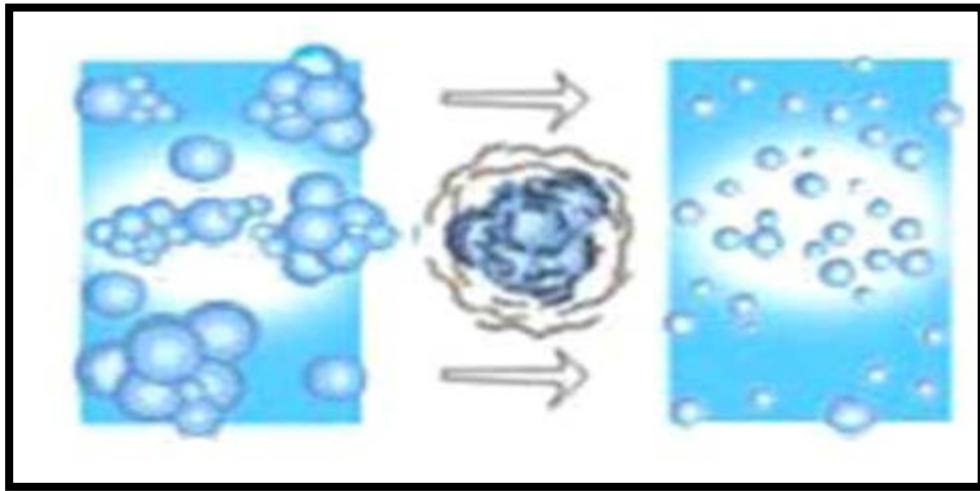


Figure 05. La structure de l'eau dynamisée en micromolécules (Microcluster).

3.2. Les principes de l'eau magnétisée

Il contient un petit caractère naturel de l'eau et de macro particules organiques et inorganiques ainsi que divers ions, zooplancton et le phytoplancton et les microbulles (Bogatin et al., 1999). Et le traitement magnétique de l'eau est basé sur le principe de «magnétique», où, l'énergie électrique est ajoutée aux particules chargées dans l'eau contenant des ions et des petites molécules avec des charges électrostatiques solides par un champ magnétique.

Le traitement magnétique de l'eau fonctionne sur le principe que l'eau passe à travers un adoucisseur d'eau magnétique, et de faire la force de Lorentz sur chaque ion qui est dans la direction opposée à l'autre. Le passage des molécules vers l'avant augmente la fréquence des collisions entre les ions côtés opposés, se combinent pour former un précipité insoluble de métal ou de composite (friture Zadeh, 2008 et al.). Les dépôts de carbonate de calcium de boue sous forme de solution et peuvent être facilement éliminés du système, car il ne sera pas adhérer aux parois des tubes.

3.3. Les propriétés de l'eau magnétisée

Les propriétés de l'eau magnétisée sont les suivantes :

1. Elle augmente considérablement sa fréquence vibratoire qui passe de 1011 à 1015 hertz, la fréquence de la lumière visible ;
2. Elle favorise l'ionisation des molécules d'eau ;
3. Plus des ions hydroxyle (OH⁻) sont créés pour former des molécules alcalines, et réduire l'acidité ;
4. Elle détruit les masses d'eau inertes pour créer une majorité d'isomères trimères ;
5. La surface de tension d'une eau magnétisée est abaissée ce qui lui confère des propriétés plus mouillantes ;
6. Elle transforme une eau oxydée en eau réduite et produit des électrons libres ;
7. La cristallisation de l'eau magnétisée montre qu'elle présente de beaux cristaux (Figure 6).

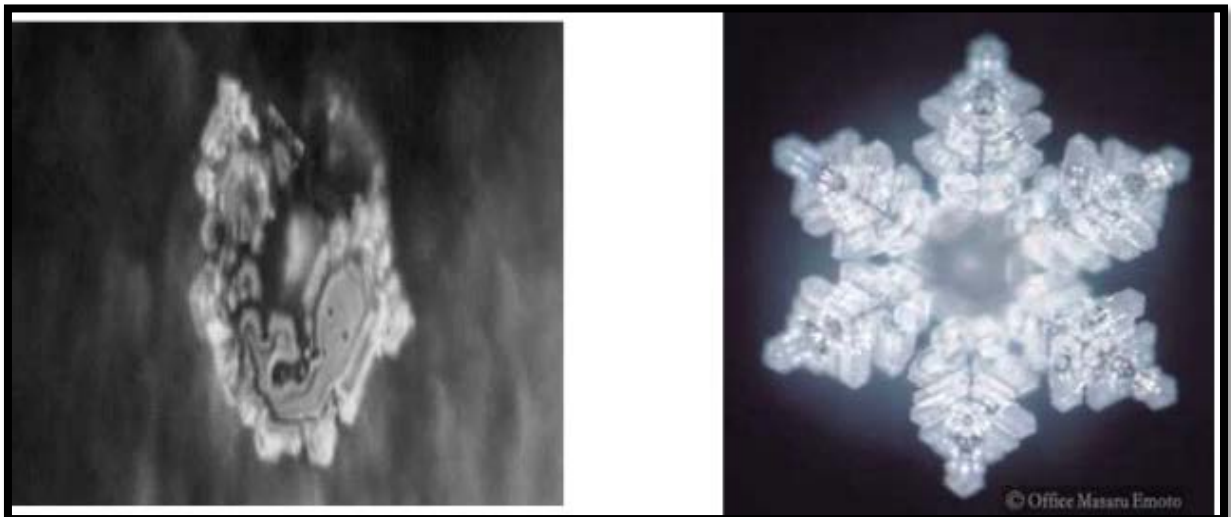


Figure 06. Cristaux de Masaru Emoto (un Médecin chercheur Japonais) (Emoto, 1999).

3.4. Les effets de l'eau magnétisée

Une eau magnétisée ou dynamisée est un facteur de vitalité et de santé pour les êtres vivants qui la boivent, qu'il s'agisse d'humains, d'animaux ou de plantes. Elle est un facteur d'harmonie pour les processus biologiques. Par exemple, si l'on soumet une eau à rotations majoritairement à gauche (spin inversé) à un procédé ou technique de dynamisation, elle se rééquilibre sur le plan subatomique. Les substances pathogènes régressent ou disparaissent chez le consommateur, et son système immunitaire s'en trouve renforcé.

3.4.1 Les effets sur l'organisme humain

L'eau magnétisée ou biodynamisée, structurée, vitalisée, magnétisée hydrate quatre fois plus qu'une eau normale et six fois plus rapidement.

1. Hydratation rapide au niveau cellulaire (revitalisation complète du corps) ;
2. Oxygénation accrue au niveau cellulaire (Figure 7);
3. Diminution des radicaux libres ;
4. pH légèrement alcalin ;
5. Activation des enzymes. Support du système immunitaire ;
6. Meilleur équilibre métabolique ;
7. Meilleure absorption des nutriments et de la communication extra-cellulaire ;
8. Amélioration de l'élimination des déchets intra-cellulaires ;

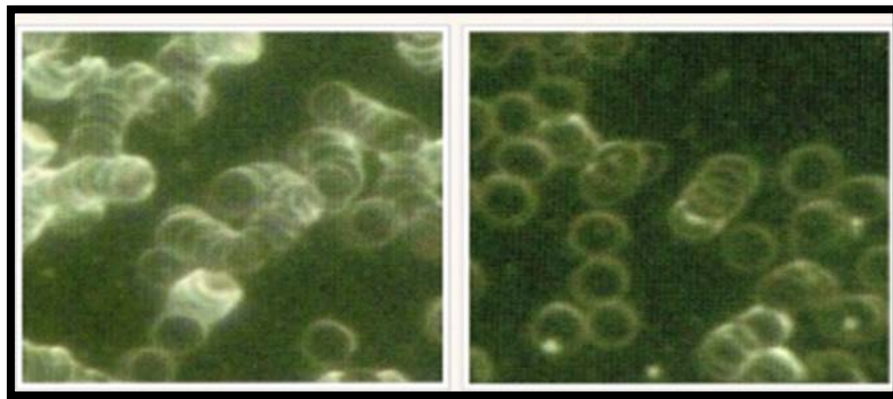


Figure 07. Effet de la consommation de l'eau vitalisée sur le sang.

Photos de gauche :

Les globules sont agglutinés en forme de "rouleau", ce qui ne permet pas une bonne oxygénation du corps, perte de leur charge électrique, mauvaise absorption des nutriments.

Photos de droite :

10 minutes après avoir bu une eau structurée, les globules rouges sont séparés, retrouvent leur charge électrique, ce qui permet une meilleure oxygénation du corps, et une meilleure absorption des nutriments. Diminution des maladies cardio-vasculaire.

3.4.2. Les effets sur la Salinité du sol et la perméabilité

Le traitement magnétique de l'eau d'irrigation saline peut être utilisé comme une méthode efficace pour la désalinisation des sols. L'application d'un champ magnétique sur l'eau diminue l'hydratation des ions de sels et de colloïdes ayant un effet positif sur la solubilité du sel, de la coagulation accélérée et la cristallisation du sel. Des expériences sur terrain ont montré que, l'eau magnétique augmente le lessivage des sels solubles en excès, réduit l'alcalinité du sol et dissout légèrement les sels solubles (Hilal et Hilal, 2000).

L'eau devient dégazé en train d'être aimanté, et ce dégazage augmente la perméabilité du sol, ce qui crée une augmentation de l'efficacité de l'irrigation (Bogatyn et al., 1999). En plus de la perméabilité du sol, de l'eau magnétique interagit avec le calcium dans la structure des membranes cellulaires, ce qui rend les cellules plus perméables (Goldsworthy et al., 1999).

3.4.3. Les effets sur les plantes

a. Amélioration de la germination des graines

L'application d'un champ magnétique a été montré pour induire la germination des graines, et d'augmenter le pourcentage de graines germées. Carbonell et al. (2000) ont montré une augmentation du taux de germination et le pourcentage de grains de riz traités par un champ magnétique. Lune et Chung (2000) a traité les graines de tomates avec un champ magnétique et a constaté que les taux de germination ont été accélérés environ 1,1-2,8 fois par rapport aux graines témoins. La germination des grandes graines d'haricots a eu lieu 2-3 jours plus tôt lorsque les graines ont subi un traitement magnétique (Podleoney et al., 2004).

b. Amélioration de l'augmentation du rendement des cultures

(Hilal., 2000 ; Reina et al., 2002) ont rapporté une augmentation significative du taux d'absorption d'eau et une augmentation de la masse totale de la laitue lorsqu'elle est traitée avec de l'eau magnétisée. Les plantes de pois chiches irrigués avec de l'eau magnétisée ont augmenté en taille et en poids que les plantes irriguées avec l'eau du robinet (Hozayn et Qados., 2010). Les auteurs attribuent cette stimulation à une augmentation des pigments photosynthétiques, où l'eau magnétique induit des cellules du métabolisme cellulaire et la mitose méristèmes chez le pois, les lentilles et le lin (Belyavskaya., 2001). En outre, on pense que les nouvelles bandes de protéines sont formés dans les plantes qui sont traitées avec de l'eau magnétisée et que ces protéines sont responsables de l'augmentation de la croissance (Hozayn et Qados, 2010).

L'eau magnétisée a été liée à l'augmentation des pigments photosynthétiques, des promoteurs endogènes, phénols totaux et la biosynthèse des protéines dans les plantes. (Hozayn et Qados., 2010 ; Shabrangi et Majd., 2009).

c. Autres effets de l'eau magnétisée

L'eau est la source de vie pour les plantes : plus de 70% de la plante est faite d'eau. L'eau est fondamentale pour les fonctions d'hydratation, de circulation de la sève.

L'eau magnétisée favorise :

1. L'augmentation du pouvoir mouillant de l'eau dans les tissus végétales ;

2. Un élargissement et un développement plus important des vaisseaux du xylème et de la stèle des plantules irriguées par l'eau dynamisée par rapport aux plantules irriguées par l'eau non dynamisée (Shabrangi et Majd., 2009). Selon cet auteur, ceci peut être attribué à une augmentation de l'activité de l'enzyme peroxydase qui entraîne une lignification des cellules et donc un passage rapide vers la structure secondaire ;

3. L'augmentation du développement foliaire et racinaire (Aladjadjiyan., 2002) ;

4. L'augmentation de la biomasse totale (Aladjadjiyan, 2002 ; El Sayed, 2014) ;

5. La diminution d'utilisation des produits chimiques (pesticides) ainsi que les produits de fertilisation ;

Généralement l'eau utilisée pour l'irrigation est une eau extrêmement riche en calcaire, face à cette contrainte, l'eau dynamisée surtout par les procédés à champ magnétique permet :

6. D'éviter une bonne partie de ce problème de médiocre fonctionnement des installations d'irrigation dues aux formations calcaires (empêche ainsi toute probabilité d'incrustation) ;

7. En changeant la structure des cristaux de CaCO_3 , minimise la formation de dépôts blanchâtres sur la végétation imputable au calcaire et facilite de cette manière la photosynthèse chlorophyllienne.

1. Légumineuses et Céréales

1.1. Les légumineuses

La famille des légumineuses est très diverse avec 3 sous familles: Mimosoideae, Caesalpinioideae et Papillioideae (Doyle et Luckow, 2003) et compte environ 20.000 espèces (Gepts et *al.*, 2005). La sous famille des Papillioideae regroupe les espèces cultivées les plus importantes économiquement:

Le soja (*Glycine max*, $2n = 4x = 40$), le haricot (*Phaseolus vulgaris*, $2n = 2x = 22$), le pois (*Pisum sativum*, $2n = 2x = 14$), la luzerne (*Medicago sativa*, $2n = 4x = 32$), l'arachide (*Arachis hypogaea*, $2n = 4x = 40$), le pois chiche (*Cicer arietinum*, $2n = 2x = 16$) et la fève (*Vicia faba*, $2n = 2x = 16$). Ces légumineuses cultivées forment deux groupes appelés Galegoïdes et Phaseoloïdes à l'exception de l'arachide qui appartient au groupe des Aeschynomeneae (Broughton et *al.*, 2003).

Les légumineuses sont cultivées principalement comme source de protéines pour la consommation humaine (haricot, pois, fève,...) ou l'alimentation animale (soja, luzerne,...) grâce à la fixation symbiotique de l'azote. Elles sont aussi une source importante d'huiles végétales (arachide) et de bois de qualité (bois de rose ébène). Les légumineuses à graines constituent toujours une part importante de l'alimentation du monde, particulièrement dans les pays en développement où elles sont la principale source de protéines pour l'homme. Citons le Haricot (*Phaseolus vulgaris* L) en Amérique Latine, le Pois Chiche (*Cicer arietinum* L), la lentille (*Lens culinaris*) et la Fève (*Vicia faba* L) dans le bassin méditerranéen, le Soja (*Glycine max* L) en Asie sans oublier l'Arachide (*Arachis hypogaea*) et le Pois (*Pisum sativum* L) dans le monde entier.

Les graines de légumineuses sont plus riches en protéines et moins riches en glucides que celles de céréales. Les espèces à graines riches en protéines et en huile, sans amidon, classées comme oléagineux (soja, arachide) et les espèces à graines riches en protéines, classées comme protéagineux (pois, féverole) ou légumes secs (haricot, lentille, pois chiche).

Les légumineuses occupent la deuxième place, après les céréales, pour les terres cultivées et la production. En 2004, plus de 300 millions de tonnes de légumineuses à graines ont été produites sur une superficie de 190 millions d'hectares, soit 13% des terres cultivées (FAO, 1996).

1.2. Principales caractéristiques des légumineuses

L'azote, c'est le quatrième constituant des plantes qui est utilisé dans l'élaboration de molécules importantes comme les protéines, les acides nucléiques et la chlorophylle. La spécificité de la famille des légumineuses est leur aptitude à fixer l'azote en symbiose avec

des microorganismes du sol collectivement appelées *Rhizobium* (on ne connaît qu'un seul exemple: *Parasponia*) mais le plus souvent la symbiose est réalisée avec des actinomycètes (bactéries filamenteuses) du genre *Frankia* (Benson et Silvester, 1993). Les cultures succédant aux légumineuses peuvent aussi bénéficier indirectement de l'azote fixé par l'entremise des résidus laissés par la légumineuse (Chalck, 1998).

Certains auteurs attribuent l'effet bénéfique des rotations à l'amélioration des propriétés physiques et biologiques des sols et à la capacité de quelques légumineuses à solubiliser des phosphates, du calcium et du phosphore par leurs exsudats racinaires.

Les légumineuses non cultivées, en plus de leur contribution à la fixation symbiotique de l'azote, constituent un potentiel de reforestation et de contrôle de l'érosion des sols (Ahmad et al., 1984) ; des associations symbiotiques avec ces légumineuses peuvent même fournir un couvert végétal pour les terres dégradées (Jha et al., 1995).

1.3. Les légumineuses et la salinité

La réponse des légumineuses au sel varie énormément. Zahran (1991) a reporté la variabilité de tolérance au sel des espèces cultivées qui vont de sensibles (ex haricot, pois chiche et le pois) à modérément tolérantes à la salinité (ex : soja).

L'amélioration de la productivité des légumineuses dans les zones salines nécessite l'installation d'une symbiose tolérante. Cette approche implique une amélioration génétique des deux partenaires de la symbiose. Les rhizobiums ont une gamme de tolérance au sel beaucoup plus élevée que celle de sa plante hôte (Zahran, 2001).

La salinité affecte l'initiation, le développement et le fonctionnement des nodules, de même que la capacité photosynthétique des feuilles. Il s'avère que la FSN (Fixation Symbiotique de l'Azote) est plus affectée par le sel que la croissance des plantes (Rao et al., 2002). Généralement l'activité des nodules est plus touchée par le sel que la nodulation, mais l'étape la plus sensible à la présence du sel est le processus infectieux (Payakapong et al., 2006).

En symbiose, la tolérance de la plante hôte constitue un facteur déterminant de la tolérance au sel (Soussi et al., 1998).

1.3.1. Les espèces étudiées

1.3.1.1 L'Haricot *Phaseolus vulgaris* L.

a. Origine

Cette espèce est originaire d'Amérique du Sud, où de nombreuses variétés ont été cultivées depuis les temps anciens. Il s'agit d'une plante annuelle de grande variabilité qui a donné naissance à un grand nombre de variétés cultivées qui diffèrent entre elles par le port et

la couleur, la forme, la composition des gousses et des grains, Le type originel était grimpant à rames. Cette culture a pris une très grande importance, compte-tenu de la place qu'elle occupe dans l'alimentation humaine (Bollinger, 1970).

b. Classification

- Royaume : *Plantae*
- Super division : *Spermatophyta*- semences de plante.
- Division : *Magnoliophyta*- Plantes en floraison.
- Classe : *Magnoliopsida*– dicotylédones.
- Sous –classe : *Rosidae*.
- Ordre : *Fabales*.
- Famille : *Fabaceae*.
- Genre, Espèce : *Phaseolus vulgaris*L.

c. Caractéristiques botaniques de l'espèce

L'haricot *Phaseolus vulgaris* L. Est une plante annuelle appartenant à l'ordre des Fabales et à la famille des Fabacées dont les feuilles sont trifoliées.



Photo 01. L'espèce *Phaseolus vulgaris* L.

Le système racinaire est constitué d'une racine principale et de nombreuses racines latérales qui se tiennent horizontales sur 10 cm de long. L'état structural du sol influence la profondeur d'enracinement de la plante (de 30 cm en conditions défavorables à 1 m dans d'excellentes conditions) et aussi son alimentation hydrique, déterminante pour la croissance de la plante. Une bonne implantation racinaire permet d'éviter des problèmes de flétrissement de la plante en cas de fortes chaleurs. Sur celles-ci se développent des nodosités formées par des bactéries du genre *Rhizobium* (Renard et al., 2007).

d. Ecologie de l' haricot

Les haricots secs sont des cultures légumineuses ; ils ont la capacité de fixer de l'azote. Ils sont très sensibles à la gelée, ils doivent être semés lorsqu'il n'y a plus de risque de gelée meurtrière au printemps et que la température au sol est supérieure à 10°C (Gordon, 2004). Les haricots secs s'adaptent à un vaste éventail de sol, mais ils préfèrent les sols de texture moyenne qui offrent une bonne infiltration des eaux et une bonne capacité de rétention utile du sol. Ils s'insèrent bien dans une rotation de grains céréaliers et de maïs.

e. Valeur alimentaire

La culture des légumineuses, source de protéines végétales, a été reconnue comme étant l'une des meilleures et des moins coûteuses des solutions pour l'alimentation des populations des pays en voie de développement. La nutrition dans les pays pauvres est essentiellement basée sur la consommation de légumineuses comme l'haricot, dont la richesse en protéines et en vitamines peut pallier le manque de protéines animales. Les grains de légumineuses contiennent deux à trois fois plus de protéines que les céréales (Soltner, 1990) et renferment les 24 acides aminés indispensables à l'alimentation humaine. Par leur teneur élevée en protéines (20 à 30%), les légumineuses rééquilibrent l'alimentation céréalière, surtout en acides aminés essentiels et en sels minéraux (Appert, 1992) (Tableau .1)

Tableau 01. Composition (g/100g de graines) et valeur énergétique (calorie/ 100g) des graines de *Vigna unguiculata*, de *Cicer arietinum* et de *Phaseolus vulgaris* (Sinha et Watters ,1980 ; Iserin ,1997)

Légumineuse	Protéines	Lipides	Glucides	Fibres	Matières Minérales	Eau	Calories
<i>Phaseolus vulgaris</i>	20-27	1-2	60-65	4-5	4-5	11	341
<i>Cicer arietinum</i>	20	01	62	03	2-4	12	362
<i>Vigna unguiculata</i>	22-26	1-2	60-65	4-5	3-4	11	342

f. Production et importance de l' haricot

En 2006, la production mondiale de l' haricot, selon les statistiques publiées par la FAO, s'est élevée à 28,6 millions de tonnes, dont 19,6 d' haricots secs (68 %), 6,4 d' haricots frais (22 %) et 2,6 d' haricots verts (9 %). En 2002, ces chiffres étaient respectivement de 25,7 ; 18,3 ; 5,7 et 1,7 millions de tonnes. Entre 1961 et 2006, la production totale des haricots

a doublé passant de 14,4 à 28,6 millions de tonnes progressant assez régulièrement au taux de 1,5 % par an (Anonyme 2).

L'haricot *Phaseolus vulgaris* L. représente la troisième plus importante récolte des légumineuses dans le monde. (Aydin et al., 1997).

1.3.1.2. La fève *Vicia faba* L.

a. Origine et répartition géographique et écologie

La fève *Vicia faba* L. (broad bean en anglais) décrite par Linné en 1753 est une plante Dicotylédone herbacée originaire d'Asie ou du Moyen-Orient (Abdallah, 1979 ; Ladizing, 1975), ou l'Est de l'Europe et Portugal (Schultze-Motel (1972) in Belkhodja (1996). Sa culture est très ancienne et pratiquée dans le monde entier. La fève est localisée dans l'étage bioclimatique de 250 mm de pluie, tolère bien le froid (Herzog, 1984) et les hautes températures; la somme de températures nécessaires pour accomplir son cycle végétatif varie de 1900 à 2000 °C (Carlu, 1952).

b. Classification systématique

- Règne : *Plantae*
- Sous-règne : *Tracheobionta*
- Division : *Magnoliophyta*
- Classe : *Magnoliopsida*
- Sous-classe : *Rosidae*
- Ordre des *Fabales*
- Famille des *Fabaceae*
- Genre : *Vicia*
- Espèce : *faba*

(Anne-Sophie, 2010).

Il en existe deux sous-espèces, *paucijuga* et *eu-faba*. Dont la sous-espèce *eu-faba* qui nous intéresse, on dénombre trois Variétés différentes (Gallais and Bannerot 1992) :

-*Vicia faba major*, la fève maraîchère à grosses graines destinées à la consommation humaine ;

-*Vicia faba minor*, la petite fève ou féverole utilisée pour l'alimentation du bétail ;

-*Vicia faba equina*, la fève à cheval à grains moyens aussi appelée féverole ou févette dans certaines régions. Comme son nom l'indique elle est également destinée à l'alimentation du bétail.

c. Aspect et particularités

La photo 02 représente l'aspect des feuilles, fleurs et racines avec nodosité de *Vicia faba* L. Il s'agit d'une plante robuste, grimpante, qui peut atteindre plus d'un mètre. Ses feuilles, composées de deux à sept folioles, sont alternées sur la tige de section carrée. Ses fleurs, disposées en racème (grappe), sont blanches avec un point noir sur les ailes, zygomorphes (à symétrie axiale) et hermaphrodites, à pollinisation entomophile. Sa floraison dépend de la photopériode et de la température (Evans 1959). Ses fruits sont des gousses, caractéristiques de la famille des Fabacées.

Comme chez tous les représentants de cette famille, connus sous le nom de légumineuses, les racines de la plante possèdent des nodules à l'intérieur desquelles des cellules géantes servent d'abri à une bactérie symbiotique, appartenant à l'espèce *Rhizobium leguminosarum*. Cette bactérie est capable de capter le diazote atmosphérique et de le fixer dans le sol sous forme d'ions utilisables par les plantes.



Photo 02. Différents organes de la fève *vicia faba* L.

A : la partie aérienne.

B : La partie souterraine. (N : indique la nodosité.) .

d. Intérêt écotoxicologique

La fève est robuste, sa germination est rapide, elle permet, par la rapidité de sa germination et de sa croissance, de disposer très facilement de jeunes pousses dont les racines secondaires seront déjà utilisables pour les tests au bout d'une dizaine de jours seulement. De plus, cette plante, utilisée aussi en agriculture, peut pousser sur des sols de différentes natures, d'où son intérêt dans les expériences de terrain. La fève est très sensible à la pollution du sol, ce qui en fait un modèle végétal très utilisé en écotoxicologie dans un grand nombre d'études. Elle est utilisée dans un grand nombre d'études de mutagenèse par le test des aberrations chromosomiques à cause de la simplicité de son caryotype (De Marco *et al.* 1995; Sang et Li

2004). De plus, la grande quantité d'ADN contenue dans son noyau (Bennett 1976), la rend très sensible aux molécules génotoxiques (Ferrara *et al.* 2004). Ainsi, elle est l'un des modèles les plus utilisés dans le test des micronoyaux, pratiqué sur les cellules-filles de ses méristèmes racinaires (Cotelle, 1999; Degrassi; Duan *et al.* 1999; Marcato-Romain *et al.* 2009). Un autre test de génotoxicité, le test des comètes, est également pratiqué sur différents tissus de la plante (Cotelle 1999; Koppen et Verschaeve 1996; Lin *et al.* 2007). *Vicia faba L* est en outre aussi employée pour étudier les réponses des marqueurs du stress oxydant (Radetski *et al.* 2004) et d'autres défenses antitoxiques de la plante comme les phytochélatines (Beraud 2007).

e. Intérêt économique

La fève est une des plantes légumières les plus cultivées dans le monde. La récolte mondiale de fèves s'élève à 4,75 millions de tonnes (FAO, 2002), dont : fèves vertes (1,02 millions de tonnes) et fèves sèches (3,73 millions de tonnes). Sa culture dans les pays du bassin méditerranéen représente presque 25% de la surface totale cultivée et de la production mondiale de fèves, avec un rendement très proche de la moyenne mondiale. En Afrique du Nord, elle représente une source alimentaire de première importance. En Algérie la culture de la fève est très répandue dans les plaines côtières et les zones sublittorales. Avec une surface cultivée d'environ 65000 ha et une production comprise entre 20000 et 38000 tonnes par an (Benachour *et al.*, 2007).

Les fèves séchées sont toujours une des bases de l'alimentation en Orient et en Afrique du Nord. Elles furent, avant l'haricot, le légume du cassoulet. Il faut les faire tremper avant de les cuire. Elles s'accommodent comme les haricots secs.

La farine de fève est utilisée dans des recettes régionales. Son ajout, à celles de blé et de seigle, est autorisé à raison de 2 % maximum dans la fabrication du pain. La farine de fève a une saveur prononcée de noisette et une texture onctueuse. Les « **févettes** » sont cueillies avant maturité. Elles ont une gousse vert-pâle et de petits grains. (Elferiha, 2011)

f. Valeur nutritive de la fève

La fève est une légumineuse riche en protéines végétales, en glucides, en vitamines du groupe B et en vitamine C. Elle l'est également en fibres : quelques fèves croquées en début de repas sont un excellent moyen de lutter contre la constipation. C'est un des légumes bénéfiques du régime méditerranéen. La fève peut être consommée crue, mais sans la peau épaisse qui contient des tannins. En Espagne, elle entre dans la composition du fabada, une sorte de cassoulet. En Italie, on la cuisine *alla pancetta*, avec des oignons et du lard. Au Moyen-Orient, elle est consommée en purée, en beignets ou en salade (Elferiha, 2011).

1.4. Les céréales**1.4.1. Origine et historique de la céréaliculture**

Les céréales présentent l'avantage décisif de constituer des provisions pouvant se conserver sous forme de grains de grande valeur nutritionnelle par leurs substances amylacées et leurs protéines (environ 10 %) (Doussinault et al. 1992). Les premières évidences archéologiques de récolte de céréales datent d'un peu moins de 8000 ans avant Jésus-Christ et se trouvent au Moyen-Orient dans le « croissant fertile »: Mésopotamie, Turquie, Palestine (Feldman, 1976 in Doussinault et al., 1992). A cette époque, l'engrain (*Triticum boeoticum*) et l'amidonnier (*Triticum dicoccoïdes*) faisaient l'objet de cueillette (Doussinault et al., 1992). Les premiers indices d'une agriculture apparaissent il y a 11.000 ans, au Moyen Orient, au sud de l'Anatolie et au Nord de la Syrie. C'est là que les premiers agriculteurs se fixent et commencent à cultiver les blés que leurs ancêtres récoltaient dans la nature. Les formes sauvages de diverses espèces seraient originaires du Proche et du Moyen-Orient. Après s'être établie au Proche-Orient, la céréaliculture se répand vers l'Europe, l'Asie et la vallée du Nil (Henry et De Buyser, 2001). Le passage d'une civilisation de nomades (chasseurs, cueilleurs et éleveurs) à celles d'agriculteurs sédentarisés est le résultat de la domestication progressive de graminées cultivées, le blé est indissociable de la culture Européenne, comme le maïs, le riz, le mil et le sorgho sont des cultures de l'Amérique latine, de l'Asie et de l'Afrique (Feillet, 2000). La grande révolution aura été l'apparition de plantes auxquelles les épis et les grains restaient attachés, ce qui devait permettre de les récolter et de les cultiver; la chance de l'humanité sera que ces grains sont comestibles, riches en énergie, faciles à conserver et à transporter (Feillet, 2000).

En Algérie, la culture des céréales occupe une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. La production des céréales, jachère comprise, occupe environ 80% de la superficie agricole utile (SAU) du pays. La superficie emblavée annuellement en céréales se situe entre 3 et 3,5 millions d'ha. Les superficies annuellement récoltées représentent 63% des emblavures (Djermoun, 2009). Aussi, les importations des céréales représentent 43% des valeurs globales des importations du pays et le blé dur représente la majorité des importations (Smadhi et Zella, 2009).

Les céréales sont les plantes les plus cultivées au monde par la superficie et par le volume récolté (Pastre, 1993). La vocation céréalière de l'Algérie ne date pas d'hier, elle remonte bien loin dans l'histoire, l'Algérie était le grenier de la "Rome antique" pour le blé (Zabat, 1980). L'orge est la deuxième céréale secondaire après le Sorgho, elle représente 6 % de la production totale de céréales secondaires. C'est une importante ressource énergétique en

alimentation animale. En alimentation humaine son principal débouché est la brasserie et la distillerie (Anonyme, 2007).

1.4.2. Tolérance des céréales à la salinité

D'après Munns et *al.*, (2006) la tolérance des céréales à la salinité dépend de la variabilité génétique telle que certaines espèces qui résistent à ce type de stress abiotique que d'autres. Notamment l'effet toxique des sels est moins prononcé chez le blé tendre que chez le blé dur. Ce caractère lui est conféré grâce à la présence du *Kna1*, un gène responsable à l'exclusion du sodium. En outre l'orge, arrive à croître normalement dans des conditions considérées comme limitantes. En effet, en plus de l'exclusion de sodium, la plante d'orge se sert d'un autre mécanisme de tolérance à la salinité qui se manifeste par l'emprisonnement des sels dans un compartiment bien spécifique dans la feuille. Ceci non seulement lui épargne leurs effets toxiques mais aussi contrebalance la pression osmotique du sol (Munns, 2008).

1.4.3. L'espèce étudiée : l'orge *Hordeum vulgare L.*

L'orge est la première céréale cultivée, on en trouve sa trace au Proche-Orient au moins 7000 ans avant notre ère (Botineau, 2010).

D'après Soltner (2005) l'orge est une monocotylédone, c'est une plante annuelle au cycle végétatif court 130 à 150 jours ou même moins, par rapport au blé 250 à 280 jours. Qui s'adapte aux différents climats ; elle est résistante au froid, au manque d'eau et à la pauvreté des sols (Monette et Fortin, 2006).

Le genre *Hordeum* comporte 34 espèces, qui sont généralement diploïdes à $2n = 14$ chromosomes, mais il existe des espèces sauvages tétra-ou hexaploïdes (Doré, 2006).

1.4.3.1. Origine géographique et génétique

L'orge cultivée (*Hordeum vulgare L.*) de constitution génomique diploïde, est issue des formes sauvages de *Hordeum spontaneum L.*, que l'on trouve encore aujourd'hui au Proche-Orient. *Hordeum vulgare L.* semble avoir pris naissance dans le croissant fertile, son centre d'origine. Des traces de cette espèce cultivée ont été trouvées dans les vestiges des habitants de la haute Egypte (Zohary, 1973 et Harlan, 1975) (in Mossab, 2007).

1.4.3.2. Classification de l'orge

D'après Chadefaud et Emberger (1960), Prats (1960) et Feillet (2000), (in Souilah 2009) l'orge cultivée appartient à la classification botanique suivante :

- Règne : *Plantae*
- Division : *Magnoliophyta*
- Classe : *Liliopsida*

- Sous classe : *Commelinidae*
- Ordre : *Poale*
- Famille : *Poaceae*
- Sous famille : *Hordeoideae*
- Tribu : *Hordeae*
- Sous tribu : *Hordeinae*
- Genre : *Hordeum*
- Espèce : *Hordeumvulgare L*

Line (1755), (in Souilah, 2009) classe les orges selon le degré de fertilité des épillets et la compacité de l'épi, en deux groupes :

- **Les orges à six rangs**, dont les épillets médians et latéraux sont fertiles.
- **Les orges à deux rangs**, seuls les épillets médians sont fertiles.

Selon les variétés, l'orge peut être semée en hiver ou au printemps.

- **Les orges de printemps**: sont sensibles au gel et ont un cycle végétatif plus court. Elles se sèment en février-mars. La récolte s'effectue en été.
- **Les orges d'hiver** : se sèment fin septembre - début octobre. Après avoir passées l'hiver sous terre, elles sont récoltées juste avant les orges de printemps. Elles peuvent supporter des températures allant jusqu'à -15°C.

1.4.3.3. Caractéristiques botaniques

a. Appareil végétatif

➤ Les racines

Le système racinaire fasciculé assez développé, au cours du développement de la plante, deux systèmes se forment :

- Un système primaire ou système de racines séminales qui fonctionnent de la germination au tallage.
- Un système secondaire ou système de racines coronaires qui apparait au moment où la plante se ramifie (Bouras, 1990).

➤ La tige

La tige est creuse et formée d'entre-nœuds, séparées par des nœuds, zones méristématiques à partir desquelles s'allongent les entre-nœuds et se différencient les feuilles. Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille. La hauteur de la tige varie selon les espèces, les variétés, et les conditions de culture. L'orge (*Hordeum vulgare*L.) s'étend entre 60 cm à 150 cm (Souilah, 2009).

➤ Les feuilles

Les feuilles sont alternes, longues, étroites et à nervures parallèles. Chaque feuille comprend deux parties : une portion inférieure enveloppant l'entre-nœud correspondant à la graine, et une portion supérieure, le limbe (Soltner, 1990).



Figure 08. Description de l'orge.

A- Schéma descriptif de l'orge. **B-** Orge à 2 rangs ,6 rangs

b. Inflorescence

Le type d'inflorescence est un épi, constitué d'un ensemble d'unités appelées : épillets. Chaque épillet est une petite grappe de une à cinq fleurs, enveloppées chacune par deux glumelles (inférieures et supérieures). Les fleurs sont attachées sur le rachillet (rameau partant de l'axe principal de l'inflorescence) (Boulal et *al.* 2007).

c. Fruit

Le fruit des graminées (Poacées), le caryopse est comme son appareil végétatif, son inflorescence et sa fleur, tout à fait remarquable parmi les angiospermes (Doré, 2006).

Ce fruit est un akène (un petit fruit sec à maturité indéhiscent, issu d'un carpelle unique et libre, et ne contenant qu'une seule graine non soudée au péricarpe), mais un akène particulier dans lequel la paroi mince du fruit (péricarpe) est intimement soudée à la paroi de la graine (tégument). La graine n'est pas libre et c'est donc le fruit qui est utilisé comme semence. Il s'agit de deux types de grains :

- **Grains vêtus**

S'entend des variétés d'orge dont les grains sont toujours attachés à la glume extérieure après la moisson. Les variétés d'orge à grains vêtus peuvent compter deux ou six rangs.

- **Grains nus**

S'entend des variétés d'orge dont les grains ne sont pas solidement attachés à la glume extérieure. La glume extérieure des variétés d'orge à grains nus est très lâche, et elle se détache normalement durant la moisson. Les transformateurs désignent souvent ce type d'orge comme de l'orge « nue ». Les variétés d'orge à grains nus peuvent compter deux ou six rangs (CCG, 2013).

1.4.3.4. Exigences agro-écologiques de l'orge

a. Sol

Les blés et les orges prospèrent sur une gamme assez variée de sols. L'optimum semble être des terres neutres profondes et de texture équilibrée (Simon et al., 1989). Les moins bonnes sont les terres très argileuses, mal drainées, les terres très calcaires et les terres trop sableuses, acides (Soltner, 1990).

b. Eau

Les exigences en eau sont légèrement plus réduites et surtout importantes au début de la Végétation : l'orge est une céréale plus précoce que le blé, ce qui explique que sa culture s'est bien développée dans les régions à printemps sec (Soltner, 1990). Selon Simon et al., (1989) Les besoins globaux sont estimés à 450-500 mm pour une production de 40 quintaux.

c. Température

Le zéro de germination de l'orge est 0°C. L'orge est plus sensible au froid que le blé. Selon la sensibilité variétale, le seuil thermique de mortalité varie entre -12°C et -16°C (Simon et al., 1989).

d. Photopériode

L'orge est adaptée aux jours longs. La durée d'éclairement doit être environ 12 heures pour que l'épi commence à monter dans la tige (Simon et al. 1989).

1.4.3.5. Objectifs et critères de sélection de l'orge

Trois principaux objectifs sont recherchés dans la sélection de l'orge :

- **productivité et stabilité du rendement** : L'élaboration du rendement implique l'enchaînement de multiples mécanismes liés à la croissance et au développement des peuplements végétaux en relation avec les facteurs et conditions du milieu (Picard, 1994).
- **Résistance à la verse** : Selon Moule (1980), l'orge est, des trois céréales (blé, orge, avoine), la plus sensible à cet accident qui est le facteur limitant principal de la fumure. Cependant selon les régions, la résistance à divers stress doit être considérée (sécheresse, salinité du sol) (Jestin, 1992). En effet l'adaptabilité au milieu est un phénomène essentiel

en raison des relations entre conditions de culture et expression des potentialités génétique (Combe et Picard, 1994).

- **Résistance aux maladies** : la maîtrise des maladies par les traitements chimiques n'est pas sans inconvénients (Simon, 1989), l'objectif est de rechercher des génotypes qui présentent avec l'agent pathogène un rapport d'incompatibilité (Seilleur, 1989).

1.4.3.6. Valeur alimentaire de l'orge

Les céréales sont présentes partout dans toutes les cuisines du monde. Pourtant, dans l'alimentation moderne (Fraval et *al.*, 2011).

L'utilisation de l'orge pour la consommation humaine n'est pas très importante dans les pays occidentaux. En Asie, en Afrique du nord et au Moyen-Orient, on l'utilise sous forme de farine ou de grains pour les porridges. Dans les pays industrialisés, l'orge est principalement utilisée pour nourrir le bétail et pour la boulangerie (Monette et Fortin, 2006).

En Algérie, les céréales sont la base alimentaire de la population (220Kg / individu / an) elles occupent la première place en surface agricole (Anonyme, 2004). Selon Leureau (1999), la valeur calorique et la teneur en éléments nutritifs de l'orge sont mentionnées dans le Tableau 2.

Tableau 02. Valeur calorique et teneur en éléments nutritifs de l'orge (pour 100g de grains) (Leureau, 1999).

Eau (g)	Valeur calorique (g)	Protéines (%)	Matières Grasses (g)	Ensemble déshydrates de carbones (g)	Calcium (mg)	Fer (g)	Thiamine (mg)	Acide Nicotinique
12	-	11	1.8	73	60	4	0.46	5.5

1. Estimation de l'efficacité de l'appareil de magnétisation : Delta Water

1.1. Etude physico-chimique des eaux utilisées

Pour étudier l'effet de la magnétisation des eaux sur le développement des plantes, une caractérisation physico-chimique des eaux utilisées pour l'irrigation des sites expérimentaux a été effectuée (Tableau 05).

L'eau magnétisée utilisée pour les essais est obtenue par le passage de l'eau à travers l'appareil « Delta Water ».

Tableau 05. Qualité physico-chimique de l'eau utilisée

Paramètres	Eau magnétisée	Eau non magnétisée
CE (dS/m)	2.10	2.17
pH	7.45	7.40
Na ⁺	6.70	6.71
K ⁺	0.20	0.20
Ca ²⁺	2.54	2.58
Mg ²⁺	3.75	3.79
Cl ⁻	6.40	6.47
So ₄ ²⁻	2.80	2.82
Hco ³⁻	1	1
Co ₃ ²⁻	0	0
SAR	3.78	3.76

La caractérisation physico-chimique de l'eau utilisée dans notre expérimentation, avant et après magnétisation montre que :

- La magnétisation entraîne une légère augmentation du pH, Cette légère diminution ne dépasse pas les 0,05 unités. Donc le pH est légèrement basique.

Selon Rodier et *al* (2005), le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Il intervient dans des phénomènes complexes avec d'autres paramètres comme la dureté, le dioxyde de carbone, l'alcalinité et la température.

- La magnétisation entraîne aussi une légère diminution de la conductivité électrique.

- La magnétisation de l'eau montre des variations non significatives des cations et des anions analysés.

- D'après la classification de RIVKRSIDE pour les eaux d'irrigations en fonction de la conductivité électrique (CE) et du "sodium absorption ration " SAR, il s'avère que l'eau utilisée dans notre expérimentation (CE = 2,10 ms/cm, SAR =3.78) appartient à la classe

C3S1 ; Cette eau présente une qualité moyenne à médiocre à utiliser avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.

1.2. Evolution de la conductivité électrique et du pH de l'eau d'irrigation

Le suivi de la qualité des eaux d'irrigation a été réalisé depuis le semis.

Le tableau 06 regroupe les résultats obtenus durant les différentes phases de développement des cultures, en indiquant les valeurs limites (faibles et fortes) des paramètres de suivis avec une comparaison aux normes d'utilisation des eaux d'irrigation (Tableau 04, annexe 03).

L'examen de l'ensemble de ces résultats permet de distinguer les faits suivants :

- une légère augmentation progressive des valeurs du pH et une légère diminution de la conductivité électrique des eaux magnétisées par rapport à celles non magnétisées.
- La conductivité électrique des eaux dépasse dans tous les cas 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et ne dépasse pas 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ces résultats montrent que ces eaux a salinité élevé selon la Classification des eaux d'irrigation proposée par l'United States Department of Agriculture (USDA). La conductivité électrique est l'un des critères de choix pour juger l'aptitude d'une eau à un usage agricole.

Tableau 06. Evolution du Ce et du pH des eaux d'irrigation

La date	Eau magnétisée		Eau non magnétisée	
	CE (dS/m)	pH	CE (dS/m)	pH
01/01/2017	2.01	7.75	2.07	7.70
15/01/2017	2.06	7.66	2.08	7.63
01/02/2017	2.00	7.65	2.05	7.65
15/02/2017	2.00	7.74	2.07	7.70
28/02/2017	1.98	7.74	2.00	7.72
15/03/2017	2.00	7.71	2.04	7.70
30/03/2017	1.98	7.71	2.00	7.65
15/04/2017	1.94	7.80	1.97	7.71

1.3. Evolution de la conductivité électrique et du pH de l'eau de drainage

1.3.1. Evolution du pH de l'eau de drainage

Le suivi de l'évolution du pH des eaux de drainage a été effectué à intervalles de 15 jours (Tableau 07). D'après ces résultats, on remarque une diminution des valeurs du pH de l'eau magnétisée par rapport à celle non magnétisée. Cette diminution est de l'ordre de 0.07 unité.

Tableau 07. Evolution du pH de l'eau de drainage.

Date	pH	
	Eau magnétisée	Eau non magnétisée
01/01/2017	7,75	7,78
15/01/2017	7,87	7,96
01/02/2017	7,97	8,04
15/02/2017	7,70	7,76
28/02/2017	7,71	7,80
15/03/2017	7,78	7,88
30/03/2017	7,82	7,87
15/04/2017	7,75	7,80

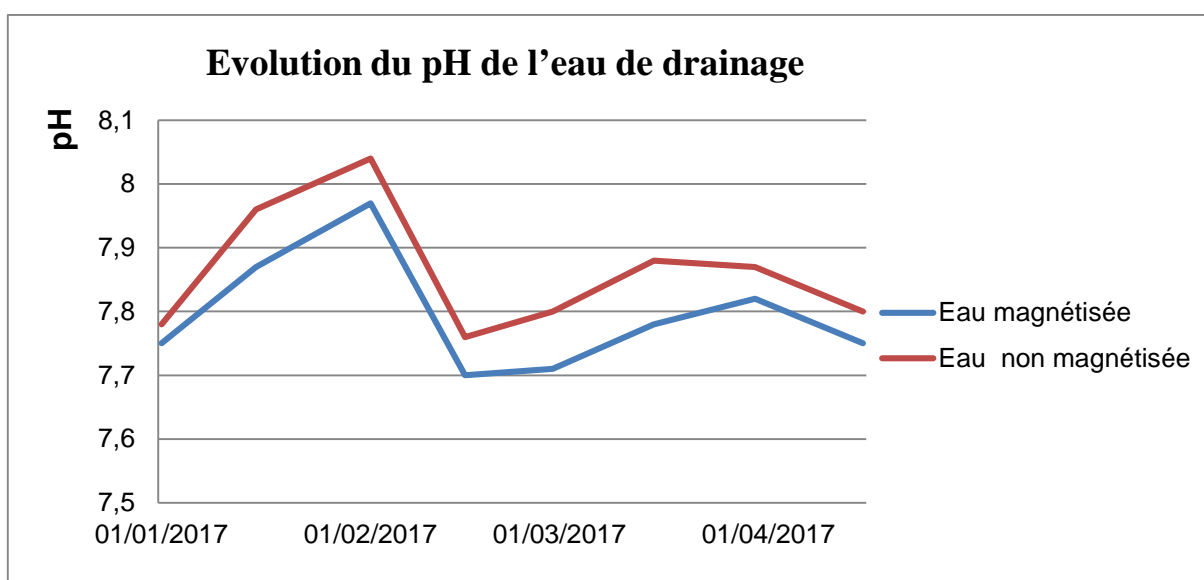


Figure 11. Evolution du pH de l'eau de drainage.

1.3.2. Evolution de la conductivité électrique

Pour la conductivité électrique, on enregistre une augmentation progressive de la conductivité électrique de l'eau de drainage en fonction du temps (Figure 07). Aussi la conductivité électrique de l'eau de drainage magnétisée est plus importante que l'eau de drainage non magnétisée. Ces valeurs de conductivité électrique élevées traduisent selon (Gaujous, 1995) une minéralisation importante et indiquent ainsi une certaine richesse en sels, expliquant les valeurs élevées enregistrées dans l'eau magnétisée de drainage.

L'augmentation de la conductivité électrique de l'eau de drainage peut être expliquée par l'effet de l'irrigation par l'eau magnétisée sur le lessivage des sels.

Tableau 08. Evolution de la conductivité électrique.

Date	CE (dS/m)	
	Eau magnétisée	Eau non magnétisée
01/01/2017	2,58	2,23
15/01/2017	2,40	2,04
01/02/2017	2,55	2,25
15/02/2017	4,00	3,43
28/02/2017	4,20	3,35
15/03/2017	4,30	4,15
30/03/2017	6,11	5,48
15/04/2017	7,09	5,96

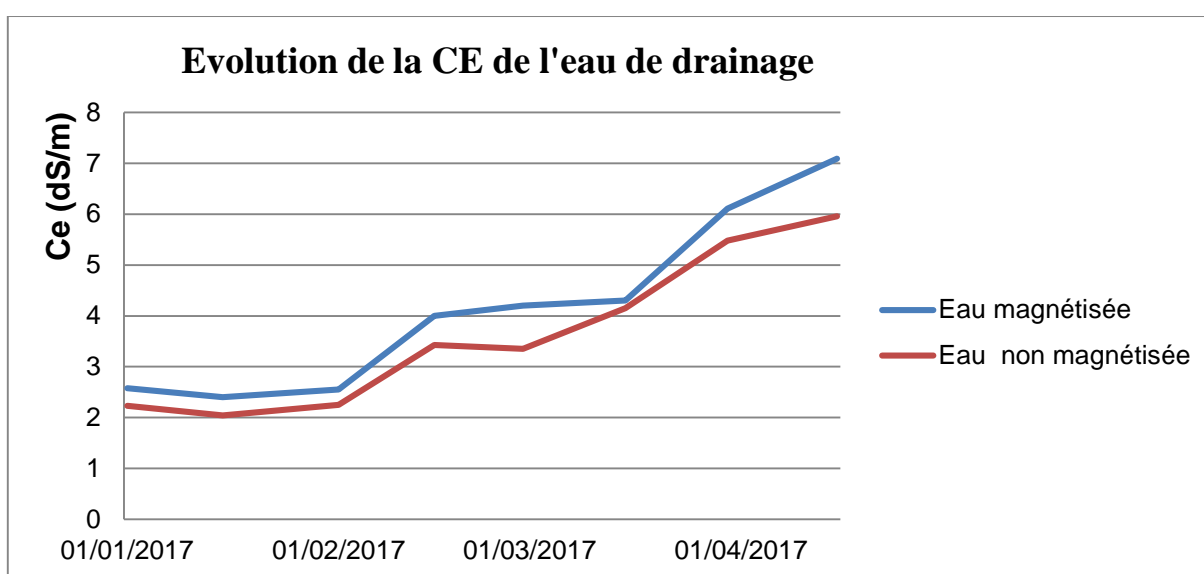


Figure 12. Evolution de la conductivité électrique de l'eau de drainage.

2. Caractérisation physico-chimique du sol avant et après l'irrigation par l'eau magnétisée

2.1. Caractérisation physico-chimique du sol avant l'irrigation

Les analyses physico-chimiques du sol avant la mise en place de l'essai ont été regroupées dans le tableau 09.

Selon les normes d'interprétation des analyses de sol (Annexe. 04), Les résultats montrent que ce sol présente une texture limoneuse. En se référant à la classification d'USDA, ce sol appartient à la classe des textures moyennes. Le pH est Légèrement alcalin. La salinité est très faible (sols non salés). La teneur en calcaire est moyennement élevée. La teneur en matière organique est largement satisfaisante. La teneur en phosphore assimilable est élevée.

Tableau 09. Caractérisation physicochimique du sol du site expérimental.

Caractéristiques		Valeurs
pHeau		7.35
CEd1/5 (dS/m)		0.3
CEps (dS/m)		3.00
CaCO3 Total (%)		11.03
CaCO3 actif (%)		1.78
MO (%)		4.57
N total (%)		0.23
P2O5 (ppm)		128.78
CEC (meq/100g)		11.62
Bases échangeables (meq/100g)	Ca ⁺⁺	7.54
	Mg ⁺⁺	6.98
	K ⁺	0.84
	Na ⁺	1.24
ESP (%)		10.67
Sels solubles (meq/l)	Ca ⁺⁺	3,65
	Mg ⁺⁺	4,3475
	K ⁺	1,2825
	Na ⁺	6,445
	Cl ⁻	1,7
	CO3 ⁻⁻	0
	HCO3 ⁻	0,45
SO4 ⁻⁻	2,6275	
GRANULOMÉTRIE	Sable (%)	52
	Limon (%)	34
	Argile (%)	14
	Texture	limoneuse

2.2. Caractérisation physico-chimique du sol après l'irrigation

Tableau 10. Résultats des analyses physicochimiques du sol

Caractéristiques	Témoin (état initial)	Irrigation avec l'eau magnétisée	Irrigation avec l'eau non magnétisée
pH-eau	7.35	8.14	7.74
CEd1/5 (dS/m)	0.3	0.243	0.348
CaCO ₃ Total (%)	11.03	10.73	10.98
CaCO ₃ actif (%)	1.78	1.82	1.75
MO (%)	4.57	4.50	4.49
N total (%)	0.23	0.225	0.224
P ₂ O ₅ (ppm)	128.78	125.54	121.62

2.2.1. Le pH

La réaction du sol, acide ou alcaline, est mesurée par son pH. Selon l'échelle d'interprétation du pH établie par Duclos (1979) (Tableau 06, Annexe 4). Le pH moyen du sol de notre expérimentation est de l'ordre de 7,35. Cette valeur de pH est considérée comme légèrement alcaline.

On remarque que le pH du sol augmente avec l'utilisation de l'eau magnétisée et non magnétisée, ces valeurs sont respectivement de 8,14 et 7,74.

2.2.2. La conductivité électrique

Pour la conductivité électrique, le sol irrigué par l'eau non magnétisée enregistre une augmentation de la CE(0.348 dS/m). Par contre le sol irrigué par l'eau magnétisée indique une décroissance de la CE(0.243 dS/m) par rapport à l'état initial du sol (0.3 dS/m). Cette décroissance est de l'ordre de 0.057dS/m.

2.2.3. La matière organique

En se référant au tableau 07, Annexe 04 (Interprétation des résultats d'analyse de la matière organique), les teneurs en matière organique pour les sols irrigués par l'eau magnétisée et l'eau non magnétisée sont largement satisfaisantes.

La matière organique contribue et facilite l'obtention d'un état structural stable (Morei, 1995 cité par Roula, 2005) par conséquent, il y aurait une meilleure porosité, une bonne perméabilité, une meilleure aération et un meilleur réchauffement du sol. Comme elle joue un rôle important dans la rétention de l'eau (Jaunes et Jacobsen, 2001), et sous l'action des

microorganismes du sol, elle libère les éléments minéraux qui sont indispensables à la nutrition et au développement des plantes (Bollag et al, 1998).

2.2.4. Calcaire total

La teneur en calcaire du sol est déterminante pour le choix de la forme des engrais à préconiser et notamment celles des fertilisants phosphatés.

Selon les normes d'interprétation des analyses de sol (Tableau 08, Annexe 04), les teneurs en calcaire du sol du site expérimental sont moyennement élevées.

2.2.5. Phosphore assimilable

Selon les normes d'interprétation des analyses de sol (Tableau 09, Annexe 04), les teneurs en phosphore assimilable sont élevées au niveau du sol des deux traitements (eau magnétisée et non magnétisée).

D'après Roula, (2005), le phosphore dissous dans la solution du sol et adsorbé sur le complexe adsorbant, constitue la réserve rapidement assimilable par la plante.

3. Action de l'eau magnétisée sur les caractéristiques morphologiques et physiologiques des plantes.

Il est difficile de suivre le comportement d'une plante à partir d'un seul paramètre. En effet le suivi du comportement des plantes vis-à-vis de l'irrigation par l'eau magnétisée a été basé sur plusieurs paramètres physiologiques, morphologiques et biochimiques.

3.1. Effet de la magnétisation de l'eau sur la germination :

3.1.1. Taux de germination (TG)

La figure 08 illustre l'effet de la magnétisation sur la germination. Ces résultats montrent :

- Il y a une différence entre l'effet d'une eau magnétisée et la même eau non magnétisée sur le taux de germination de graines de trois espèces. Les résultats montrent bien l'action positive de la magnétisation de l'eau sur le taux de germination.
- L'arrosage des graines par l'eau magnétisée (**EM**) donne le meilleur taux de germination par rapport à l'eau non magnétisée (**ENM**) et l'eau distillée (**ED**).

L'analyse de la variance à un critère des valeurs moyennes de taux de germination montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les différents traitements ($p \leq 0.001$) pour la fève, et une différence hautement significative ($p \leq 0.01$) pour l'orge et l'haricot.

Les valeurs les plus élevées sont observées chez les graines arrosées par l'eau magnétisée. Alors que les plus faibles valeurs ont été enregistrées chez les graines arrosées par l'eau non magnétisée et l'eau distillée pour les trois espèces (tableau 10, Annexe 05).

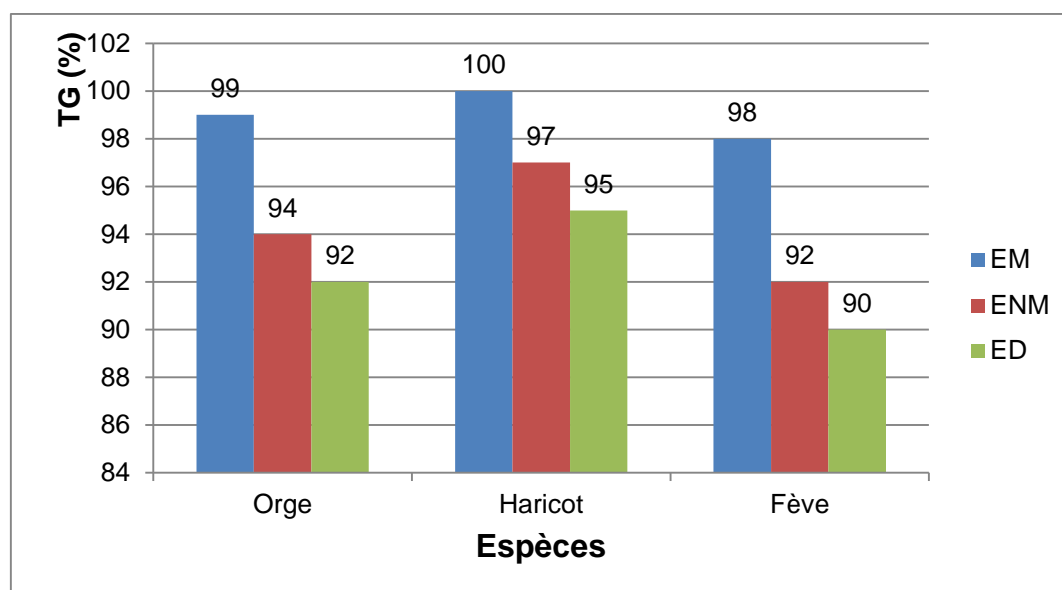


Figure 13. Effet de la magnétisation sur le taux de germination.

3.1.2. Durée de germination (DG)

a) Chez l'orge

Une germination tardive de 3 jours est enregistrée pour les graines arrosées par l'eau distillée. La durée de germination est de 2 jours pour les graines arrosées par l'eau non magnétisée et une germination précoce de 1 jour est enregistrée pour les graines arrosées par l'eau magnétisée. Soit un raccourcissement de 2 jours par rapport au témoin (eau distillée), ce qui peut expliquer l'effet de la magnétisation sur la durée de germination des graines de l'orge (Figure 14).

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence hautement significative entre les différents traitements ($p \leq 0.01$) (tableau 11, Annexe 05).

b) Chez l'haricot

Une germination tardive de 4 jours est enregistrée pour les graines arrosées par l'eau distillée. La durée de germination est de 3 jours pour les graines arrosées par l'eau non magnétisée et une germination précoce de 2 jours est enregistrée pour les graines arrosées par l'eau magnétisée. Soit un raccourcissement de 2 jours par rapport au témoin (eau distillée), ce qui peut expliquer l'effet de la magnétisation sur la durée de germination des graines de l'haricot (Figure 14).

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative entre les différents traitements ($p \leq 0.05$) (tableau 11, Annexe 05).

c) Chez la fève

Une germination tardive de 5 jours est enregistrée pour les graines arrosées par l'eau distillée. La durée de germination est de 4 jours pour les graines arrosées par l'eau non magnétisée et une germination précoce de 3 jours est enregistrée pour les graines arrosées par l'eau magnétisée. Soit un raccourcissement de 2 jours par rapport au témoin (eau distillée), ce qui peut expliquer l'effet de la magnétisation sur la durée de germination des graines de la fève (Figure 14).

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les différents traitements ($p \leq 0.001$) (tableau 11, Annexe 05).

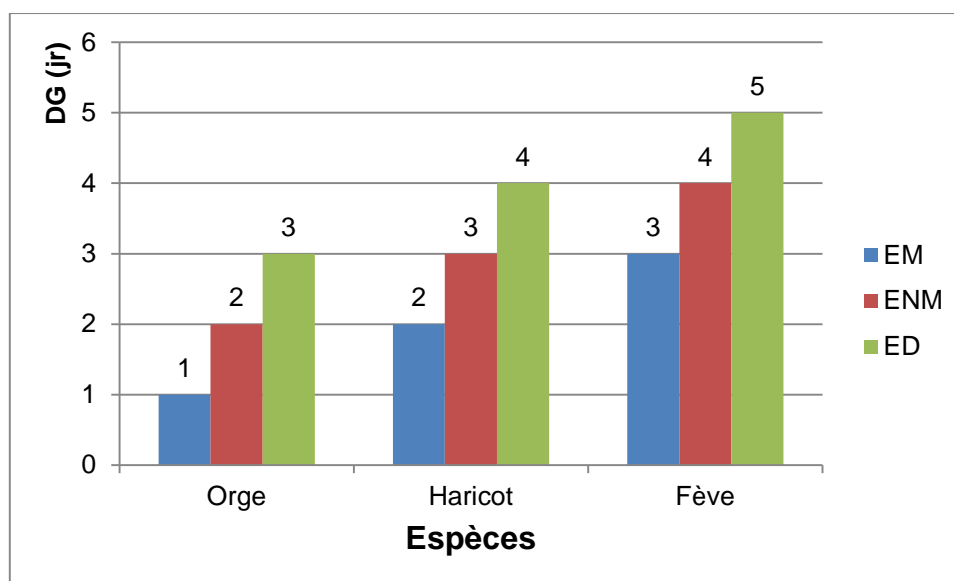


Figure 14. Effet de la magnétisation sur la durée de germination.

3.1.3. Temps Moyen de Germination (TMG)

Le temps moyen de germination des trois espèces est rapporté sur la figure 15.

Les résultats montrent que, quelle que soit l'espèce (Orge ; Haricot et Fève), le temps moyen de germination des graines arrosées par l'eau magnétisée est réduit comparativement aux graines arrosées par l'eau distillée et l'eau non magnétisée.

L'analyse de la variance à un critère de classification montre qu'il existe des différences très hautement significatives entre les traitements pour les trois espèces étudiées ($p \leq 0.001$) (tableau 12, Annexe 05).

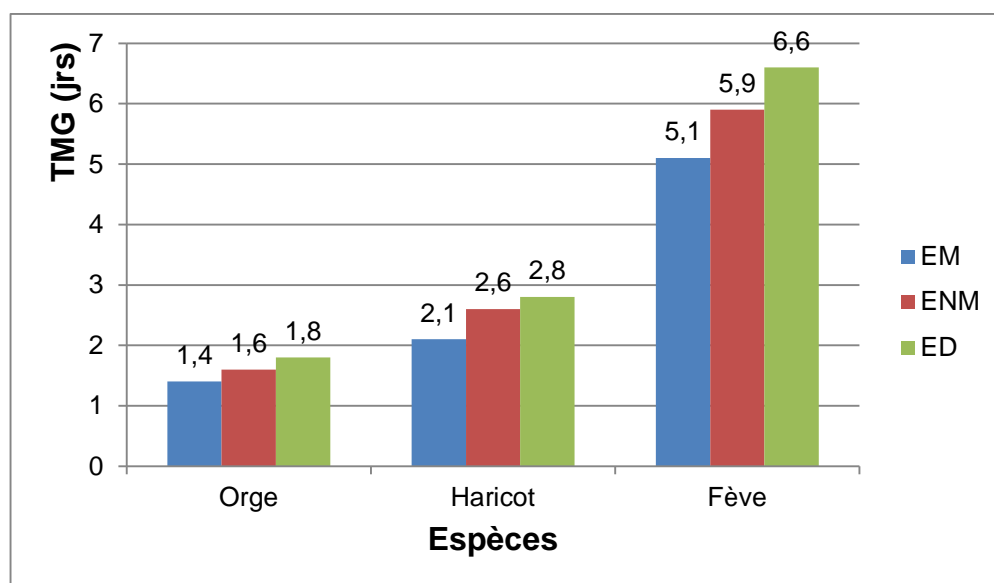


Figure 15. Effet de la magnétisation sur le temps moyen de germination.

3.2. Effets de la magnétisation de l'eau sur les caractéristiques morphologiques des plantes :

La croissance désigne les changements quantitatifs irréversibles dont la plante est le siège au cours de l'écoulement du temps (Hartmann et *al.*, 1998), cette croissance est assurée par un méristème apical, et son développement est caractérisé par une alternance de périodes d'allongement et de repos (Thiebaut et *al.*, 1990).

3.2.1. Le nombre des feuilles (NF)

Le nombre des feuilles est un bon indice d'une bonne alimentation en eau et en sels minéraux et une bonne production en biomasse par la plante (Dupuitate, 1996 cité par Roula, 2005).

a) Chez l'orge

La figure 16, montre que le nombre de feuilles est variable en fonction des traitements, ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance qui montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les traitements ($p \leq 0.001$) (tableau 13, Annexe 05), la plus faible valeur est enregistrée pour les plants irrigués par l'eau non magnétisée (26), alors que le plus grand nombre de feuilles par plant est observé chez les plants irrigués par l'eau magnétisée (43).

b) Chez l'haricot

L'analyse de la variance à un critère permet de mettre en évidence des différences hautement significatives entre les différents traitements ($p \leq 0.01$) (tableau 13, Annexe 05), le

nombre moyen de feuilles est de 14 pour les plants irrigués par l'eau non magnétisée et 17 pour les plants irrigués par l'eau magnétisée.

c) Chez la fève

Le nombre moyen des feuilles varie entre les différents traitements pour les plants de cette espèce, car il est de 30 pour les plants irrigués par l'eau non magnétisée et 40 pour les plants irrigués par l'eau magnétisée.

Ce qui est confirmé par l'analyse de la variance à un critère qui montre des différences hautement significatives entre les traitements ($p \leq 0.01$) (tableau 13, Annexe 05).

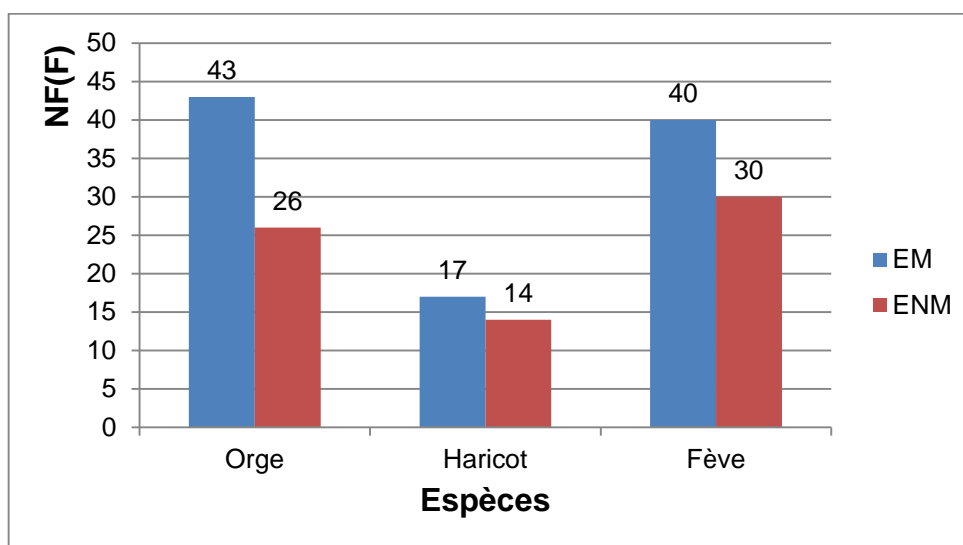


Figure 16. Effet de la magnétisation sur le nombre de feuilles.

Les travaux qui ont été réalisés par Marweni. H, (2015) sur l'irrigation d'une plante de tomate (*Solanumlycopersicum* L.) par les eaux magnétisées, confirment nos résultats. L'auteur montre que le nombre des feuilles est beaucoup plus élevé en utilisant des eaux magnétisées par rapport aux eaux non magnétisées.

3.2.2. La longueur de la tige (LPA)

a) Chez l'orge

L'analyse de la variance à un critère de classification (tableau 14, Annexe 05), de la longueur finale des plants montre une différence hautement significative ($p \leq 0.01$) entre les traitements, puisqu'il existe des grandes variations de la longueur des plants pour les différents traitements, elle est de 89.6 cm pour les plants irrigués par l'eau magnétisée, et de 77 cm pour les plants irrigués par l'eau non magnétisée (Figure 17).

b) Chez l'haricot

L'analyse de la variance à un critère permet de mettre en évidence des différences hautement significatives entre les différents traitements ($p \leq 0.01$) (tableau 14, Annexe 05), la longueur moyenne des plants de l'haricot est très variable selon les traitements, elle est de

27.6 cm pour les plants irrigués par l'eau magnétisée, et de 21.6 cm pour les plants irrigués par l'eau non magnétisée (Figure 17).

c) Chez la fève

L'analyse de la variance à un critère de classification montre qu'il existe des différences très hautement significatives entre les traitements ($p \leq 0.001$) (tableau 14, Annexe 05), En effet selon la figure 17, nous avons obtenu une longueur importante pour les plants irrigués par l'eau magnétisée 55.6 cm. Alors que les plants irrigués par l'eau non magnétisée présentent une faible longueur 48.6 cm.



Photos 08. Développement des plants des trois espèces.

(À gauche : L'Orge ; Au milieu : La fève ; À droite : L'haricot)

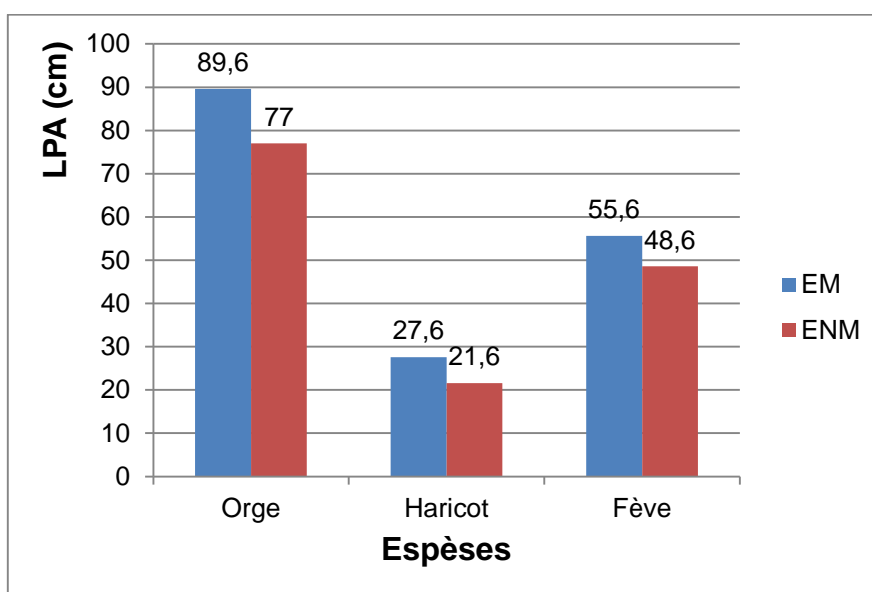


Figure 17. Effets de la magnétisation sur la longueur de la tige.

3.2.3. La longueur de la racine (LPR)

Le système racinaire révèle une grande importance du fait que les racines sont le siège de l'absorption de l'eau et des éléments minéraux dissous dans le sol.

a) Chez l'orge

L'analyse de la variance à un critère de classification pour la longueur moyenne des racines montre des différences très hautement significatives entre les traitements ($p \leq 0.001$) (tableau 15, Annexe 05), cette valeur est de 55 cm pour les plants irrigués par l'eau magnétisée et de 37.8 cm pour les plants irrigués par l'eau non magnétisée (Figure 18).

b) Chez l'haricot

La longueur moyenne des racines de cette espèce montre par l'analyse de la variance à un critère des différences hautement significatives entre les traitements ($p \leq 0.01$) (tableau 15, Annexe 05), cette valeur est de 33.2 cm pour les plants irrigués par l'eau magnétisée, et de 26.2 cm pour les plants irrigués par l'eau non magnétisée (Figure 18).

c) Chez la fève

L'analyse de la variance à un critère de la longueur moyenne des racines des plants permet de mettre en évidence une différence hautement significative entre les traitements ($p \leq 0.01$) (tableau 15, Annexe 05). La valeur la plus élevée est enregistrée pour les plants irrigués par l'eau magnétisée (39.6 cm), alors qu'elle est plus faible pour l'eau non magnétisée (34.4 cm) (Figure 18).

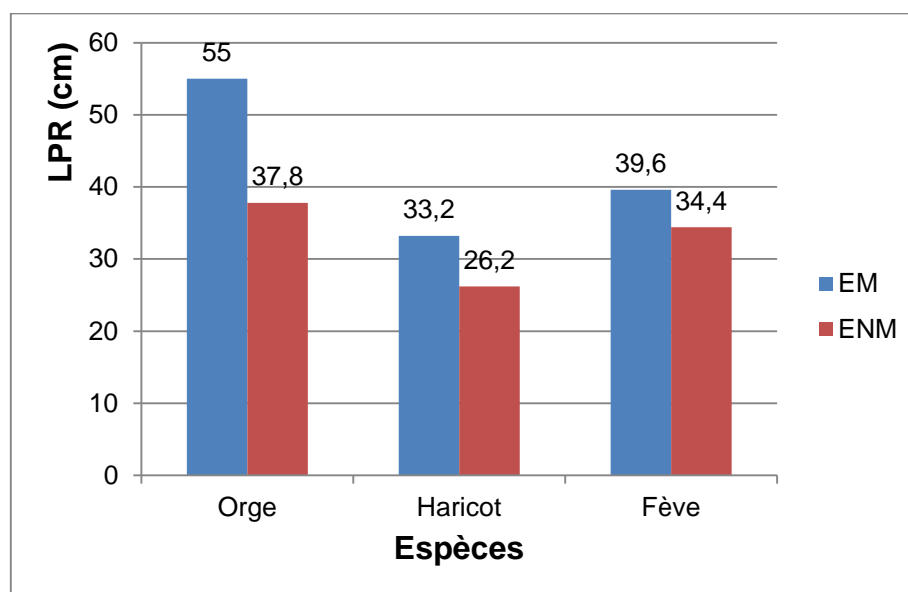


Figure 18. Effets de la magnétisation sur la longueur des racines.

3.2.4. La biomasse fraîche de la partie aérienne (BPA)

Des effets très hautement significatives ont été relevés sur la variation de la biomasse fraîche aérienne des plants des trois espèces en fonction des traitements ($p \leq 0.001$) (tableau 16, Annexe 05).

La figure 19, montre que les poids frais les plus élevés sont obtenus chez les plants irrigués par les eaux magnétisées. Ils sont de 125.81g pour l'orge, 17.08g pour l'haricot et 111.78 g pour la fève. Alors qu'on remarque une diminution des poids pour les plants irrigués par l'eau non magnétisée. Ils sont de 102.79g pour l'orge, 13.93g pour l'haricot et 75.45g pour la fève.

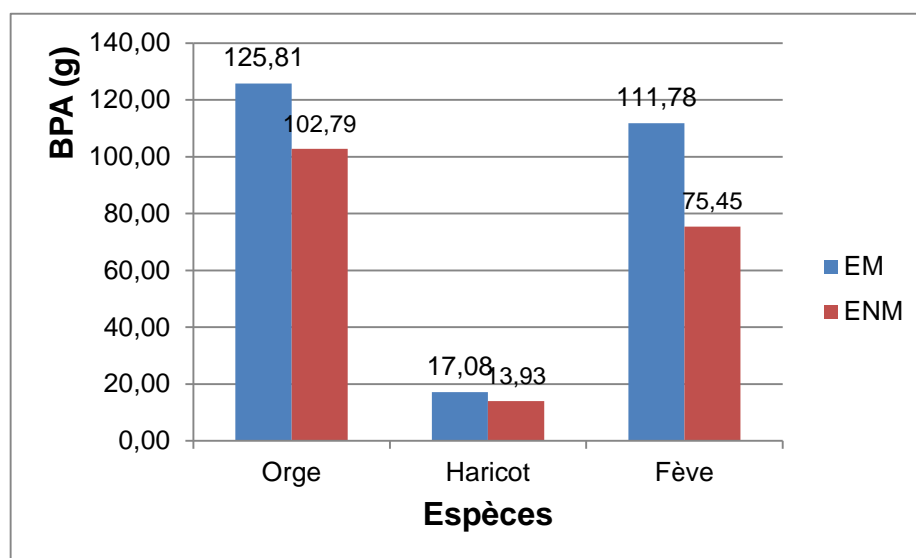


Figure 19. Effets de la magnétisation sur la biomasse fraîche de la partie aérienne.

3.2.5. La biomasse fraîche des racines (BPR)

L'analyse de la variance à un critère des valeurs moyennes de la biomasse fraîche racinaire montre des différences hautement significatives entre les traitements pour l'orge et l'haricot ($p \leq 0.01$), et des différences très hautement significatives entre les traitements pour la fève ($p \leq 0.001$) (tableau 17, Annexe 05).

La figure 20, montre que les valeurs les plus élevées sont observées chez les plants irrigués par l'eau magnétisée. Ils sont de 179.88 g pour l'orge, 16.67 g pour l'haricot et 79.86 g pour la fève. Alors que les plus faibles valeurs ont été enregistrées chez les plants irrigués par l'eau non magnétisée. Ils sont de 148.21g pour l'orge, 13.64 g pour l'haricot et 58.59 g pour la fève.

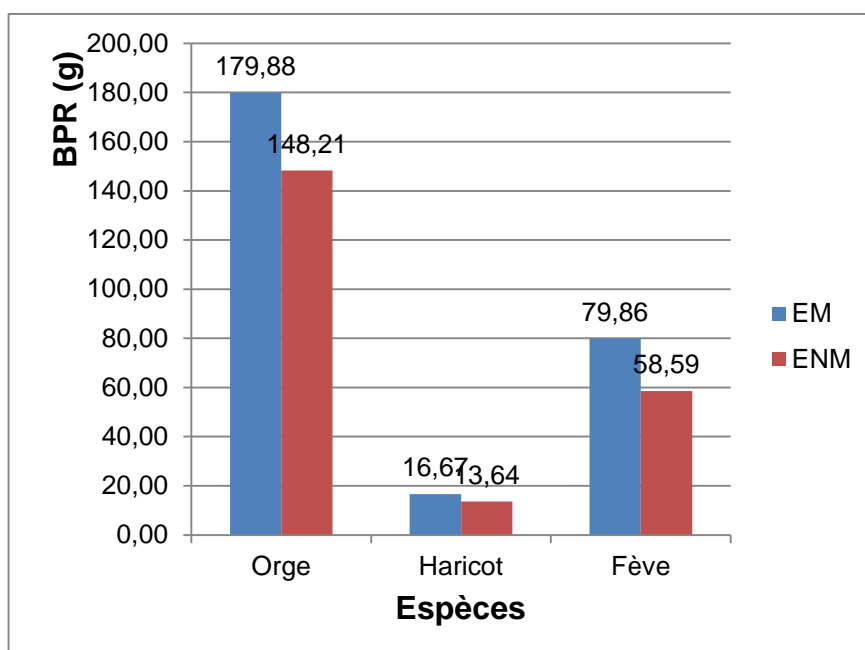


Figure 20. Effets de la magnétisation sur la biomasse fraîche de la partie racinaire.

3.2.6. Le Poids sec de la partie aérienne (PSA)

L'analyse de la variance à un critère des valeurs moyennes du poids sec de la partie aérienne montre des différences hautement significatives entre les traitements pour l'orge et l'haricot ($p \leq 0.01$), et des différences très hautement significatives entre les traitements pour la fève ($p \leq 0.001$) (tableau 18, Annexe 05).

La figure 21, montre que les valeurs les plus élevées sont observées chez les plants irrigués par l'eau magnétisée. Ils sont de 70.132 g pour l'orge, 13.074 g pour l'haricot et 33.25 g pour la fève. Alors que les plus faibles valeurs ont été enregistrées chez les plants irrigués par l'eau non magnétisée. Ils sont de 55.074 g pour l'orge, 11.368 g pour l'haricot et 24.588 g pour la fève.

La production de matière sèche de la partie aérienne suit l'évolution de la matière fraîche (Xanthoulis, 2002).

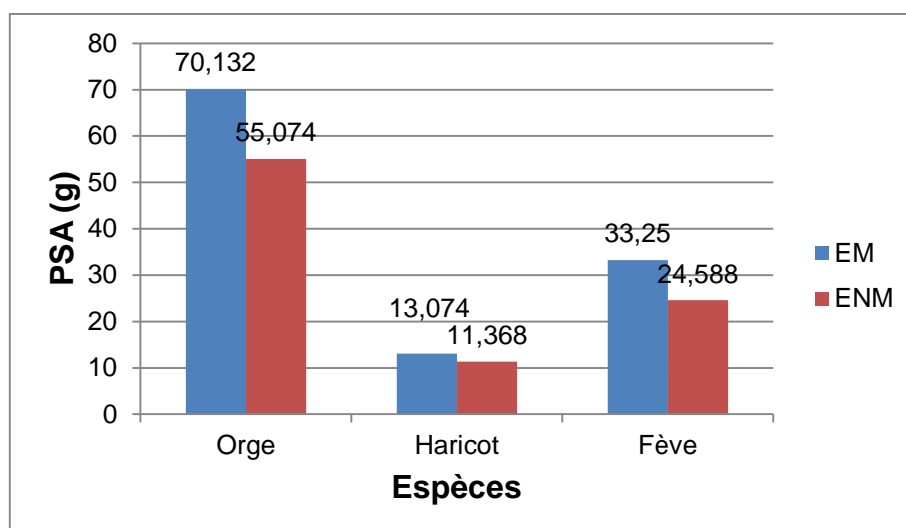


Figure 21. Effets de la magnétisation sur le Poids sec de la partie aérienne.

3.2.7. Poids sec de la partie racinaire (PSR)

L'analyse de la variance à un critère des valeurs moyennes du poids sec de la partie racinaire montre des différences hautement significatives entre les traitements pour l'orge et l'haricot ($p \leq 0.01$), et des différences très hautement significatives entre les traitements pour la fève ($p \leq 0.001$) (tableau 19, Annexe 05).

La figure 22, montre que les valeurs les plus élevées sont observées chez les plants irrigués par l'eau magnétisée. Ils sont de 138.02g pour l'orge, 11.56g pour l'haricot et 36.91g pour la fève. Alors que les plus faibles valeurs ont été enregistrées chez les plants irrigués par l'eau non magnétisée. Ils sont de 114.71g pour l'orge, 11.03g pour l'haricot et 24.25g pour la fève.

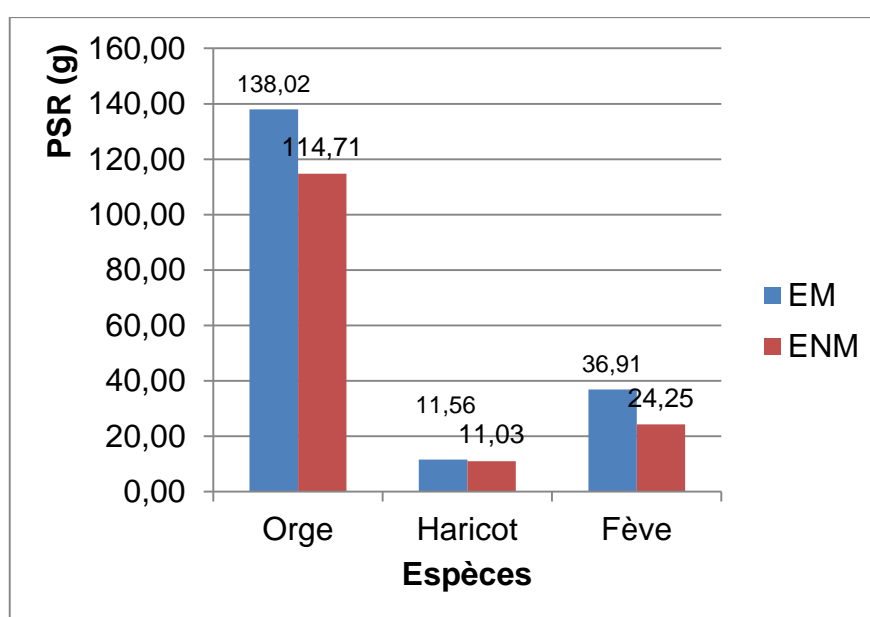


Figure 22. Effets de la magnétisation sur le Poids sec de la partie racinaire.

3.2.8. La Surface foliaire (SF)

L'analyse de la variance à un critère des valeurs moyennes de la surface foliaire montre des différences très hautement significatives entre les traitements et les espèces ($p \leq 0.001$) (tableau 20, Annexe 05).

La figure 23, montre que les surfaces foliaires les plus élevées sont observées chez les plants irrigués par les eaux magnétisées. Ils sont de 57 cm^2 pour l'orge, 43 cm^2 pour l'haricot et 106 cm^2 pour la fève. Alors qu'on remarque une diminution des surfaces foliaires pour les plants irrigués par l'eau non magnétisée. Ils sont de 44 cm^2 pour l'orge, 33 cm^2 pour l'haricot et 80 cm^2 pour la fève.

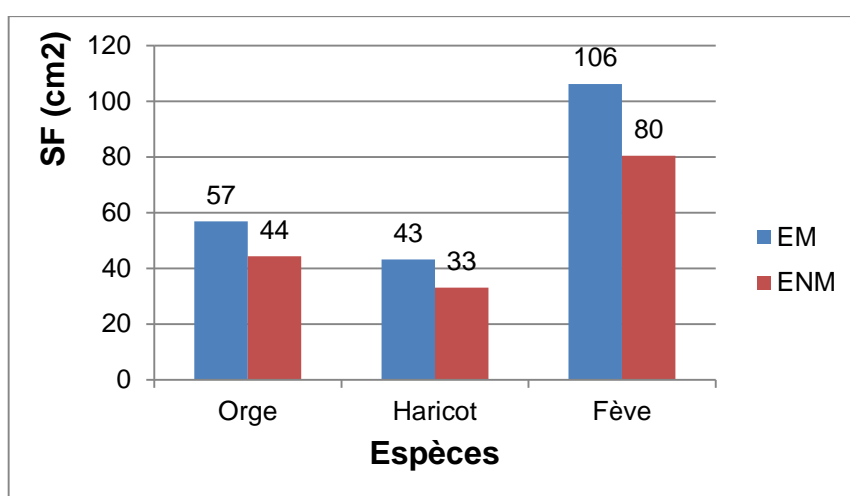


Figure 23. Effets de la magnétisation sur la surface foliaire.

3.3 Effets de la magnétisation de l'eau sur les caractéristiques physiologiques des plants :

3.3.1. Teneur en chlorophylles (Chl (a+b))

Les teneurs en chlorophylles de toutes les espèces considérées présentent des variations entre les différents traitements. Elles tendent à augmenter avec l'utilisation de l'eau magnétisée, les plants irrigués par l'eau magnétisée montrent les valeurs les plus élevées.

L'analyse de la variance pour la chlorophylle (a+b) montre des différences très hautement significatives aussi bien entre les traitements qu'entre les espèces ($p \leq 0.001$) (tableau 21, Annexe 05).

a) Chez l'orge

La figure 24 montre l'effet d'irrigation par l'eau magnétisée sur la formation de chlorophylle chez les plants de l'orge. Les résultats présentent de grandes variations entre les différents traitements, ce qui est démontré par l'analyse de variance à un critère qui montre des différences très hautement significatives entre les deux traitements, pour la chlorophylle

(a+b). Les taux les plus élevés sont ceux enregistrés pour les plants irrigués par l'eau magnétisée (12.13 $\mu\text{g/g MF}$), alors que les faibles valeurs sont enregistrées pour les plants irrigués par l'eau non magnétisée (8.14 $\mu\text{g/g MF}$).

b) Chez l'haricot

L'analyse de variance à un critère permet de mettre en évidence des différences très hautement significatives entre les différents traitements pour les teneurs en chlorophylle (a+b) chez les plants de l'haricot ($p \leq 0.001$) (tableau 21, Annexe 05), les teneurs les plus élevées sont enregistrées pour les plants irrigués par l'eau magnétisée, elles sont de 15.63 $\mu\text{g/g MF}$; alors que les faibles valeurs sont enregistrées pour les plants irrigués par l'eau non magnétisée (6.78 $\mu\text{g/g MF}$).

d) Chez la fève

L'effet des différents traitements sur la formation de la chlorophylle (a+b) chez les plants de la fève est illustré dans la figure 24 où les teneurs foliaires en chlorophylle semble très variables entre ces traitements, les plus fortes valeurs de la chlorophylle sont enregistrées au niveau des plants irrigués par l'eau magnétisée (18.20 $\mu\text{g/g MF}$), et les plus faibles valeurs de la chlorophylle sont enregistrées au niveau des plants irrigués par l'eau non magnétisée (11.97 $\mu\text{g/g MF}$). Ce qui est montré par l'analyse de la variance à un critère qui permet de mettre en évidence des différences très hautement significatives entre les traitements ($p \leq 0.001$) (tableau 21, Annexe 05).

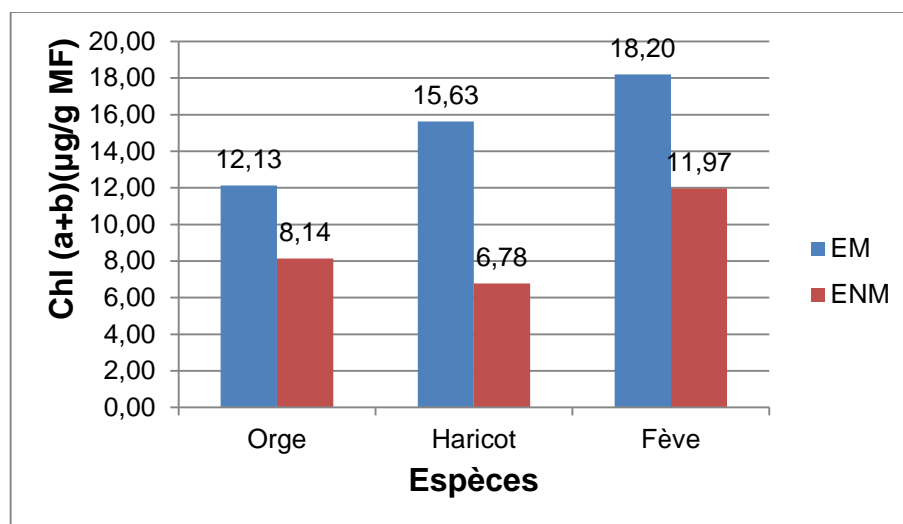


Figure 24. Effets de la magnétisation sur la teneur en chlorophylles.

Ces résultats sont en adéquation avec les travaux réalisés par Marweni. H, (2015) sur l'irrigation d'une plante de tomate (*Solanumlycopersicum L.*) par les eaux magnétisées. L'auteur montre que les teneurs foliaires en chlorophylle sont beaucoup plus élevées en utilisant des eaux magnétisées par rapport aux eaux non magnétisées.

3.3.2. Accumulation de la proline

L'accumulation de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress (osmotiques, hydriques, thermiques) (Blum, 1996). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent plus marquées (Savouré *et al.*, 1995). Généralement les teneurs en acides aminés (surtout la proline) à l'état libre s'accroissent rapidement chez de nombreuses espèces végétales soumises à un stress salin (Levigneron *et al.*, 1995). La proline est l'osmolyte le plus commun pour les plantes (Erskine *et al.*, 1996).

L'analyse de la variance à un critère montre des différences très hautement significatives entre les traitements pour les trois espèces étudiées. La fève semble l'espèce la plus accumulatrice de cet acide aminé, puis vient l'haricot et enfin l'orge.

a) Chez l'orge

Les résultats obtenus lors du dosage de la teneur en proline effectué sur les feuilles de cette espèce, montrent une différence d'accumulation de proline en fonction des traitements puisque l'analyse de la variance à un critère indique des différences très hautement significatives entre les traitements ($p \leq 0.001$) (tableau 22, Annexe 05). De ce fait les teneurs les plus élevées sont enregistrées pour les plants irrigués par l'eau non magnétisée (1.14 $\mu\text{g/gMF}$), alors que les faibles valeurs sont enregistrées pour les plants irrigués par l'eau magnétisée (1.00 $\mu\text{g/g MF}$).

b) Chez l'haricot

Les résultats montrent une importante variation concernant les teneurs en cet acide aminé pour les plants de l'haricot, ou une évolution considérable est notée pour les teneurs enregistrées chez les plants irrigués par l'eau non magnétisée (1.44 $\mu\text{g/gMF}$), alors que les plants irrigués par l'eau magnétisée montrent des valeurs très faibles (0.77 $\mu\text{g/gMF}$).

L'analyse de la variance à un critère de classification appuie ces résultats, car elle permet de mettre en évidence des différences très hautement significatives entre les deux traitements ($p \leq 0.001$) (tableau 22, Annexe 05).

c) Chez la fève

L'effet des différents traitements sur l'accumulation de la proline chez les plants de la fève est illustré dans la figure 25 où les teneurs foliaires en proline semble très variables entre ces traitements, la plus forte accumulation de la proline est enregistrée au niveau des plants irrigués par l'eau non magnétisée (1.75 $\mu\text{g/gMF}$), alors que les plants irrigués par l'eau magnétisée montrent des valeurs très faibles (1.10 $\mu\text{g/gMF}$). Ce qui est montré par l'analyse

de la variance à un critère qui permet de mettre en évidence des différences très hautement significatives entre les traitements ($p \leq 0.001$) (tableau 22, Annexe 05).

La magnétisation a entraîné une diminution de la formation de la proline ce qui se traduit par le fait que la magnétisation à neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation du sel.

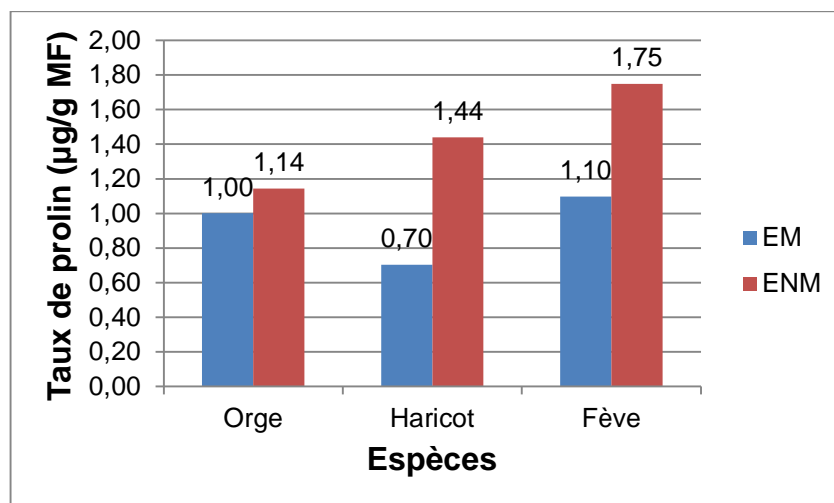


Figure 25. Effets de la magnétisation sur la teneur de la proline.

3.4. Effets de la magnétisation de l'eau sur les caractéristiques hydriques des plants :

3.4.1. Teneur en eau relative

Les mesures de la teneur en eau relative des feuilles présentent des variations notables qui sont illustrées dans la figure 26. Elles montrent que les teneurs en eau relative des feuilles sont plus élevées chez les plants irrigués par les eaux magnétisées. Elles sont de 83.95% pour l'orge, 85.64% pour l'haricot et 87.04% pour la fève. Alors qu'on remarque une diminution des teneurs en eau relative pour les plants irrigués par l'eau non magnétisée. Elles sont de 65.59% pour l'orge, 74.73% pour l'haricot et 75.36% pour la fève. Donc les plantes irriguées par l'eau magnétisée sont plus hydratées que les plantes irriguées par l'eau non magnétisée.

L'analyse de la variance à un critère des valeurs moyennes de la teneur en eau relative des feuilles montre des différences très hautement significatives entre les traitements et les espèces ($p \leq 0.001$) (tableau 23, Annexe 05).

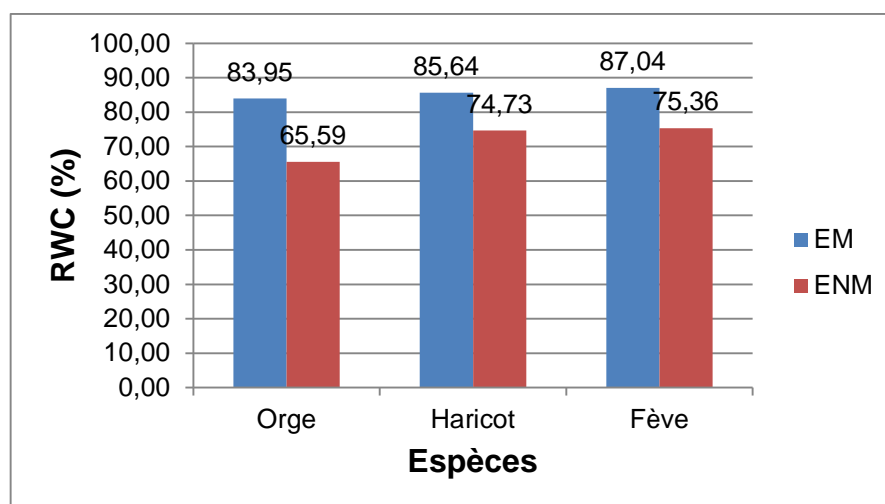


Figure 26. Effets de la magnétisation sur la teneur en eau relative.

3.5. Effets de la magnétisation de l'eau sur les caractéristiques chimiques des plants :

3.5.1 Bilan minéral du sodium et du potassium dans la plante (Partie aérienne et racines)

3.5.1.1. La teneur en sodium dans la partie aérienne

a. Chez l'orge

Les résultats obtenus par le dosage de la teneur de sodium dans la partie aérienne de cette espèce, montrent une différence d'accumulation de sodium dans la partie aérienne en fonction des traitements puisque l'analyse de la variance à un critère indique des différences très hautement significatives entre les traitements ($p \leq 0.001$) (tableau 24, Annexe 05). De ce fait les teneurs les plus élevées sont enregistrées pour les plants irrigués par l'eau non magnétisée (15.52 ppm), alors que les faibles valeurs sont enregistrées pour les plants irrigués par l'eau magnétisée (11.92 ppm).

b. Chez l'haricot

Les résultats montrent une importante variation concernant les teneurs en cet élément pour les plants de l'haricot, ou une évolution considérable est notée pour les teneurs enregistrées chez les plants irrigués par l'eau non magnétisée (10.97 ppm), alors que les plants irrigués par l'eau magnétisée montrent des valeurs très faibles (7.06 ppm).

L'analyse de la variance à un critère de classification appuie ces résultats, car elle permet de mettre en évidence des différences très hautement significatives entre les deux traitements ($p \leq 0.001$) (tableau 24, Annexe 05).

c. Chez la fève

L'effet des différents traitements sur la teneur de sodium dans la partie aérienne chez les plants de la fève est illustré dans la figure 27 où les teneurs en sodium semblent très variables entre les traitements. La plus forte teneur en sodium est enregistrée au niveau des plants

irrigués par l'eau non magnétisée (13.92 ppm), alors que les plants irrigués par l'eau magnétisée montrent des valeurs très faibles (10.91). Ce qui est montré par l'analyse de la variance à un critère qui permet de mettre en évidence des différences très hautement significatives entre les traitements ($p \leq 0.001$) (tableau 24, Annexe 05).

La magnétisation a entraîné une diminution de la teneur en sodium ce qui se traduit par le fait que la magnétisation à neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation du sel.

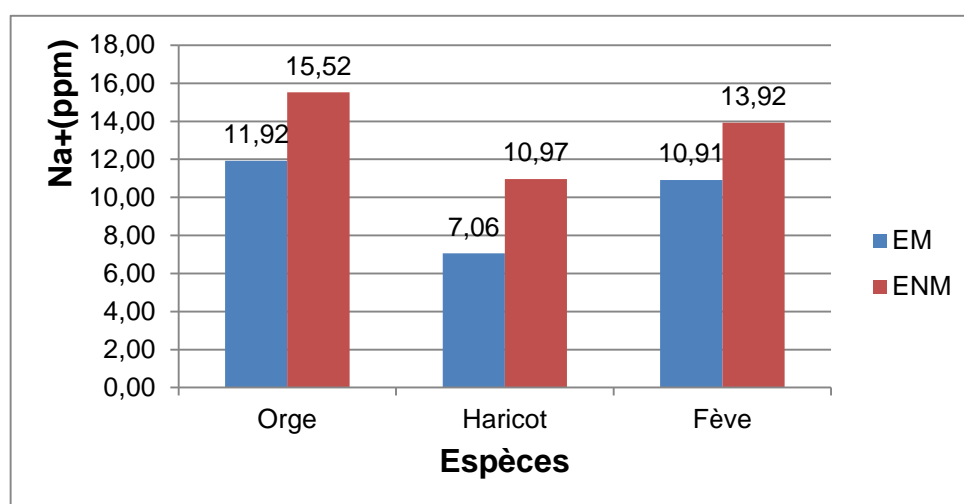


Figure 27. Effets de la magnétisation sur la teneur en sodium dans la partie aérienne.

3.5.1.2. La teneur en sodium dans la racine

Des effets très hautement significatives ont été relevés sur la variation de la teneur de sodium dans les racines des plants des trois espèces en fonction des traitements ($p \leq 0.001$) (tableau 25, Annexe 05).

La figure 28, montre que les teneurs en sodium sont plus élevés chez les plants irrigués par l'eau non magnétisée. Ils sont de 14.97 ppm pour l'orge, 10.99 ppm pour l'haricot et 13.60 ppm pour la fève. Alors qu'on remarque une diminution des teneurs en sodium pour les plants irrigués par l'eau magnétisée. Elles sont de 11.69 ppm pour l'orge, 6.80 ppm pour l'haricot et 10.24 ppm pour la fève.

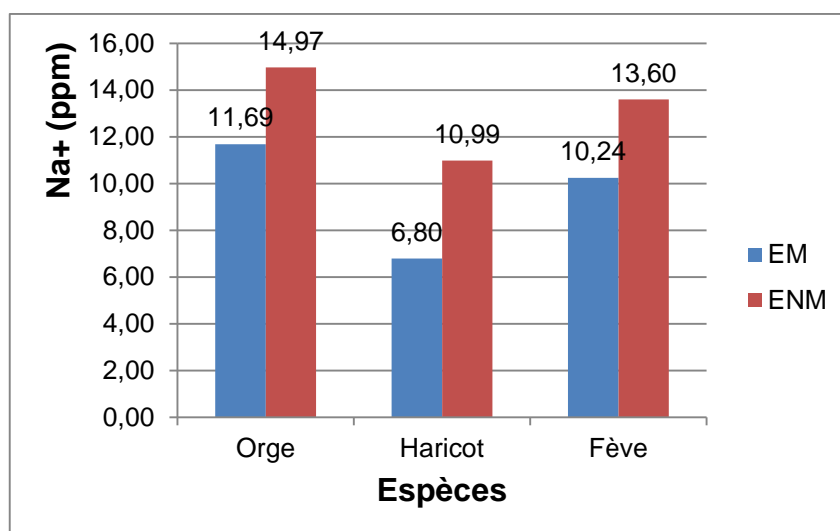


Figure 28. Effets de la magnétisation sur la teneur en sodium dans les racines.

3.5.1.3. La teneur en potassium dans la partie aérienne

Les mesures de la teneur en potassium dans la partie aérienne présentent des variations notables qui sont illustrées dans la figure 29. Elles montrent que les teneurs en potassium sont plus élevées chez les plants irrigués par l'eau non magnétisée. Ils sont de 16.72 ppm pour l'orge, 11.94 ppm pour l'haricot et 12.76 ppm pour la fève. Alors qu'on remarque une diminution des teneurs en potassium pour les plants irrigués par l'eau magnétisée. Ils sont de 13.12 ppm pour l'orge, 9.79 ppm pour l'haricot, et 11.15 ppm pour la fève.

L'analyse de la variance à un critère des valeurs moyennes de la teneur de potassium dans la partie aérienne montre des différences très hautement significatives entre les traitements pour l'orge et l'haricot ($p \leq 0.001$), et des différences hautement significatives pour la fève ($p \leq 0.01$), (tableau 26, Annexe 05).

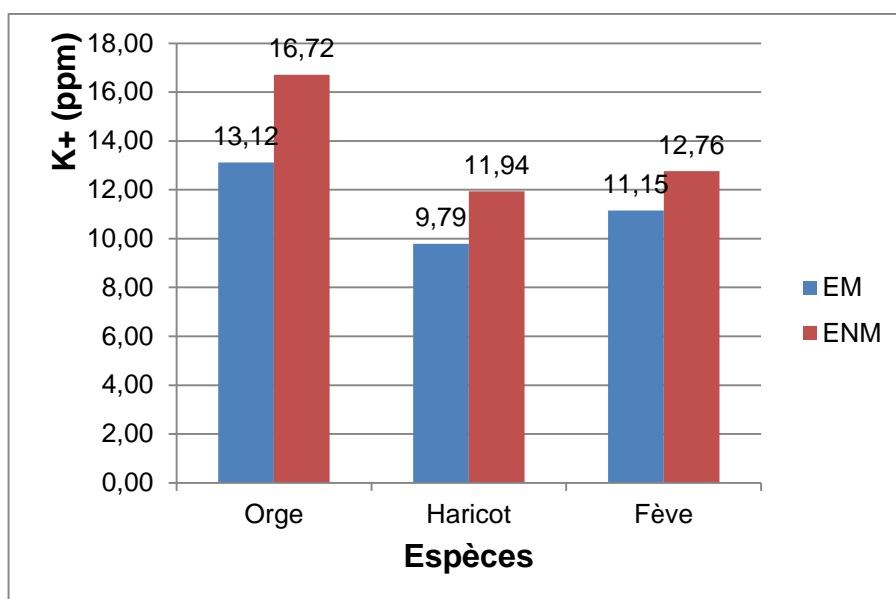


Figure 29. Effets de la magnétisation sur la teneur en potassium dans la partie aérienne.

3.5.1.4. La teneur en potassium dans les racines

L'analyse de la variance à un critère des valeurs moyennes de la teneur en potassium dans les racines montre des différences très hautement significatives entre les traitements pour l'orge et la fève ($p \leq 0.001$), et des différences hautement significatives entre les traitements pour l'haricot ($p \leq 0.01$) (tableau 27, Annexe 05).

La figure 30, montre que les valeurs de potassium dans la racine sont plus élevées chez les plants irrigués par l'eau non magnétisée. Elles sont de 15.07 ppm pour l'orge, 11.93 ppm pour l'haricot, et 13.32 ppm pour la fève. Alors que les plus faibles valeurs ont été enregistrées chez les plants irrigués par l'eau magnétisée. Elles sont de 12.17 ppm pour l'orge, 10.22 ppm pour l'haricot, et 10.57 ppm pour la fève.

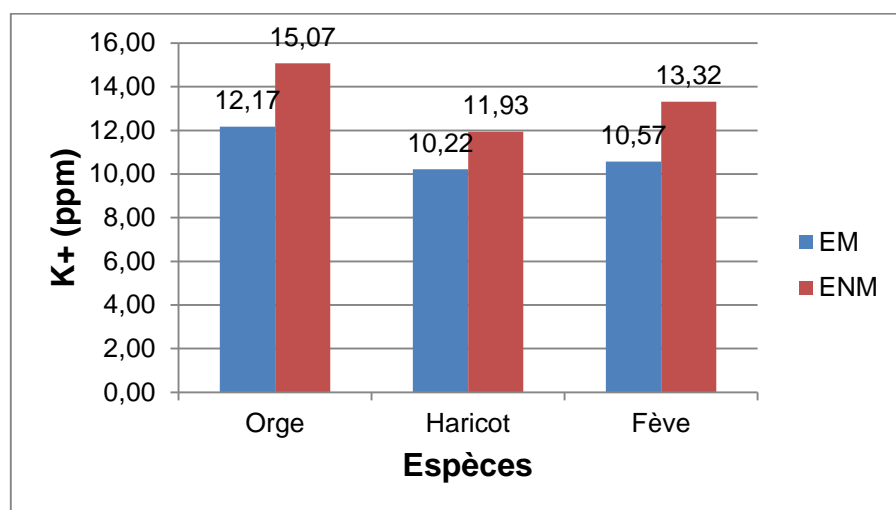


Figure 30. Effets de la magnétisation sur la teneur en potassium dans les racines.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'expérimentation en cultures irriguées est indispensable non seulement à l'évaluation des stratégies à adopter pour bien valoriser l'eau requise par une culture, mais aussi à la connaissance profonde des interactions dans le continuum sol- plante- atmosphère. C'est dans cette perspective que s'intègre l'action de gestion des sols salins en introduisant la technique de la magnétisation de l'eau.

Les résultats des essais menés sur trois plantes test (Fève *Vicia faba* L. ; l' haricot *Phaseolus vulgaris* L. et l'orge *hordeum vulgare* L.) ont montré que l'irrigation avec l'eau magnétisée entraîne des effets bénéfiques pour le développement des plantes.

Les résultats d'analyses des différents paramètres mesurés pour l'eau non magnétisée, utilisée pour l'irrigation des essais expérimentaux, montre que cette eau présente un pH légèrement basique et une conductivité électrique modérée. Elle est d'une qualité moyenne à médiocre pour l'irrigation.

Après magnétisation (eau magnétisée), on constate une légère diminution de la conductivité électrique et une légère augmentation du pH. Mais les cations et les anions ne varient pratiquement pas.

Le suivi de l'évolution du pH et de la conductivité électrique des eaux de drainage montrent qu'il y a une diminution des valeurs du pH de l'eau magnétisée et une augmentation progressive de la conductivité électrique de l'eau magnétisée par rapport à celle non magnétisée. Ceci peut s'expliquer par l'effet de la magnétisation de l'eau sur le lessivage des sels. L'utilisation de l'hydro-magnétiseur (Delta Water) nécessite aussi l'application d'une dose de lessivage dans les parcelles irriguées pour évacuer les sels en dehors de la zone racinaire et évitera ainsi leur concentration dans cette zone.

Concernant l'impact de l'utilisation des eaux magnétisées sur les paramètres physicochimiques du sol, on a trouvé une élévation du pH, elle est peut être due à la composition de ces eaux et à l'accumulation du calcium et de sodium. Une teneur moyennement élevée en calcaire, largement satisfaisant en matière organique et élevé en phosphore assimilable. La conductivité électrique du sol diminue avec l'utilisation de l'eau magnétisée.

Pour le comportement des trois plantes test vis à vis des différents traitements d'eaux (magnétisée et non magnétisée), les résultats concernant les paramètres morphologiques montrent que l'effet de ces dernières a été très hautement significatif pour toutes les variables analysées. En effet nous avons constaté, que le meilleur résultat obtenu sur la germination, la croissance en longueur, la longueur des racines, l'augmentation du nombre de feuilles et de la

Conclusion générale

surface foliaire est constaté chez les plants irrigués avec l'eau magnétisée pour les trois espèces étudiées. Par contre l'irrigation par l'eau non magnétisée induit chez ces espèces une réduction du taux de germination, la longueur de la tige et celle des racines, une diminution du nombre de feuilles et une réduction de la surface foliaire.

On note aussi qu'il y a un gain de biomasse aérienne et racinaire au niveau des plants irrigués avec l'eau magnétisée pour les trois espèces étudiées.

L'effet de l'eau magnétisée a été très hautement significatif sur la quasi-totalité des caractéristiques physiologiques. Nous notons que les teneurs en chlorophylles de toutes les espèces considérées présentent des variations entre les différents traitements. Elles tendent à augmenter avec l'utilisation de l'eau magnétisée. Les plants irrigués par l'eau magnétisée montrent les valeurs les plus élevées. On constate aussi que la magnétisation de l'eau a provoqué une diminution significative des teneurs de proline.

Aussi, l'étude a montré que la magnétisation de l'eau a provoqué une diminution significative des teneurs en sodium et en potassium dans les organes aériens et souterrains pour les trois espèces étudiés.

Nous pouvons ainsi conclure d'après ces résultats, que l'effet de l'eau magnétisée sur les plantes testées est encourageant. Cette méthode pourra donner un pas énorme pour le développement agricole, dans les zones affectées par le phénomène de salinité.

Cela sera d'autant plus efficace avec une bonne sensibilisation des personnes qui sont en contact direct avec ces problèmes (agriculteurs, responsables d'unités industrielles, travailleurs, chimistes, citoyens...).

Cette étude, ouvre de nouvelles pistes et perspectives sur les possibilités scientifiques et économiques de ce procédé de magnétisation de l'eau, comme moyen alternatif réel de soutien à la production végétale durable et de protection du milieu naturel et de réhabilitation et conservation des sols.

Références bibliographiques

Reférences bibliographiques

- Abdallah. mmf., 1979.** The origin and evolution of *Vicia faba*L. In Proc.1 et aberrations by X rays and maleic hydrazide in *Vicia faba*. Genetics. 49:17-38.
- Abdelly. C., 2006.** Caractérisation des halophytes pour le dessalement des sols salins et le traitement des eaux salines. Rapport d'activités 2007. Centre de biotechnologie à la technopole de Borj-Cedria, Tunisie, pp. 28- 31.
- Ackerson R.C., Herbert R.R., 1981.** Osmorégulation in cotton in response to water stress. I. Alterations in photosynthesis, leaf conductance, translocation, and ultra-structure, Plant Physiol. 67: 484–488. Faisalabad 38040, Pakistan.
- AFNOR., (2004).** Evaluation de la qualité des sols, Volume 1. AFNOR Editions, Paris, 461 p.
- Ahmad MH, Rafiqueeddin M, McLaughlin W., 1984.** Characterization of indigenous rhizobia from wild legumes. FEMS Microbiol. Lett. 24: 197-203.
- Albouchi A., Béjaoui Z., Hédi El Aouni M., 2003.** Influence of moderate or severe water stress on the growth of *Casuarina glauca* Sieb. Seedlings. Sécheresse, 14, (3), p. 137-142.
- Anne-Sophie F., 2010.** Effets génotoxiques et systèmes de détoxification chez *Vicia faba* (Fabaceae) dans le cadre de l'évaluation des sols pollués. Thèse de doctorat. Université Paul Verlaine – Metz. 166P.
- Anonyme 2.** <http://fr.wikipedia.org/wiki/Haricot>
- Anonyme., 2008.** Série B des statistiques agricoles de la D.S.A de Relizane.
- Anonyme., 2007.** Perspective de l'alimentation 2007, FAO.
- Appert J., 1992.** Le stockage des produits vivriers et semenciers. Premier volume Dégâts, pertes et moyens de stockage. Ed. Maisonneuve et Larose Paris, pp : 1-97.
- Ashraf M., Foolad M. R., 2007.** Role of glycine betaine and protein in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany. 59. pp 206-216.
- Aydin A., Tusan M., Sezen Y., 1997.** Effect of sodium salt on growth and nutrient uptake of spinach (*Spinacea oleracea*) and bean (*Phaseolus vulgaris*). Beans (*Phaseolus spp.*) - Model Food Legumes. Plant and Soil 252: 55-128.
- Ayers R.S et Westcot D.W., 1988.** Bulletin FAO d'irrigation et de drainage n°29 rev.1. La qualité de l'eau en agriculture. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome, 180 pages.
- Baker NR., 2002.** A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis, Physiol. Plant 81 (1991) 563–570.46.

Références bibliographiques

- Balibrea JE., Dell'amico J., Bolarin MC., Perez-Alfocea F., 2000.** Division de carbone et métabolisme de sucrose en plantes de tomate accroissant sous la salinité. *Plant Physiol.*, 110: p 503-511.
- BAYUELO J et al ., 2002.** Salinity tolerance of Phaseolus species during germination and early seedling growth. *Crop Sci.*, pp 2184-2192.
- Belkhodja M., Bidai Y., 2004.** Réponse des grains d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Séchresse*, 15, (4), p . 331-335.
- Belkhodja., 1996.** Action de la salinité sur le comportement physiologique métabolique chez la fève (*Vicia faba* L.). Thèse doctorat. Université d'Oran. 255p.
- Belyavskaya, NA ., 2001.** Ultrastructure et calcium équilibre dans les cellules de méristèmes de racines de pois exposés à des champs magnétiques extrêmement faibles, *Adv. Espace Res.*, 28: 645-650.
- Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Maddah M., 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) : 167-174.
- Benachour K ; Louadi K & Michaël T., 2007.** Rôle des abeilles sauvages et domestiques (Hymenoptera : Apoidea) dans la pollinisation de la fève (*Vicia faba* L. var. major) (Fabaceae) en région de Constantine (Algérie). *Ann. Soc. entomol. Fr. (n.s.)*, pp. 213-219.
- Bennett MD. ,1976.** DNA amount, latitude, and crop plant distribution. *Environ. Exp. Bot.* 16 (2-3):93-98, IN1-IN2, 99-108.
- Benson DR, Silvester WB., 1993.** Biology of Frankia strains, actinomycete symbionts of actinorhizal plants. *Microbiol Rev.* 57: 293-319
- Béraud E., 2007.** Etude des effets écotoxiques et de l'induction des phytochélatines chez *Vicia faba* (Fabaceae) exposée au cadmium. Application du test Vicia-micronoyaux à des matrices complexes. Metz: Université de Metz. 107 p.
- Berthomieu P ; Conejero G ; Nublat A ; Brackenbury W. J. ; Labert C. Savio C. ; Uozumi N . ; Oiki S. ; Yamada K. ; Cellier F. ; Gosti F. ; Simonneau T. ; Essah P. A. ; Tester M. ; Very A. A. ; Setenac H et Casse F., 2003.** Functional analysis of AtHKT1 in *Arabidopsis* shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *Embo journal* 22 :2004-2014.
- Binet P., 2005.** La salinité. *Phytotron- Gif sur Yvette- 2 –3 Juin*, p 14.
- Bleecker A.B and Kende H., 2000.** Ethylene: a gaseous signal molecule in plants. *Annu Rev Cell Dev Biol* 16: p 1–18.

Références bibliographiques

- Blum A. 1988.** Plant breeding for stress environments; pp. 163-178. CRC Press, Boca Raton, FL.USA.
- Blum A., 1996.** Crop response to drought and the interpretation of adaptation, *J. Plant Growth Regul.*, 20(2): 135-148.
- Bogatin, J., N.PH. Bondarenko, Z. Gake, EE Rokhinson et Ananyev IP., 1999.** Letraitement magnétique de l'eau d'irrigation: résultats expérimentaux et les conditions d'application, *Environmental Science and Technology* , 33: 1280-1285.
- Bollag., (1998).** Interaction entre les minéraux des sols, les composés organiques et les microorganismes. Ed. Scientifique, Regist n°404, Synposium n°41.
- Bollinger A., 1970.**Culture maraîchère Légumineuses : Haricot, Documentation dans les rotations intégrant les cultures de légumes industriels en Hesbaye. Les dossiers de la recherche agricoles.
- Boukraâ D., 2007.** Interaction acide sulfosalicylique et salinité sur la réponse de la praline et des variations minérales chez des plantes juvéniles d'*Atriplexhalimus*L.Thèse Magister université d'oran. p87.
- Boulal H., Zaghouane O., EL Mourid M. et Rezgui S., 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, 93p.
- BOUZERZOUR H., et al., 1997.** Variabilité génétique, héritabilité et corrélation entre caractères mesurés sur l'orge en milieu semi-aride. *Rev. Céréaliculture* N°30, p14.
- Braudeau E, Hachicha M.** Guide du suivi de la salinisation des eaux et du sol projet d'irrigation de la basse vallée de la medjerda et de Ras Djebel. Sols de Tunisie. Bulletin de la direction des sols, n° 18. Édit.: Direction des sols. Ministère de l'Agriculture de Tunisie, 1998 ; 249 p.
- Broughton WJ, Hernandez G, Blair M, Beebe S, Gepts P, Vanderleyden J., 2003.** Beans (*Phaseolus* spp.) . *Model foodlegumes. Plant and Soil* 252: 55–128.
- Carbonell, MV, E. Martinez, JM Amaya., 2000.** La stimulation de la germination du riz (*Oryzasativa* L.) , par un champ magnétique statique. *Électro-Magnetobiol* , 19 (1): 121-128.
- Carlu J., 1952.** Fèves et féveroles. *La rousseagricole*, 204 p.
- CCG ., 2013.** Guide officiel du classement des grains. Fiche technique ; ISSN 1704-5118, Commission canadienne des grains. Canada, 3-4p.
- Chalck PM., 1998.**Dynamics of biologicallyfixed N in legume-cereal rotations: areviews. *Aust. J. Res* 49: 303-316

Références bibliographiques

- Chartzoulakis K., Klapaki G., 2000.** Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hortic.* 86, 247–260.
- Chen Thh., Murata N., 2002.** Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes, current opinion in *Plant Biology*, 5: 250-257.
- Chen Z., Pottosin I.I., Cuin T.A., Fuglsang A.T., Tester M., Jha D., Zepeda-JazoI., Zhou M., Palmgren M.G., Newman I.A. and Shabala S., 2007.** Root Plasma Membrane Transporters Controlling K⁺/Na⁺ Homeostasis in Salt-Stressed Barley. *Plant Physiol.* 145: 1714-1725.
- Chorfi A., 2009.** contribution à l'étude de la résistance a la salinité chez une variété de blé dur algérien (*triticum durum* desf.) var mohamed ben bachir département de biologie. université el hadj lakhdarbatna. algerie.scie.tech. p 41-44.
- Cotelle S., 1999.** Etude de la génotoxicité de matrices complexes à l'aide de plantes supérieures. Metz: Université de Metz. 179 p.
- Daoud Y., Halitim A., 1994.** Irrigation et Salinisation au Sahara Algérien. *Sécheresse*. 3 (5), pp : 151- 160.
- DAOUD Y., CHEVERRY C., ROBERT M., 1993.** Rôle physico-chimique du magnésium dans les sols des plaines du Chélif (Algérie). *Science du Sol*, 31, (4) : 281-293.
- De Marco A, De Simone C, Raglione M, Lorenzoni P., 1995.** Influence of soil characteristics on the clastogenic activity of maleic hydrazide in root tips of *Vicia faba*. *Mutat. Res.-Genet. Toxicol. Environ. Mutag.* 344(1-2):5-12.
- Degrassi F, Rizzoni M., 1982.** Micronucleus test in *Vicia faba* root tips to detect mutagen damage in fresh-water pollution. *Mutat. Res.-Environ. Mutag. Related Subj.* 97(1):19-33.
- Denden M., Bettaieb T., Sahli A., Mathlouthi M., 2005.** Effet de la salinité sur des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 11(3).235-244.
- Desclos M., Dubousset L, Etienne P., Caherec F., Hiroyushi S and Avicé J., 2008.** A Proteomic Profiling Approach to Reveal a Novel Role of Brassica napus Drought 22 kD/Water-Soluble Chlorophyll-Binding Protein in Young Leaves during Nitrogen Remobilization Induced by Stress ful Conditions. *Plant Physiol.* 147: p1830-1844.
- Di Martino C., Delfine S., Pizzuto R., Loreto F and Fuggi A., 2003.** Free amino acids and glycine betaine in leaf osmoregulation of spinach responding to increasing salt stress. *New Phytologist* 158: p 455–463.

Références bibliographiques

- Dix PJ., Pearce PS., 1981.** Proline accumulation in NaCl-resistant and sensitive cell lines of *Nicotiana glauca*. *Z. Pflanzenphysiol* Bd; 102 S: p243-248.
- Djermoun, A., 2009.** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Nature et Technologie*, (1), 45-53.
- Djerroudi Z, Belkhodja M, Bissati S, Hadjadj S., 2010.** Effet du Stress Salin sur l'accumulation de Proline Chez Deux Espèces d'*Atriplex Halimus L.* et *Atriplex Canescens* (Pursh) Nutt 2010. *Jour. Scien.* pp 12.
- Dodd IC., 2003.** Hormonal interactions and stomatal responses. *J. Plant Growth Regul* 22: p32-46.
- Doré C., 2006.** Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Editions Quae, 817p.
- Douaoui A., Gascue L-Odoux C., Walter CH., 2004.** Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chéiff (Algérie). Mesures au laboratoire sous simulation de pluie. *EGS*, 11, (4) : 379- 392.
- Doussinault G., Kaan F., Lecomte C. et Monneveux P., 1992.** Les céréales à paille : présentation générale. In : Gallais A. et Bannerot H. (Eds.), Amélioration des espèces végétales cultivées. Ed. INRA, Paris, pp. 13-21
- Doyle JJ, Luckow MA., 2003.** The rest of the iceberg. Legume diversity and evolution in a phylogenetic context. *Plant Physiol* 131: 900-910.
- Du chaufour PH., 1995.** Pédologie : sol, végétation, environnement. Masson. Paris, Milan, Barcelone. 350p.
- Duarte Diaz, CE, JA Riquenes, B. Sotolongo, MA Portuondo, EO Quintana et R. Perez., 1997.** Les effets du traitement magnétique de l'eau d'irrigation sur la culture de tomate. *Hortic. Abst*, 69: 494.
- Durand J.H., 1982.** Les sols irrigables. Ed. PUF – Paris. 340 p.
- Elferiha .S., 2011.** Influence de la salinité sur la formation de nodosités chez la fève (*Vicia faba L.*) thèse de magister. Université d'Oran Es -Senia .81p.
- Erskine, P.D., G.R. Stewart, S. Schmidt, M.H. Turnbull, M. Unkovich and J.S. Pate., 1996.** Water availability a physiological constraint on nitrate utilization in plants of the Australian semi-arid mulga woodlands. *Plant Cell Environ.* 19:1149--1159.
- Evans LT., 1959.** Environmental Control of Flowering in *Vicia faba L.* *Ann. Bot.* 23(4):521-546.
- FAO., 1996.** Tunisie Rapport de pays pour la conférence technique internationale de la FAO sur les ressources phytogénétiques, Ministère De L'Agriculture Tunis.
- Feillet P., 2000.** Le grain de blé composition et utilisation. Ed. INRA, Paris, 308 p.

Références bibliographiques

- Ferrara G, Loffredo E, Senesi N., 2004.** Anticlastogenic, antitoxic and sorption effects of humic substances on the mutagen maleic hydrazide tested in leguminous plants. *Eur. J. Soil Sci.* 55(3):449-458.
- Finkelstein R., 2002.** Abscisic acid signaling in seeds and seedlings. *Plant Cell*, suppl. p 15.
- Fischesser et Dupuistate., 1996.** Le guide illustrée de l'écologie. Ed. de la Martinière. 349p.
- Forges., 1979.** Irrigation et salinité Génie Rural à l'E.N.S.H. Versailles .p40-45.
- Fraval A., 2006.** Nymphes de thrips du blé, au printemps, dans un champ de blé, *Insectes* 29 ; n0 143.
- Gallais A, Bannerot H. ; 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées: objectifs et critères de sélection. Paris: INRA.
- Gaujous D. (1995),** La pollution des milieux aquatiques ; aide mémoire. Ed. Techniques et documentations. Lavoisier. Paris, 220p.
- Genoux C, Putzola F, Maurin G., 1991.** Thème général: La Lagune Méditerranéenne. T PE : Les plantes halophytes.
- Gepts P, Beavis WD, Brummer EC, Shoemaker RC, Stalker HT, Weeden NF, Young ND., 2005.** Legumes as a Model Plant Family. Genomics for Food and Feed Report of the Cross-Legume Advance through Genomics Conference. *Plant Physiology* 137: 1228– 1235.
- Giulivo C., 1986.** Hormonal control of water transport in soil-plant-atmosphere continuum. *Acta Horti* 179: p 385–393.
- Gordon Mm., 2004.** Haricots secs : Situation, perspectives et Agroalimentaire. Canada. pp: 1-7.
- Gregory B., 2005.** Écophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique .Thèse de mémoire .Université Lava Canada .Chapitre 1.
- Haouala F., Ferjani H., Ben El Hadj S., 2007.** Effet de la salinité sur la répartition espèces ornementales. *Tropicultura*. Vol. 23 N°4, pp220-226.
- Harivandi, M. Ali., 1999.** Interpreting Turfgrass Irrigation Water Test Results. University of California Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 8009, 9 pp.
- Hartmann C., Joseph C., Millet B., 1998.** Biologie et physiologie de la plante. Ed. Nathan. 224p.
- Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K., Bonhert H.J., 2000.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Mol. BIOL* 51: 463-499.
- Heller R., Esnault R., Lance C., 2004.** Physiologie végétale, 1. Nutrition, Paris, 350p.
- Henry Y. et De Buyser J., 2001.** L'origine des blés. In : Belin. Pour la science (Ed.). De la graine à la plante. Ed. Belin, Paris, pp. 69-72.

Références bibliographiques

- Herzog H., 1984.** Relation of source and sink during grain filling period in wheat a some aspects of its regulation. *Physiol. Plant.*, 56, p. 155-160.
- Hilal, MH et MM Hilal., 2000.** Application des technologies magnétiques dans l'agriculture du désert. *Egyptian Journal of SoilScience* , 40 (3): 423-435.
- Hozayn, M .; Qados, AMSA. ,2010.** Irrigation avec eau magnétisée améliore lacroissance, constituant chimique et le rendement du pois chiche (*Cicer arietinum L.*). *Agriculture et biologie Journal d'Amérique du Nord* , 1 (4): 671-676.
- INSID.,2008.** Salinisation des sols dans le périmètre irrigué de la Mina (Relizane).
- Iptrib., 2006.** conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation. P2, 11.
- IPWA., 2000.** Institute of public works engineering Australia Salinity management.70p.
- Iserin P., 1997.** Encyclopédie des plantes traditionnelles, identification, préparation, soin. Ed. Lavoisier, 95 p.
- Jestin L., 1992.** L'orge, amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de selection. Ed. INRA, Paris pp 5-70.
- Jha PK, Nair S, Gopinathan MC, BabuCR., 1995.** Suitability of rhizobia-inoculated wild legumes *Argyrolobium flaccidum*, *Astragalus graecolens*, *Indigofera gangetica* and *Lespedeza stenocarpum* providing a vegetational cover in an unreclaimed lime stone quarry. *Plant Soil* 177: 139- 149.
- Kafkai U., 1991.** Root growth under stress. *Plant roots: the hidden half*. New York, USA: Marcel Dekker, pp375-391.
- Karmous C., 2007.** Contribution à l'étude des mécanismes de tolérance à la salinité au stade juvénile chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*) : aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Thèse de doctorat en agronomie et science de la production végétale. INAT, Tunis: 211p.
- Kenfaoui A., 1997.** La salinité des eaux d'irrigation .Synthèse bibliographique réalisé par les élèves ingénieurs de l'école nationale du génie rural des eaux et des forêts de Montpellier.
- Koppen G, Verschaeve L., 1996.** The alkaline comet test on plant cells: A new genotoxicity test for DNA strand breaks in *Vicia faba* root cells. *Mutat. Res.-Environ.Mutag. Related Subj.* 360(3):193-200.
- Ladizinsky G., 1975.** On the origin of the Broad bean *Vicia faba L.* *Isr. J. Bot.*, 24, p. 80-88.
- Larcher., 1995.** *Physiological Plant Ecology*. 3rd edition. Springer.
- Lauchli et Epstein., 1990.** Saline culture of crops: a genetic approach, *Science* (2310) 399-404.

Références bibliographiques

- Leung J and Giraudat J., 1998.** Abscisic acid signal transduction. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 49: 199–222.
- Leureau G., 1999.** Les céréales ; Les recettes des cuisines naturelles et saines. Edition Vivez Soleil, 117p.
- Levit J., 1980.** Salt and ion stress. In Levitt J. (eds). -Response of plant to environmental stresses. Vol II, water radiation, salt and others stresses. New York: Academic Press, p. 365–406.
- Levigneron A, Lopez F, Varisuyt G, Berthomien P et Casse-Delbar T., 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahier d'agriculture*. (4): 263-273.
- Lin AJ, Zhang XH, Chen MM, Cao Q., 2007.** Oxidative stress and DNA damages induced by cadmium accumulation. *J. Environ. Sci. (China)* 19(5):596-602.
- MAAS E. V et POSS J.A., 1989.** Salt sensitivity of wheat at different growth stages. *Irrig. Sci.* pp29-40.
- Maheshwari B. L. et Grewal H. S., 2009.** Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural Water Management* 96(8): 1229-1236.
- Marcato-Romain C-E, Guiresse M, Cecchi M, Cotelle S, Pinelli E., 2009.** New direct contact approach to evaluate soil genotoxicity using the *Vicia faba* micronucleus test. *Chemosphere* 77(3):345-350.
- Marcato-Romain C-E, Guiresse M, Cecchi M, Cotelle S, Pinelli E., 2009.** New direct contact approach to evaluate soil genotoxicity using the *Vicia faba* micronucleus test. *Chemosphere* 77(3):345-350.
- Marweni H., 2015.** Effet de l'irrigation par l'eau magnétisée sur la tomate.
- Meloni D.A., Oliva M.A., Ruiz H.A., Martinez C.A., 2001.** Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant Nutr.* 24, 599–612.
- Menade A., 2009.** Rythme de développement, utilisation de l'eau et rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) dans l'étage bioclimatique semi-aride. Thèse magister, INAel Harrach, 2006.
- Monette S. et Fortin J., 2006.** L'Encyclopédie visuelle des aliments. Québec Amérique internationale, 688p.
- Morsli B., 2007.** Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols: cas des zones côtières d'Alger Est. Actes des JSIRAUF.
- Mossab M., 2007.** Contribution à l'étude de l'exploitation à double fin de l'orge (*H.*, vulgare) en zones semi-arides et d'altitude. Thèse De magister, INA EL Harrache. 2006.

Références bibliographiques

- Munns R et al., 2006.** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*.
- Munns R et Rawson H.M., 1999.** Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* pp459-464.
- Munns R., 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25: 239-250.
- MUNNS R., 2008.** Sodium excluding genes from durum wheat and sea barley grass improves sodium exclusion of bread wheat. 2nd International Salinity Forum Salinity, water and society-global issues, local action.
- Naidoo Y., 2001.** Effects of salinity and nitrogen on the growth, relations of ion and accumulation of proline in the bulbosa of *Triglochin*. *Wetlands Ecol. Manag.* 9: p 491-497.
- NDOUR P et DANTHU P., 2000.** Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacias africain. *Projet National de Semences Forestières du Sénégal*. 11 p.
- Pang J., Cuin T., Shabala L., Zhou M., Mendham N. and Shabala S., 2007.** Effect of Secondary Metabolites Associated with Anaerobic Soil Conditions on Ion Fluxes and Electrophysiology in Barley Roots. *Plant Physiol.* 145: 266-276.
- Paridas, A. K. and Dasa, A.B., 2005.** Salt tolerance and salinity effects in plants: a review ecotoxicology and environment safety 60: 324-349.
- Payakapong W, Tittabutr P, Teaumroong N, Boonkerd N, Singleton PW, Borthakur D., 2006.** Identification of Two Clusters of Genes Involved in Salt Tolerance in *Sinorhizobium* sp. Strain BL3. *Symbiosis* 41: 47-51.
- Pelmont, J., 1995.** *Enzymes, catalyseurs du monde vivant*. Presses universitaires de Grenoble.
- Pessarakli M., 1999.** *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker, USA, pp 1190.
- Picard. D, Combe. L., 1994.** *Elaboration du rendement des principales cultures annuelles*. Editions Quae Paris
- Poljakoff-Mayber A., 1975.** Morphological and anatomical changes in plants as a response to salinity. In: Poljakoff-Mayber A and Gale J eds. *Plants in Saline Environments*. Springer-Verlag, Berlin. pp. 97-117.
- Radetski CM, Ferrari B, Cotelle S, Masfaraud JF, Ferard JF., 2004.** Evaluation of the genotoxic, mutagenic and oxidant stress potentials of municipal solid waste incinerator bottom ash leachates. *Sci. Total Environ.* 333(1-3):209-216.
- Rahman M.S., Miyake H., Takeoka Y., 2002.** Effects of exogenous glycinebetaine on growth and ultrastructure of salt-stressed rice seedlings (*Oryza sativa* L.), *Plant Prod. Sci.* 5: 33-44.

Références bibliographiques

- Rao DLN, Giller KE, Yeo AR, Flowers TJ., 2002.**The effect of salinity and sodicity upon nodulation and nitrogen fixation in chickpea (*Cicer arietinum*). *Ann. Bot.* 89: 563–570.
- Renard S., Goffork J.P., Frankinet., 2007.**Optimisation de l'efficience de l'azote technique de base a l'usage des formateurs, Alger 1970, pp : 1.
- Rengasamy P., 2006.**World salinization with emphasis on Australia .*Journal of Experimental Botany.* 57, (5), p.1017-1023.
- Renia FG, LA Pascual, IA Fundora., 2002.** Influence d'un champ magnétique stationnaire sur les relations de l'eau dans la laitue *Seeds. Partie II: Résultats expérimentaux.* *Bioelectromagnetics* , 22: 596-602.
- Rodier J., Bazin C., Bourtin J.P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., 2005.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Ed. Dunod, Paris. 8^{ème} édition, 1383p.
- Rontein D. and Basset-hound G., 2002.**Metabolic Technologies of an advertisement accumulation of osmoprotectants to the factories. *Metab. Engineer.* 4: p 49-56.
- Roula S., 2005.** Caractérisation physico-chimiques et valorisation des boues résiduaires urbaines pour la confection de substrats de cultures en pépinière hors-sol. Magister en sciences agronomiques. Université Colonel El Hadj Lakhdar Batna, 115p.
- Sacher R.F. and Staples R.C., 1984.** Chemical microscopy for study of plants in saline environments. In: R.C. Staples and G.H.Toenniessen (eds.), *Salinity tolerance in plants: Strategies for crop improvement.* John Wiley and Sons, New York, pp. 17-35.
- Saidi D., 2004.** Influence de la phase saline sur les propriétés physiques des matériaux argileux du Bas Cheliff. Thèse de Doctorat d'Etat Es Sciences en Sciences Agronomiques. Spécialité science du sol. Institut National Agronomique, El Harrach, Alger. 181p.
- Salama S., Trivedi S., Bushera M., Arafa A.A., Garab G., Erdei L., 1994.**Effects of NaCl salinity on growth, cation accumulation, chloroplasts structure and function in wheat cultivars differing in salt tolerance, *J. Plant Physiol.* 144 (1994)241–247.
- Salha., 2010.**Étude de l'effet de la salinité et de la présence dumolybdène sur le comportement écophysiologique de deux variétés de plantes de l'espèce *Phaseolus vulgaris L.*, Thèse Magistère d'Université Mentouri Constantine. 178P.
- SALIM S. et TESSIER D., 1998.**Evolution des propriétés physiques et physico chimiques.
- Savouré A, Jaoua S, Hua X-J, Ardiles W, Van Montagu M, Verbruggen N. FEBS Lett. 1995.** 372:13–19.
- Serge M., 2004.**Evolution des systèmes d'irrigation et gestion de la salinité des terres irriguées. CIRAD-AMIS, TA 40/01, 34398 Montpellier Cedex 5, France. pp11.

Références bibliographiques

- Shabrangi, A. et A. Majd., 2009.** Effet des champs magnétiques sur la croissance et les systèmes antioxydants dans les plantes agricoles. PIERS Délibérations, Beijing, Chine, Mars, 23-37.
- Shannon M.C. and Grieve C.M., 1999.** Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Hortic.* 78, 5-38.
- Sharp RE., 2002.** Interaction with ethylene: changing views on the role of abscisic acid in root and shoot growth responses to water stress. *Plant Cell Environ* 25: p 211–222.
- SIMON H., et al., 1989.** Produire des céréales à paille.
- Singh S.C., Sinha R.P., Hader D.P., 2002.** Role of lipids and fatty acids in stress increasing salt stress. *New Phytologist* 158 : p. 455–463.
- Sinha S K & Watters Fl., 1980.** Insectes des minoteries, des silos éleveurs, 311 p.
- Smadhi D., Zella L., 2009.** Céréaliculture en sec et précipitations annuelles : le cas de l'Algérie du Nord. *Sécheresse*, 20 (2) : 199-203.
- Snoussi S.A., Halitim A., Valles V., 2004.** Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. *Agriculture*, 13, (3), p.283-287.
- Sofa, A, Dichio. B, Xiloyannis, E. et Massia, A., 2004.** Effects of different irradiance levels on some antioxidant enzymes and on malondialdehyde content during dewatering in olive tree, plant. *Science* 166, p 293-303.
- Soltner D., 1990.** Les grandes productions végétales .Phytotechniespéciale. 17 Emme édition .coll : sciences et techniques agricoles pp 41-67
- Soltner D., 1990.** Les bases de la reproduction végétale. Sol, climat, plante. Ed. Lavoisier, 464 p.
- Souilah N., 2009.** Diversité de 13 génotypes d'orge (*Hordeumvulgare L*) et de 13 génotypes de blé tendre (*Triticumaestivum L*) : étude des caractères de production et d'adaptation .Thèse Magister, université Constantine ,165p.
- Soussi M, Ocana A, Lluch C., 1998.** Effects of salt stress on growth, photosynthesis and nitrogen fixation in chickpea (*CicerarietinumL.*). *J. Exp. Bot.* 49: 1329–1337.
- Tal M., Dehan k. And Heikin H., 1978.** Salt tolerance in the wild relative of cultivated tomato. Responses of callus Tissue of *Lycopersiconesculentum, L. peruvianum* and *Solanumpennellii* to high salinity. *Z. pflanzenphysiol.* 86: 231-240 (Abstract).
- Teibaut B., Comps B., Tessier D.H., 1990.** Développement des axes des arbres : pousse annuelle, Syllepsie et probepsie chez le Hêtre (*Fagussylvatica*) can. *J.Bot*, 68 :202-211.
- Tester M., Davenport R., 2003.** Na⁺ resistance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of botany* 91, (3), p 503-527.

Références bibliographiques

- USDA., 1998.** Natural Resources Conservation Service Soil Quality Resource Concerns: Salinization pp2.
- Vincent, R. ,2006.** Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *Laminaria digitata*. Thèse de doctorat. Biologie. Université de Rennes 1. 237pp.
- Wang Y., Nil N., 2000.** Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase– oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 75, 623–627.
- Wiebe BH., Eilers RG., Eilers WG., Brierley T., 2001.** Development of risk indicator for dryland salinisation on the Canadian prairies. *Proceeding of the International Salinity Forum*, p.473-476.
- Wu J.L., Seliskar D.M., Gallagher J.L., 1998.** Stress tolerance in the marsh plant *Spartina patens*: impact of NaCl on growth and root plasma membrane lipid composition. *Physiol. Plant.* 102, 307–317.
- Xanthoulis D., (1993).** Valorisation agronomique des eaux usées des industries agro alimentaires. *Tribune de l'eau n° :563/3.* Ed. CEBEDOC, pp: 27-32.
- Yu T., Ralph S and Quatrano., 2005.** Cis-regulatory element based targeted gene finding: genome-wide identification of abscisic acid- and abiotic stress-responsive genes in *Arabidopsis thaliana*. *Bioinformatics*, 21 p: 3074 - 3081
- Zabat r., 1980.** Evolution de la production céréalière en Algérie. Thèse Ing. Sei., 323p.
- Zahran HH., 1991.** Conditions for successful *Rhizobium*-legumes symbiosis in saline environments. *Biol. Fertil. Soils* 12: 73-80.
- Zahran HH., 2001.** *Rhizobia* from wild legumes: diversity, taxonomy, ecology, nitrogen fixation and biotechnology. *Journal of Biotechnology* 91: 143–153.
- Zhu C. Schrant D; Hartung W; Schaffner A. R., 2003.** Differential responses of maize MIP genes to salt stress and ABA. *J. Exp. Bot.*, 56, (421), p. 2971-2981
- Zhu J.K., 2001.** Plant salt tolerance. *Trends in plant Science*, 6: 66-71.
- Zhu, J-K. 2002** Salt and drought stress signal transduction in plants. *An. Rev. Of Plant Biol.* 53: 247-73.

Annexes

Annexe 01

Tableau 01.Données pluviométriques de la station ANRH Relizane (1988-2006).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année (mm)
Pluies (mm)	11,9	21,2	39,4	28,4	30,4	31,2	28,8	27,2	24,2	5,3	1,5	3,8	253,3

Tableau 02.Température moyenne mensuelle des minimums et maximums en °c de la station ANRH Relizane (1988-2006).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Moy	M-m
m °C	17	14,5	9	7,7	6,1	6,4	9,4	11,6	15	17	21,1	20,8	13,0	14.3
M °C	32,5	27,1	23,1	19,3	17,2	18,9	23	24,2	30,1	34,7	38,9	38,5	27,3	
Moy °C	24,2	20,8	15,9	13,6	11,6	12,8	16,1	18,5	22,7	25,8	29,6	29,3	20	

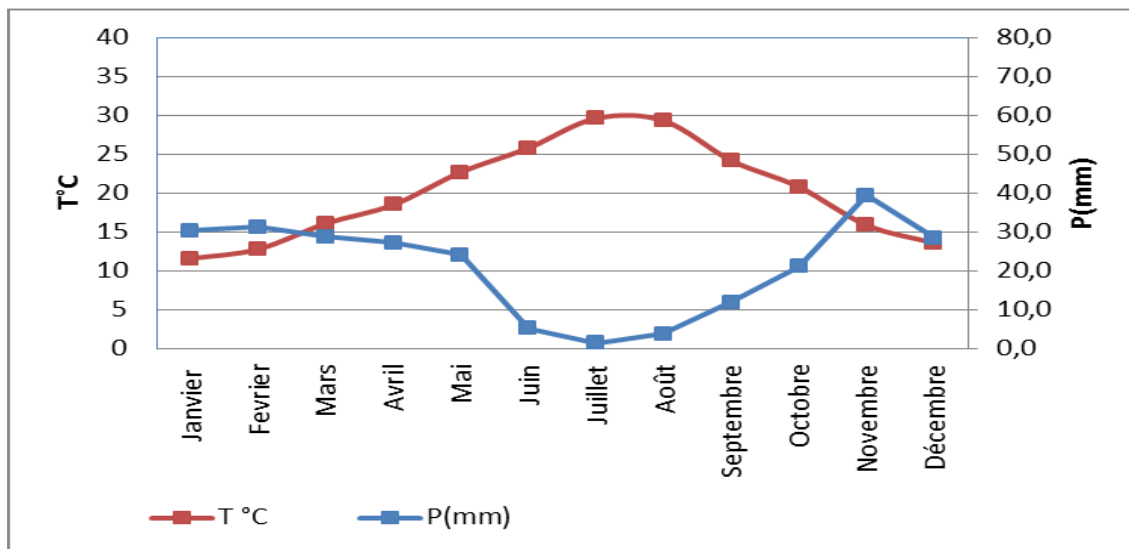
- M: moyenne mensuelle des maximums;
- m: moyenne mensuelle des minimums;
- Moy : Moyenne mensuelle.

Tableau 03. Evapotranspiration potentielle moyenne en mm, établie selon la formule PENMAN (18 ans). (Station ONM de Relizane).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
ETP (mm)	44	60	99	137	174	198	231	232	153	98	5	39	1523

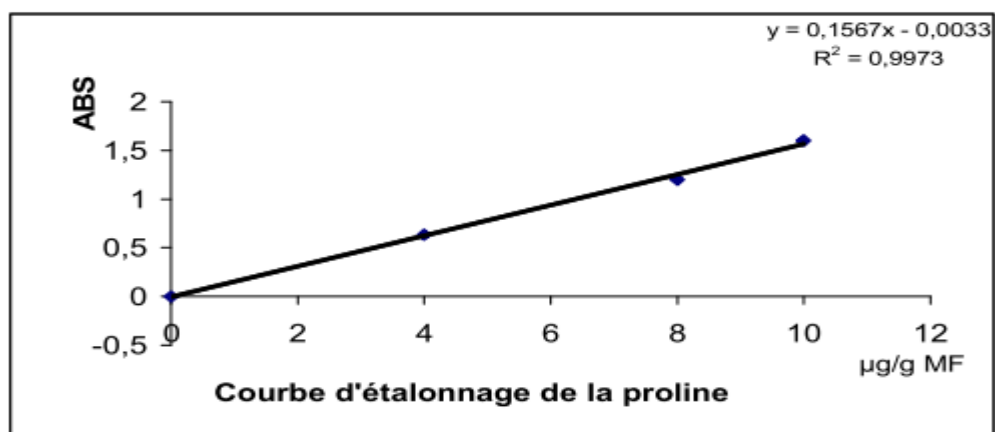
Annexes

Figure 01. Diagramme Ombrothermique de la station de Relizane (1988-2007).

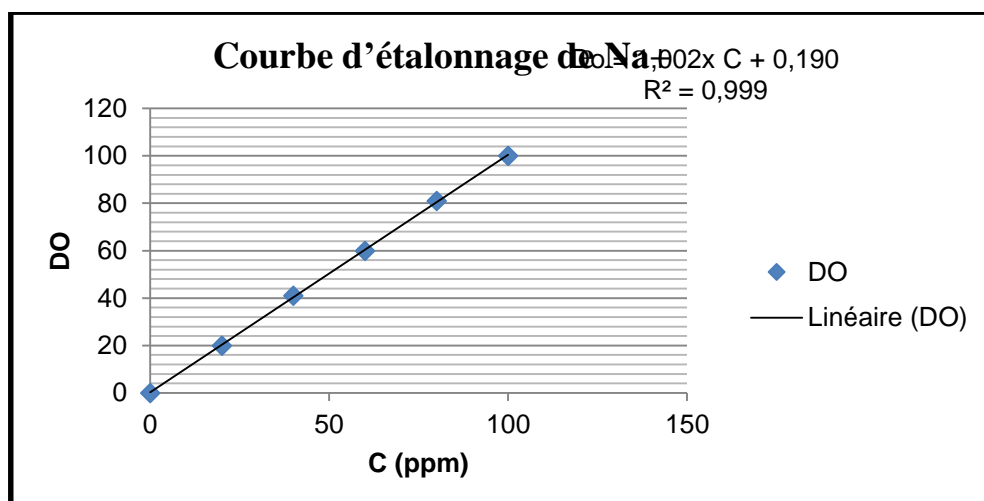


Annexe 02

1) Courbe d'étalonnage de la proline

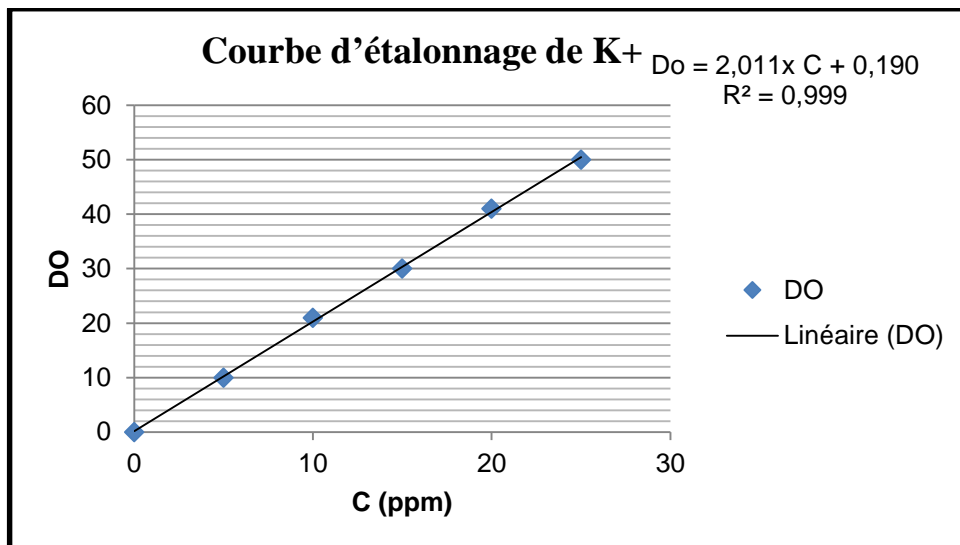


2) Courbe d'étalonnage de Sodium (Na⁺)



Annexes

3) Courbe d'étalonnage de potassium (K⁺)



Annexe 03

Tableau 04. Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation d'après la FAO (Ayers and Westcot, 1994).

		Restriction pour l'irrigation		
		Aucune	Légère à modérée	Forte
Salinité (influe sur l'eau disponible pour la plante)				
CEi	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TDS	mg/l	<450	450-2000	>2000
Infiltration (influe sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol : utiliser à la fois CEi et SAR)				
SAR = 0-3 et CEi =		>0.7	0.7-0.2	<0.2
SAR = 3-6 et CEi =		>1.2	1.3-0.3	<0.3
SAR = 6-12 et CEi =		>1.9	1.9-0.5	<0.5
SAR = 12-20 et CEi =		>2.9	2.9-1.3	<1.3
SAR = 20-40 et CEi =		>5.0	5.0-2.9	<2.9
Toxicité de certains ions (affectent les cultures sensibles)				
Sodium :				
Irrigation de surface	SAR	<3	3-9	>9
Irrigation par aspersion	méq/l	<3	>3	•
Chlore :				
Irrigation de surface	méq/l	<4	4-10	>10
Irrigation par aspersion	méq/l	<3	>3	
Bore	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Effets divers (affecte les cultures sensibles)				
Azote (NO ₃ -N)	mg/l	<5	5-30	>30
Bicarbonate (HCO ₃) (pour aspersion sur frondaison)	méq/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH		Zone normale : 6.5-8.4		

Annexe 04

Figure 02. Triangles des textures minérales (d'après USDA 1999).

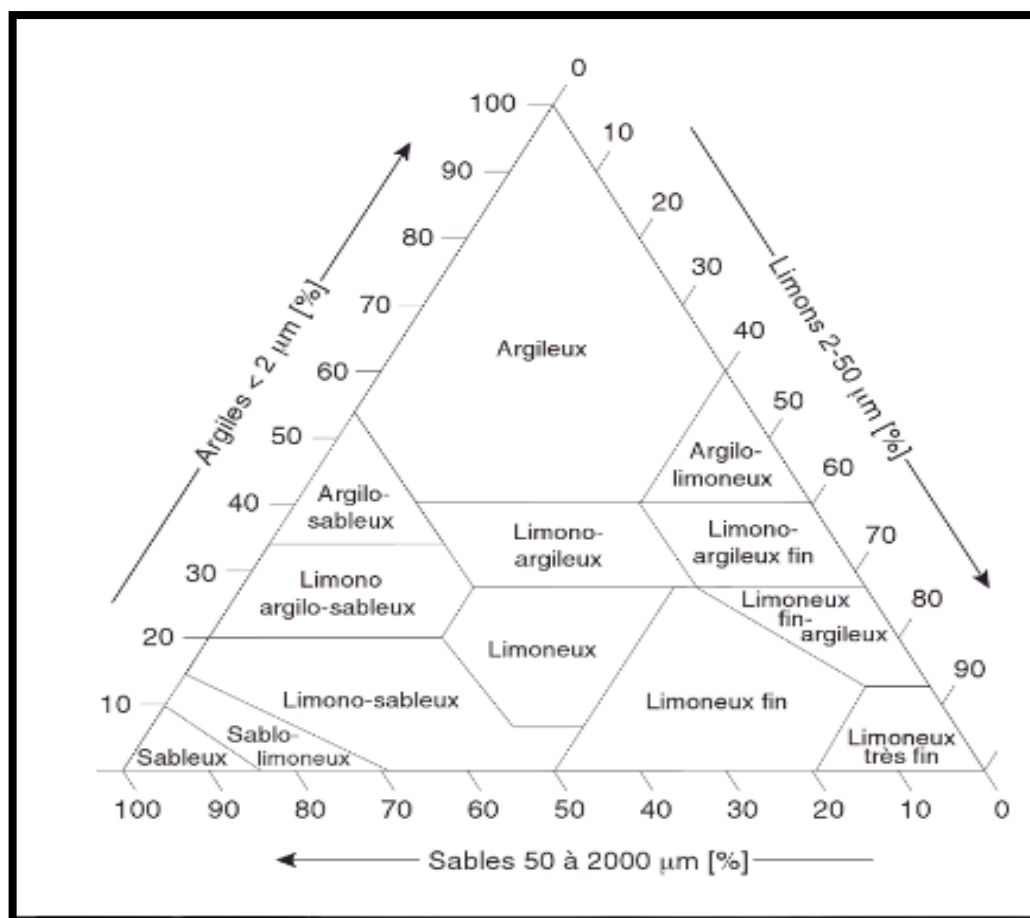


Tableau 05. Echelle d'interprétation de la conductivité électrique de l'extrait aqueux au 1/5 ($C_{e1/5}$ en dS/m).

<i>Non salé</i>	<i>Peu salé</i>	<i>Salé</i>	<i>Très salé</i>	<i>Extrêmement salé</i>
<i>C.E Extrait 1/5(dS/m)</i>	0.6	1.2	2.4	6

Tableau 06. Echelle d'interprétation du pH du sol (Duclos, 1979).

pH eau	Classe de réaction du sol
Inférieur à 5,5	Fortement acide
De 5,5 à 6,5	Acide
De 6,5 à 6,8	Très légèrement acide
De 6,8 à 7,2	Voisin de la neutralité
De 7,2 à 7,5	Légèrement alcalin
De 7,5 à 8,5	Alcalin
Supérieur à 8,5	Fortement alcalin

Annexes

Tableau 07. Interprétation des résultats d'analyse de la matière organique (Achkar, non daté).

Intervalle (%)	Jugement	Dose de fumier recommandée (T/ha)
Sols argileux et limoneux : AA, A, AS, ASS, AL, ALS, LA, LSA, L, LS, et LL		
≥3	Large ment satisfaisant	-
≤2-3	Satisfaisant	-
≤1,7-2	Moyenne	-
≤1,6-1,7	Moyennement faible	20
≤1,4-1,6	Moyennement faible	30
≤1,15-1,4	Faible	40
≤1-1,15	Très faible	50
≤0,8-1	Très faible	60
≤0,60-0,80	Excessive ment faible	70
≤0,40-0,60	Excessive ment faible	80
<0,40	Excessive ment faible	100
Sols sableux : SA, SAL, SL, S, et SS		
≥2	Large ment satisfaisant	-
≥1,75-2,00	Satisfaisant	-
≥1,5-1,75	Moyenne	-
≥1,25-1,50	Moyennement faible	20
≥1,00-1,25	Faible	30
≥0,86-1,00	Faible	40
≥0,70-0,85	Très faible	50
≥0,60-0,70	Très faible	60
≥0,50-0,60	Excessive ment faible	80
≥0,40-0,50	Excessive ment faible	90
<0,40	Excessive ment faible	100

Annexes

Tableau 08. Interprétation des niveaux de calcaire total et calcaire actif (Achkar, non daté).

Calcaire total (%)	Jugement	Commentaires
0	Nul	-
<0-1	Très faible	Aucun risque de chlorose
<1-4	Faible	Aucun risque de chlorose
<4-10	Moyenne	Risque de chlorose très faible
<10-15	Moyennement élevé	Risque de chlorose faible
<15-30	Elevé	Risque de chlorose important
<30-45	Très élevé	Très fort risque de chlorose, éviter toutes les cultures sensibles au calcaire, en arboriculture fruitière et viticulture, utiliser les portes greffes résistants. Risque de déficience en oligo-éléments (Cu, Zn, Fe, B, et Mn), sauf pour le molybdène.
>45	Excessivement élevé	
Calcaire actif (%)		
<0-3	Faible	Risque de chlorose très faible
<3-7	Moyenne	Risque moyen de chlorose
<7-15	Elevé	Risque élevé de chlorose, il faut faire des apports foliaires en oligo-éléments Cu, Zn, B, Fe, et Mn.
>15	Très élevé	Risque très élevé de chlorose, éviter toutes les cultures sensibles au calcaire, en arboriculture fruitière et viticulture, utiliser les portes greffes résistants. Risque de déficience en oligo-éléments (Cu, Zn, Fe, B, et Mn), sauf pour le molybdène.

Tableau 09. Echelle d'interprétation du phosphore assimilable par la méthode JORET-HEBERT.

Phosphore en ppm	Niveau
0 à 50	Très faible
50 à 80	Faible à un peu faible
80 à 120	Bien pourvu
120 à 250	Elevé
> 250	Très élevé ou toxique

Annexes

Annexe 05

Tableau 10. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur le taux de germination.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	323,333	14	23,095				
	VAR.FACTEUR 1	173,333	2	86,667	6,933	0,01**		
	VAR.RESIDUELLE 1	150	12	12,5			3,536	3,70%
Haricot	VAR.TOTALE	147,734	14	10,552				
	VAR.FACTEUR 1	88,178	2	44,089	8,884	0,00439**		
	VAR.RESIDUELLE 1	59,556	12	4,963			2,228	2,30%
Fève	VAR.TOTALE	254	14	18,143				
	VAR.FACTEUR 1	250	2	125	375	0***		
	VAR.RESIDUELLE 1	4	12	0,333			0,577	0,61%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$). **: différence hautement significative $p < 0,01$.

Tableau 11. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur la durée de germination.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	16,933	14	1,21				
	VAR.FACTEUR 1	14,533	2	7,267	36,333	0,00001***		
	VAR.RESIDUELLE 1	2,4	12	0,2			0,447	19,73%
Haricot	VAR.TOTALE	13,733	14	0,981				
	VAR.FACTEUR 1	6,533	2	3,267	5,444	0,02061*		
	VAR.RESIDUELLE 1	7,2	12	0,6			0,775	24,72%
Fève	VAR.TOTALE	25,333	14	1,81				
	VAR.FACTEUR 1	23,333	2	11,667	70	0***		
	VAR.RESIDUELLE 1	2	12	0,167			0,408	8,75%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$), * Différence significative ($p < 0,05$).

Tableau 12. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur le temps moyen de germination.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	0,424	14	0,03				
	VAR.FACTEUR 1	0,339	2	0,17	24,027	0,00008***		
	VAR.RESIDUELLE 1	0,085	12	0,007			0,084	5,34%
Haricot	VAR.TOTALE	1,632	14	0,117				
	VAR.FACTEUR 1	1,548	2	0,774	111,02	0***		
	VAR.RESIDUELLE 1	0,084	12	0,007			0,083	3,35%
Fève	VAR.TOTALE	5,318	14	0,38				
	VAR.FACTEUR 1	5,032	2	2,516	105,507	0***		
	VAR.RESIDUELLE 1	0,286	12	0,024			0,154	2,63%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$),

Annexes

Tableau 13. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur le nombre des feuilles.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	779,6	9	86,622				
	VAR.FACTEUR 1	739,6	1	739,6	147,92	0,00001***		
	VAR.RESIDUELLE 1	40	8	5			2,236	6,42%
Haricot	VAR.TOTALE	40,9	9	4,544				
	VAR.FACTEUR 1	28,9	1	28,9	19,267	0,00244**		
	VAR.RESIDUELLE 1	12	8	1,5			1,225	7,70%
Fève	VAR.TOTALE	384	9	42,667				
	VAR.FACTEUR 1	230,4	1	230,4	12	0,00848**		
	VAR.RESIDUELLE 1	153,6	8	19,2			4,382	12,52%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$). **: différence hautement significative $p < 0,01$.

Tableau 14. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur la longueur de la tige.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	566,1	9	62,9				
	VAR.FACTEUR 1	396,9	1	396,9	18,766	0,00262**		
	VAR.RESIDUELLE 1	169,2	8	21,15			4,599	5,52%
Haricot	VAR.TOTALE	178	9	19,778				
	VAR.FACTEUR 1	115,6	1	115,6	14,821	0,00495**		
	VAR.RESIDUELLE 1	62,4	8	7,8			2,793	11,17%
Fève	VAR.TOTALE	134,9	9	14,989				
	VAR.FACTEUR 1	122,5	1	122,5	79,032	0,00004***		
	VAR.RESIDUELLE 1	12,4	8	1,55			1,245	2,39%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$). **: différence hautement significative $p < 0,01$.

Tableau 15. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur la longueur des racines.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	812,4	9	90,267				
	VAR.FACTEUR 1	739,6	1	739,6	81,275	0,00003***		
	VAR.RESIDUELLE 1	72,8	8	9,1			3,017	6,50%
Haricot	VAR.TOTALE	160,1	9	17,789				
	VAR.FACTEUR 1	122,5	1	122,5	26,064	0,00103**		
	VAR.RESIDUELLE 1	37,6	8	4,7			2,168	7,30%
Fève	VAR.TOTALE	106	9	11,778				
	VAR.FACTEUR 1	67,6	1	67,6	14,083	0,00566**		
	VAR.RESIDUELLE 1	38,4	8	4,8			2,191	5,92%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$). **: différence hautement significative $p < 0,01$.

Annexes

Tableau 16. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur la biomasse fraîche de la partie aérienne.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	1612,768	9	179,197				
	VAR.FACTEUR 1	1324,341	1	1324,341	36,733	0,00037***		
	VAR.RESIDUELLE 1	288,428	8	36,053			6,004	5,25%
Haricot	VAR.TOTALE	31,62	9	3,513				
	VAR.FACTEUR 1	24,869	1	24,869	29,471	0,00072***		
	VAR.RESIDUELLE 1	6,751	8	0,844			0,919	5,92%
Fève	VAR.TOTALE	3719,528	9	413,281				
	VAR.FACTEUR 1	3300,038	1	3300,038	62,934	0,00007***		
	VAR.RESIDUELLE 1	419,49	8	52,436			7,241	7,74%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$).

Tableau 17. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur la biomasse fraîche de la partie racinaire.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	4039,613	9	448,846				
	VAR.FACTEUR 1	2506,206	1	2506,206	13,075	0,00684**		
	VAR.RESIDUELLE 1	1533,407	8	191,676			13,845	8,44%
Haricot	VAR.TOTALE	34,541	9	3,838				
	VAR.FACTEUR 1	22,892	1	22,892	15,72	0,00424**		
	VAR.RESIDUELLE 1	11,65	8	1,456			1,207	7,96%
Fève	VAR.TOTALE	1280,464	9	142,274				
	VAR.FACTEUR 1	1131,458	1	1131,458	60,747	0,00008***		
	VAR.RESIDUELLE 1	149,007	8	18,626			4,316	6,23%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$), **: différence hautement significative $p < 0,01$.

Tableau 18. Analyse de variance de l'effets de la magnétisation sur le Poids sec de la partie aérienne.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	881,014	9	97,89				
	VAR.FACTEUR 1	566,859	1	566,859	14,435	0,0053**		
	VAR.RESIDUELLE 1	314,155	8	39,269			6,267	10%
Haricot	VAR.TOTALE	11,565	9	1,285				
	VAR.FACTEUR 1	7,276	1	7,276	13,572	0,00622**		
	VAR.RESIDUELLE 1	4,289	8	0,536			0,732	5,99%
Fève	VAR.TOTALE	235,446	9	26,161				
	VAR.FACTEUR 1	187,576	1	187,576	31,347	0,0006***		
	VAR.RESIDUELLE 1	47,87	8	5,984			2,446	8,46%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$), **: différence hautement significative $p < 0,01$.

Annexes

Tableau 19. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur le Poids sec de la partie racinaire.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	1490,375	9	165,597				
	VAR.FACTEUR 1	951,209	1	951,209	14,114	0,00562**		
	VAR.RESIDUELLE 1	539,166	8	67,396			8,209	6,40%
Haricot	VAR.TOTALE	15,425	9	1,714				
	VAR.FACTEUR 1	11,279	1	11,279	21,761	0,00173**		
	VAR.RESIDUELLE 1	4,147	8	0,518			0,72	5,95%
Fève	VAR.TOTALE	423,463	9	47,051				
	VAR.FACTEUR 1	400,942	1	400,942	142,425	0,00001***		
	VAR.RESIDUELLE 1	22,521	8	2,815			1,678	5,49%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$), **: différence hautement significative $p < 0,01$.

Tableau 20. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur la surface foliaire.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	414,459	9	46,051				
	VAR.FACTEUR 1	392,484	1	392,484	142,884	0,00001***		
	VAR.RESIDUELLE 1	21,975	8	2,747			1,657	3,28%
Haricot	VAR.TOTALE	259,455	9	28,828				
	VAR.FACTEUR 1	254,525	1	254,525	413,038	0***		
	VAR.RESIDUELLE 1	4,93	8	0,616			0,785	2,06%
Fève	VAR.TOTALE	1691,589	9	187,954				
	VAR.FACTEUR 1	1652,213	1	1652,213	335,677	0***		
	VAR.RESIDUELLE 1	39,376	8	4,922			2,219	2,38%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$).

Tableau 21. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur la teneur en chlorophylles.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	41,436	9	4,604				
	VAR.FACTEUR 1	39,669	1	39,669	179,611	0***		
	VAR.RESIDUELLE 1	1,767	8	0,221			0,47	4,64%
Haricot	VAR.TOTALE	197,34	9	21,927				
	VAR.FACTEUR 1	195,974	1	195,974	1147,314	0***		
	VAR.RESIDUELLE 1	1,366	8	0,171			0,413	3,69%
Fève	VAR.TOTALE	102,651	9	11,406				
	VAR.FACTEUR 1	96,861	1	96,861	133,822	0,00001***		
	VAR.RESIDUELLE 1	5,79	8	0,724			0,851	5,64%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$).

Annexes

Tableau 22. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur la teneur de la proline.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	0,053	9	0,006				
	VAR.FACTEUR 1	0,051	1	0,051	269,699	0***		
	VAR.RESIDUELLE 1	0,002	8	0			0,014	1,28%
Haricot	VAR.TOTALE	1,403	9	0,156				
	VAR.FACTEUR 1	1,356	1	1,356	231,814	0***		
	VAR.RESIDUELLE 1	0,047	8	0,006			0,076	7,13%
Fève	VAR.TOTALE	1,081	9	0,12				
	VAR.FACTEUR 1	1,057	1	1,057	352,439	0***		
	VAR.RESIDUELLE 1	0,024	8	0,003			0,055	3,85%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$).

Tableau 23. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur la teneur en eau relative.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	879,591	9	97,732				
	VAR.FACTEUR 1	842,759	1	842,759	183,051	0***		
	VAR.RESIDUELLE 1	36,832	8	4,604			2,146	2,87%
Haricot	VAR.TOTALE	310,107	9	34,456				
	VAR.FACTEUR 1	297,301	1	297,301	185,721	0***		
	VAR.RESIDUELLE 1	12,806	8	1,601			1,265	1,58%
Fève	VAR.TOTALE	355,977	9	39,553				
	VAR.FACTEUR 1	340,826	1	340,826	179,955	0***		
	VAR.RESIDUELLE 1	15,152	8	1,894			1,376	1,69%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$).

Tableau 24. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur la teneur de sodium dans la partie aérienne.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	38,516	9	4,28				
	VAR.FACTEUR 1	32,472	1	32,472	42,984	0,00023***		
	VAR.RESIDUELLE 1	6,044	8	0,755			0,869	6,33%
Haricot	VAR.TOTALE	40,067	9	4,452				
	VAR.FACTEUR 1	38,142	1	38,142	158,516	0,00001***		
	VAR.RESIDUELLE 1	1,925	8	0,241			0,491	5,44%
Fève	VAR.TOTALE	25,183	9	2,798				
	VAR.FACTEUR 1	22,681	1	22,681	72,517	0,00005***		
	VAR.RESIDUELLE 1	2,502	8	0,313			0,559	4,50%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$).

Annexes

Tableau 25. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur la teneur de sodium dans la racine.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	40,262	9	4,474				
	VAR.FACTEUR 1	26,995	1	26,995	16,276	0,00038***		
	VAR.RESIDUELLE 1	13,268	8	1,658			1,288	9,66%
Haricot	VAR.TOTALE	48,318	9	5,369				
	VAR.FACTEUR 1	43,89	1	43,89	79,289	0,00004***		
	VAR.RESIDUELLE 1	4,428	8	0,554			0,744	8,37%
Fève	VAR.TOTALE	30,825	9	3,425				
	VAR.FACTEUR 1	28,325	1	28,325	90,643	0,00002***		
	VAR.RESIDUELLE 1	2,5	8	0,312			0,559	4,69%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$).

Tableau 26. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur la teneur de potassium dans la partie aérienne.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	41,187	9	4,576				
	VAR.FACTEUR 1	32,364	1	32,364	29,345	0,00073***		
	VAR.RESIDUELLE 1	8,823	8	1,103			1,05	7,04%
Haricot	VAR.TOTALE	15,061	9	1,673				
	VAR.FACTEUR 1	11,578	1	11,578	26,592	0,00097***		
	VAR.RESIDUELLE 1	3,483	8	0,435			0,66	6,07%
Fève	VAR.TOTALE	10,325	9	1,147				
	VAR.FACTEUR 1	6,464	1	6,464	13,393	0,00644**		
	VAR.RESIDUELLE 1	3,861	8	0,483			0,695	5,81%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$), **: différence hautement significative $p < 0,01$.

Tableau 27. Analyse de variance de l'effet de la magnétisation sur la teneur de potassium dans la racine.

		S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Orge	VAR.TOTALE	22,974	9	2,553				
	VAR.FACTEUR 1	20,909	1	20,909	81,031	0,00003***		
	VAR.RESIDUELLE 1	2,064	8	0,258			0,508	3,72%
Haricot	VAR.TOTALE	14,917	9	1,657				
	VAR.FACTEUR 1	11,173	1	11,173	23,869	0,00133**		
	VAR.RESIDUELLE 1	3,745	8	0,468			0,684	6,29%
Fève	VAR.TOTALE	22,369	9	2,485				
	VAR.FACTEUR 1	18,907	1	18,907	43,68	0,00022***		
	VAR.RESIDUELLE 1	3,463	8	0,433			0,658	5,51%

*** Différence très hautement significative ($p < 0,001$), **: différence hautement significative $p < 0,01$.