

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالمي و البحث العلمي
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de Recherche Scientifique
جامعة الجيلالي بونعامة خميس مليانة
Université de Djilali Bounaama Khemis Miliana
كلية علوم الطبيعة و علوم الارض
Faculté des Sciences de la Nature et de la vie et des Sciences de la Terre
Département de: Biologie



Mémoire pour L'obtention du Diploma de Master

Domaine: science de la nature et de la vie

Filière: Sciences biologiques

Spécialité: Eco pédologie et Environnement

Impact d'irrigation par aspersion sur les fuites des nitrates « cas haut chéloff »

Soutenu le : 12/ 07/ 2017

Par :

M^{elle} . Tablaoui safia

M^{elle} . Abdesselami malika

Devant le jury:

Président	Mr CHEURFA.M	MAB	UDB KM
Promotrice	Mme RICHA.A	MCB	UDB KM
Examinatrice	Mme NABTI JAHIDA	MAB	UDB KM

Année universitaire 2016/2017

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Dieu « tout puissant » de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens à fin de pouvoir accomplir ce travail.

*Nous tenons particulièrement à remercier notre promotrice, **Mme Richa A** pour avoir accepté la charge d'être rapporteur de ce mémoire, pour sa gentillesse, sa patience, ses pertinents conseils et de nous avoir guidé durant la préparation de ce mémoire de Master.*

*Un remerciement particulier est adressé à **Mme Chabane S** pour nous avoir soutenus par ses précieux conseils et sa gentillesse et pour avoir mis une touche importante par sa contribution scientifique en laissant son travail et s'est consacrée à nous pour nous orienter.*

*Nous exprimons nos sincères remerciements **Mr CHEURFA M** pour avoir accepté de présider le jury de notre mémoire.*

*Nous tenons à remercier **Mr NABTI Jahida** pour avoir accepté d'être examinateur de ce mémoire.*

Nous remercions toute l'équipe de la laborantine de Biologie de l'université de Khemis Miliana, pour leur aide et soutien morale.

Nous n'oublions pas de remercier toute personne qui a participé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail qui est le fruit de mes efforts
A ceux que j'aime le plus au monde mes très chers parents,
leurs sacrifices et leurs encouragements toute ma vie, je ne
saurais jamais comment exprimer mes sentiments pour avoir
veillé sur mon éducation, jamais je ne peux les remercier
assez de m'avoir donné le meilleur.*

*A mes chères sœurs Nawal et Hayet et leurs mari Hichem et Nabil et
la petite Loudjaine*

Et fatima zahra ,Ikrem et Bouchera

A mes chers frères.

Amine e Amer

*Je n'oublie jamais le générosité illimitée de mes amis,
de mes amis,*

Daouia ,farida, wasila Noura sara et yassmin aicha

Amine, Mahmoud, Mohamed.B Mostafa.H

Mohamed.Brahimi et Houssein

A tout mes cousines

*A mon binôme Safia avec qui j'ai partagé les bons et
les durs moments.*

*A toute ma famille et à tout ce qui me connais-je-vous
aime.*

Malika

Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail qui est le fruit de mes efforts
A ceux que j'aime le plus au monde mes très chers parents,
leurs sacrifices et leurs encouragements toute ma vie, je ne
saurais jamais comment exprimer mes sentiments pour avoir
veillé sur mon éducation, jamais je ne peux les remercier
assez de m'avoir donné le meilleur.*

A mes chères sœurs kassida et le petite mazen

Et hanane

A mes chers frères.

Osama et mohamed et mustapha

*Je n'oublie jamais le générosité illimitée de mes amis,
de mes amis,*

Daouia ,farida, wasila Noura et yassmin

Amine, Mahmoud, Mohamed.B et Mohamed.Brahimi

A tout mes cousines

*A mon binôme Malika avec qui j'ai partagé les bons et
les durs moments.*

*A toute ma famille et à tout ce qui me connais-je-vous
aime.*

Safia

الملخص

ان مشكلة تسرب النترات في التربة في منطقة جندل بالشلف الأعلى و التي تجاوزت عتبة 50 مغ/ل لتصل لأكثر من 100 مغ/ل دفعنا لدراسة اليات و كذا العوامل المؤثرة على انتقال النترات نحو المياه الجوفية.

قمنا بدراسة العلاقة بين خصائص التربة الفيزيائية و الكيميائية و طريقة السقي و مدى تأثيرها في تسرب النترات في التربة .

توصلنا في هذه الدراسة ان السقي احد المسببات الرئيسية في انتقال النترات وكذا زراعة المحاصيل في الأراضي الغير ملائمة لها يزيد من نسبة ضياع النترات و بالتالي انتقاله نحو المياه الجوفية.

كلمات البحث : تسرب النترات - جندل - الري المحوري.

Résumé

Le problème de la pollution des eaux souterraines par le nitrate dans la zone Djendel plain Haut-Cheliff qui dépassé le seuil de 50 mg/l et atteindre plus de 100 mg/l cela nous amène à étudier les mécanismes et ainsi que les facteurs affectant le transfert de nitrate à partir de zones non saturée vers la nappe phréatique.

Nous avons étudiés la relation entre les caractéristiques physique chimique du sol et le mode d'irrigation et leur effet sur les fuites des nitrates dans le sol.

On obtenu dans cette étude, l'irrigation est permis les causes principale dans le transfert de nitrate et l'agriculture inapplicabile qui augmente de concentration des fuites des nitrates et par la suite ver les eaux souterrain .

Les mots clés : fuite de nitrate -irrigation par aspersion- Djendel

Abstract

The problem of nitrate underground water pollution in the Djendel plain Haut-Cheliff area, which exceeds the 50 mg / l threshold and reaches over 100 mg / l, leads us to investigate the mechanisms and factors affecting Transfer of nitrate from unsaturated areas to the water table.

We studied the relation between chemical and physical soil and the way of

Irrigation and its effect on the evasion of nitrates ,we noticed that the irrigation is one of the main causes in both of the transmission of nitrate and the crop cultivation in the territories wich is inappropriate for it ,it increases the rate of the loss of nitrate , subsequently the movement of this nitrate into the underground water .

Keywords: evasion of nitrates - Djendel. –watering by spraying..

Figure 1 : Principaux processus de transformation des formes d'azote contenues dans les effluents et déchets	07
Figure 2 : Représentation schématique de la structure du système So/zone non saturée/zone saturée.....	15
Figure 3 : Images satellitaires représentant la localisation des parcelles étudiées.....	18
Figure 4 :. Histogramme de variation de la précipitation mensuelle	19
Figure 5 :Histogramme de variation de la Température mensuelle maximale et minimale	20
Figure 6 :. Histogramme de Variation de la durée moyenne mensuelle d'ensoleillement	20
Figure 7 : Diagramme bioclimatique d'Emberger	22
Figure 8 : Carte des sols d'Algérie	24
Figure 9 :. Le réseau piézométrique de la plaine du Haut Cheliff	25
Figure 10 points de prélèvement des dols dans la zone	27
Figure 12 : le dosage du sodium et potassium par le photomètre a flamme	40
Figure 13 : Variation du taux de la porosité du sol selon les échantillons étudiés.....	47
Figure 14 : Triangle à texture du Sol de culture salade.....	48
Figure 15 : Triangle à texture du Sol de culture pomme de terre	48
Figure 15 : Triangle à texture du Sol de culture pomme de terre	48
Figure 16 : Triangle à texture de la pépinière.....	49
Figure 17 : Variation de l'humidité hygroscopique du sol selon les échantillons étudiés.....	50
Figure 18 : variations de Potentiel d'hydrogène.....	52
Figure 19 : variation de la conductivité électrique des horizons de sols	53
Figure 2 : variations du taux de matière organique dans les sols.	55
Figure 21 :. Variations du taux de calcaire total dans les sols.....	56

Figure 22: variations des teneurs en magnésium dans le sol.....	57
Figure 23: variations des teneurs en calcium dans le sol.....	58
Figure 24 : variations des teneurs Chlorure dans le sol.....	59
Figure 25 : variations des teneurs Sodium dans le sol.	60
Figure 26 : variations des teneurs Sodium dans le sol.	61
Figure 27 : variations des teneurs en nitrate dans le sol.....	62

Tab.01. Les cultures pratiquées dans la plaine Djendel	1
Tab.02. Répartition générale des terres dans la zone de Djendel en (ha).....	23
Tab.03. La production agricole au niveau de la subdivision Djendel 2014 /2015	23
Tab.04. Tableau récapitulatif des mesures et des analyses au laboratoire	31
Tab.05. Classification de la conductivité électrique	32
Tab.06. Classification de pH	33
Tab.07. Norme d'évaluations de la teneur en matière organique de la texture grosserie	37
Tab.08. Echelle d'interprétation de Calcaire Total	38
Tab.09. Evaluation de la porosité selon les échantillons d'études	46
Tab.10. Evaluation de l'humidité hygroscopique du sol étudiés.....	47
Tab.11.. Evaluation de Potentiel d'hydrogène du sol étudiés	50
Tab.12. Evaluation de la conductivité électrique du sol.....	52
Tab.13.. Evaluation des teneurs en matière organique du sol des échantillons étudiés	54
Tab.14. Evaluation de taux moyenne de calcaire totale des échantillons étudiés	55
Tab.15. variation de la teneur moyenne de nitrate	61
Tab.16. Les analyse in-situ	63
Tab.17. Les analyse au laboratoire	64
Tab.18. teneur des nitrates dans l'eau	65

Photos n°1: Irrigation par aspersion	02
Photos n°2 : Matériel utilisé d'arrosage par aspersion.....	03
Photos n°3: Outil de prélèvement des échantillons de sol-Tarière	27
Photos n°4: Les prélèvements portent sur trois horizons (0-30cm - 30-60cm)	28
Photos n°5: la conservation et transport le stockage des échantillons de sol	28
Photos n°6: Numérotation des échantillons et des formulaires	29
Photos n°7: des échantillons dans l'étuve	29
Photos n°8: broyage et tamisage des échantillons de sol à 2 mm	30
Photos n°9: Laboratoire chimie 1.....	30
Photos n°10: Chromate de potassium	38
Photos n°11: éthylène diamine tétra acétique (E.D.T.A.).....	38
Photos n°12: l'indicateur coloré (le NET)	39
Photos n°13: l'ajout de l'indicateur coloré (Bromocrésol)	39
Photos n°14: Spectrophotomètre U.V visible	42
Photos n°15: Mesurer étalons	42
Photos n°16: Courbe d'étalonnage de nitrate	43

CE : Conductivité Electrique.

CEE : Conseil Economique Européen.

EEC : Européen Economic communauté.

FAO : Food and Agronomical organisation.

INSID : institut national du sol d'irrigation et drainage.

MO : matière organique

NPK : azote (N), phosphore (P) et potassium (K).

OMS : organisation Mondial de la Santé.

ONID : Office Nationale d'irrigation et de drainage.

pH : potentiel d'hydrogène

Remerciements

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des photos

Liste des abréviations

Introduction générale

Partie théorique

Chapitre I : Impacte de l'irrigation par aspersion sur les fuites des nitrates

I.1. Introduction.....	1
I.2. différentes techniques d'irrigation utilisées dans la zone d'étude.....	1
I.2.1. L'irrigation gravitaire.....	1
I.2.2. L'irrigation localisé ou goutte à goutte.....	1
I.2.3. Irrigation par aspersion.....	2
I.3. Choix de l'irrigation par aspersion.....	5
I.4. Les nitrates.....	6
I.4.1. Cycle de l'azote.....	6
I.4.2. Normes et réglementations.....	10
I.4.3. Les nitrates dans les sols.....	10
I.3. Impacte de l'irrigation par aspersion sur le fuite de nitrate.....	11
I.3.1. Gestion de l'irrigation Dans les systèmes agricoles.....	11
I.3.2. La fréquence des apports d'irrigation.....	12
I.3.3. Le type d'irrigation.....	12

1.4. Fuites de nitrate et pollution nitrique des nappes souterraines.....	12
I.5. Conséquences environnementales et sanitaires	13
I.6. Mécanismes de transfert des nitrates	14
I.6.1. Transfert physique.....	14
I.6.2. Transfert chimique	16
I.6.3. Transfert biologique	16
I.7. Transfert des nitrates vers la nappe.....	16

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

II.1. Contexte géographique	21
II.2. Contexte climatique	22
II.3. Contexte agricole	25
II.4. Pédologie	25

Partie expérimentale

Chapitre III : Matériels et méthodes

Introduction	26
III .1. L'échantillonnage.....	26
III.1.2. Le dispositif de prélèvement	27
III.1.3. Préparation des échantillons du sol	27
III.1.4. Stockage et transport.....	28
III.1.5. Préparation de l'échantillon pour le laboratoire	29
III.1.6. Préparation des échantillons pour le séchage	29
III.1.7. Broyage et tamisage.....	30
III.1.8. Les autres appareils utilisés pour les analyses	30

III.2. Les analyses physico-chimiques pour la caractérisation du sol	31
II.2.1. Les analyses chimiques.....	31
III.2.2. Les analyses Physique du sol.....	32
II.2.2.1. Conductivité électriques	32
II.2.2.2. Le pH.....	33
II.2.2.3. Granulométrie.....	33
I.2.2.4. La porosité	35
I.2.2.6. Humidité	36
II.2.3. Les analyses chimiques du sol	36
II.2.3.1. Matière organique (MO)	36
II.2.3.1.1. Importance de la matière organique du sol	36
III.2.3.2. Calcaire total	37
III.2.4. Les chlorures.....	38
III.2.5. Le Calcium	38
III.2.6. Le magnésium.....	39
III.2.7. Les carbonates et bicarbonates	39
III.2.8. Le potassium et sodium.	39
III.2.9. Dosage de nitrate NO_3^-	40
III.2.9.1. Élaboration de l'extrait KCl.....	40
III.2.9.2. Méthode au salicylate de sodium.....	40
Chapitre IV : Résultat et discussion	
IV.1. Introduction	46
IV.2. Caractéristiques physiques	46

IV.2.1. Mesure de la porosité (%)	46
IV.2.2. Mesure de la granulométrie du sol (%)	47
IV.2.3. Mesure de l'humidité hygroscopique du sol	50
IV.3. Caractéristiques chimiques du sol.....	51
IV.3.1. Mesure du pH du sol	51
IV.3.2. Mesure de la conductivité électrique du sol ($\mu\text{s}/\text{cm}$).....	52
IV.3.3. Mesure des teneurs en matière organique du sol (%).....	54
IV.3.4. Taux de calcaire total dans les sols	55
IV.3.5. Calcium et magnésium	56
IV.3.6. Teneur en chlorure et sodium.....	58
IV.3.7. potassium (K^+)	60
IV.4. Les Nitrates NO_3^-	61
VI. 5. Résultats des analyses des eaux	63
VI.5.1. Analyses in-situ	63
VI.5.2. Analyses au laboratoire	64
VI.5.3. Analyses au laboratoire ADE	65

Conclusion

références bibliographiques

Annexe



Introduction

Introduction générale

L'agriculture, de façon générale, est une grande consommatrice d'eau, qui dans les conditions arides et semi arides, vient souvent à manquer. Pour pallier à cet inconvénient, le meilleur moyen que les hommes aient trouvé jusqu'ici a été un appoint d'eau, à l'aide de procédés divers. C'est ce complément d'eau que l'on appelle irrigation.

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides et semi-arides (El-Asslouj et al,2007).

Le type d'irrigation va influencer la répartition spatiale des concentrations en nitrate (Seigner, 1979).

La présence combinée d'activités agricoles et d'une nappe peu profonde rendent donc les nappes alluviales particulièrement sensibles aux pollutions d'origine agricole comme les ions nitrate. Il existe de nombreux moyens d'action afin de contrôler les fuites de nitrate sous les parcelles agricoles. De nombreux travaux réalisés à l'échelle de la parcelle ont montré que l'influence de systèmes de sur le fuite des ions nitrate était importante (Gaury, 1992).

La présence de nitrate dans le sol et une situation d'excès d'eau qui conduit à un flux d'eau vertical dans le sol (Simon, 1999).

A une échelle plus large, comme celle d'un bassin versant ou d'une portion de celui-ci, les modèles de cultures spatialisés sont des outils pertinents pour quantifier l'impact des pratiques agricoles sur les fuites de nitrate vers les nappes souterraines (Wagenet 1996), ils peuvent aider à prédire les effets de meilleures pratiques agricoles sur la pollution de l'air, des sols, et des eaux souterraines et de surface (Hansen *et al.*, 2001).

Le présent travail a pour objectif d'étudier la qualité de l'eau d'irrigation et du sol de secteur Djendel afin de déterminer l'impact de l'irrigation par aspersion sur le fuite de nitrate, ce qui nécessite une étude multidisciplinaire à savoir la caractéristique physico-chimique du sol et de l'eau.

Pour mener à bien nos objectifs, l'étude s'est déroulée en 4 étapes :

- La première s'est basée sur une bibliographie exhaustive de gestion d'irrigation sur le fuite de nitrate. Les informations ont été rassemblées d'après plusieurs ouvrages, articles et organismes ;
- La deuxième s'est basée sur la présentation descriptive de la zone Djendel.
- La troisième a concerné le travail sur le terrain et vise à faire le maximum de prélèvements d'eau et du sol, et vise à faire le maximum de prélèvements d'eau et du sol ;
- La quatrième étape est réalisée au laboratoire de l'université Djilali Bounama. Les échantillons et du sol et de l'eau sont soumis à une série d'analyses physicochimiques ;
- La dernière étape était l'évaluation de l'impact de l'irrigation par aspersion sur le fuite de nitrate à partir le qualité physico-chimique du sol et de l'eau ;



Partie Bibliographique

Chapitre I

Généralité sur l'irrigation et les fuites des nitrates

Chapitre I Impact de l'irrigation par aspersion sur les fuites des nitrates

I.1. Introduction

L'humidité du sol à l'état naturel est souvent insuffisante, et pour garantir un rendement optimum des cultures, on a recours à l'irrigation. Il existe plusieurs techniques ou modes d'irrigation.

I.2. différentes techniques d'irrigation utilisées dans la zone d'étude

Les systèmes d'irrigation peuvent être classés en deux grandes catégories :

L'irrigation gravitaire et l'irrigation sous pression. cette dernière est classée en deux types l'irrigation goutte à goutte et l'irrigation par aspersion.

I.2.1. L'irrigation gravitaire

C'est le système d'irrigation où l'eau s'écoule par gravité dans le sol, du point haut vers le bas. Le mode d'irrigation gravitaire comprend : une prise d'eau, une tête morte ou canal d'amenée, un ou plusieurs canaux secondaires qui repartissent l'eau entre les divers secteurs d'irrigation (A.midekor, J.wellens 2009).

I.2.1.1. Les types d'irrigation gravitaire

➤ **Irrigation par planche (par ruissellement)**

Consiste à faire couler une mince couche d'eau sur un sol incliné de 0,2 à 3%. Le débit à déverser est fonction de la pente, de la largeur et de la longueur de la planche. Cette méthode est de loin la plus difficile car il faut ajuster le débit d'irrigation de chaque planche avec toutes les autres variables. (Azougghah, 2001).

➤ **L'irrigation par submersion**

Elle se pratique en recouvrant le sol avec une couche d'eau épaisse qui séjournera le temps nécessaire pour qu'elle s'infilte à la profondeur utile. Cette méthode reste valable dans le cas des terrains perméables et de pente inférieure à 2 (Azougghah, 2001).

➤ **L'irrigation par infiltration**

L'eau coule dans les fossés, rigoles ou raies et s'infilte latéralement dans le sol jusqu'au racines des plantes.

I.2.2. L'irrigation localisée ou goutte à goutte

Dans l'irrigation goutte à goutte, l'eau est livrée à la plante à faible dose entraînant ainsi l'humidification d'une fraction du sol. Ceci permet de limiter les pertes par évaporation et percolation. Elle permet aussi de réduire le développement des mauvaises herbes. Elle met

Chapitre I Impact de l'irrigation par aspersion sur les fuites des nitrates

également en œuvre des équipements fixes et légers, et permet la fustigation. (A.midekor, J.wellens 2009).

I.2.3. Irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion consiste à reproduire sur le sol le phénomène naturel de la pluie, avec toutefois le contrôle de l'intensité et de la hauteur de l'averse. Elle est recommandée dans les cas suivants :

- Sols de faible profondeur, ne pouvant être correctement nivelés pour une irrigation de surface, tout en conservant une profondeur suffisante ;
- Sols trop perméables, qui ne permettent pas une répartition uniforme de l'eau dans le cadre d'une irrigation avec ruissellement en surface.

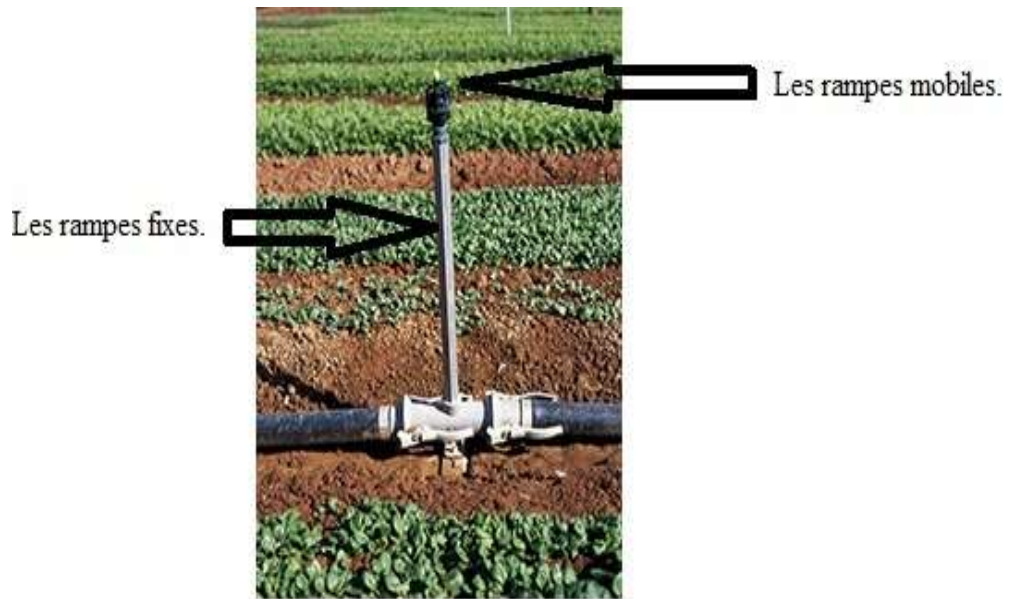
Terrains à pente irrégulière avec micro -relief accidenté, ne permettant pas l'établissement d'une desserte gravitaire à surface libre. Par contre, elle est à écarter dans les régions très régulièrement ventées. (A.midekor, J.wellens 2009).



Photos n°1: Irrigation par aspersion (Djendel 2017).

Il existe deux grandes catégories d'arrosage par aspersion en fonction du matériel utilisé :

- Les rampes mobiles.
- Les rampes fixes



Photos n°2 : Matériel utilisé d'arrosage par aspersion (Djendel 2017).

L'irrigation par aspersion est recommandée dans les cas suivants :

- Sols de faible profondeur, ne pouvant être correctement nivelés pour une irrigation de surface, tout en conservant une profondeur suffisante ;
- Sols trop perméables, qui ne permettent pas une répartition uniforme de l'eau dans le cadre d'une irrigation avec ruissellement en surface ;
- Terrains à pente irrégulière avec microrelief accidenté, ne permettant pas l'établissement d'une desserte gravitaire à surface libre. (El HALI, A .2015).

Les avantages :

- Ne nécessite aucun aménagement préalable de la surface à irriguer.
- Provoque une forte oxygénation de l'eau projetée en pluie.
- Economie d'eau.
- Favorise en conditions ambiantes.
- Possibilité d'automatisation du système d'irrigation.
- Nécessite moins de mains d'œuvres.

Les inconvénients :

- Cout très élevé (prix d'achat du matériel très important).
- Une évaporation intense si les gouttes d'eau sont fines.
- Tassement du sol.
- Favorise le développement des mauvaises herbes.

Chapitre I Impact de l'irrigation par aspersion sur les fuites des nitrates

- Le déplacement des conduites après arrosage peut être difficile.
- L'homogénéité de l'arrosage est dégradée si la vitesse de vent est importante.
- En cas d'utilisation des eaux salées, il y' aura un danger pour le feuillage.
(A.midekor, J.wellens 2009).

I.2.3.1. Condition d'utilisation

L'irrigation par aspersion consiste à fournir l'eau nécessaire aux cultures sous une forme analogue à la pluie naturelle. L'eau est mise sous pression, généralement par pompage, pour être ensuite distribuée au moyen d'un réseau de canalisations.

La distribution d'eau est faite au moyen de rampes d'arrosage équipées d'asperseurs. L'eau sort sous la forme d'un jet et se répartit en gouttelettes d'eau qui tombent sur le sol. Le choix du dispositif de pompage, des asperseurs et la bonne gestion de l'eau doivent garantir la distribution uniforme de l'eau d'irrigation (C. Broure ;1990).

I.2.3.2. Cultures recommandées

L'irrigation par aspersion convient aux cultures en lignes, de plein champ et à l'arboriculture. La distribution de l'eau peut se faire sur ou sous frondaison. Cependant, les asperseurs géants sont à éviter dans le cas des cultures délicates telles que la salade, car les grosses gouttes d'eau risquent de provoquer le dépérissement des plantes(C. Broure ; 1990).

I.2.3.3. Pentés adéquates

L'irrigation par aspersion s'adapte à toutes les pentes de terrain cultivable, qu'elles soient uniformes ou irrégulières. Les rampes d'arrosage portant les asperseurs doivent suivre autant que possible les courbes de niveau. Cette disposition a l'avantage de minimiser les variations de pression le long de la rampe et de garantir un arrosage uniforme.

I.2.3.4. Types du sol appropriés

La technique d'irrigation par aspersion est la meilleure pour les sols sableux à taux d'infiltration assez fort, sans pour autant ignorer qu'elle s'adapte parfaitement à la plupart des types du sol. La pluviométrie moyenne des asperseurs (en mm/h) doit être inférieure au taux d'infiltration permanent du sol pour éviter le ruissellement des eaux en surface. Cette technique est à écarter pour l'irrigation des cultures sur des sols à encroûtement rapide. Au cas où on ne peut pas recourir à d'autres techniques d'irrigation, les asperseurs doivent être choisis de sorte que la distribution de l'eau soit en pluie fine. On doit éviter l'emploi des asperseurs à fortes pressions délivrant une forte pluie (grosses gouttes).

Chapitre I Impact de l'irrigation par aspersion sur les fuites des nitrates

I.3. Choix de l'irrigation par aspersion

Après avoir cité les différents avantages de l'irrigation par aspersion et on retient ce mode d'irrigation pour son efficacité et pour le rendement élevé des cultures agricole. Il est certes que les conditions naturelles sont réunies pour pratiquer l'irrigation par aspersion, vue que la vitesse du vent est dans les normes inférieures à 4m /s, un relief plus ou moins favorable, une salinité presque nulle et un volume important d'eau emmagasiné par le barrage Ghrib qui régularise l'Oued Chélif (HAMRAI, Y.2012).

I.4. Les cultures qui irriguer par aspersion

Tab.01. Les cultures pratiquées dans la plaine Djendel

Année	Arbre			Culture Maraichères		C.I.D	Céréale	Totale
	agrumes	Oliver	A.F.D	P.T	Autres			
2000	258,56	51	1458,5	1035,81	279,59	89,62	192,6	3365,68
2001	219,02	32	1363,1	1215,33	116,04	68,32	0	3013,81
2002	222,45	35,5	1977	1301,34	314,22	169,71	82,8	4103,02
2003	222,84	38,5	1945,64	1029,42	0	8	19,5	3263,9
2004	296,2	85,65	2000,45	538	120,15	24,65	242,5	3307,6
2005	177,63	31	1610,46	87,83	0	0	0	1906,9
2006	281,05	96,5	1544,41	1548,7	147,69	3	17	3638,35
2007	324,95	85,4	1707,56	1359,13	393,15	9,65	73	3952,84
2008	225	73,4	1688,77	553,71		0	0	2575,28
2009		50	1364	1774,22		0	8	3249,22
2010	107,78	32,15	1097,86	1495,9	85,77	0	0	2819,46
2011	108,18	31,12	1250	1566	96,85	0	0	3052,15

Source : ONID 2012

I.5. Les nitrates

Le nitrate est un anion (NO_3^-), il représente le stade d'oxydation le plus élevé de l'azote. Il se trouve soit associé à un cation pour former un sel, soit dissocié dans la solution du sol à l'état d'ion il est très mobile (Moufti, 1996). Sa charge négative explique qu'il n'est pas fixé par le complexe adsorbant du sol. Sous l'effet de l'eau, l'ion nitrate migre donc facilement dans le sol et peut être entraîné vers les eaux de rivières ou des nappes.

1.5.1. Cycle de l'azote

Le cycle de l'azote dans les sols est marqué par différents processus dont les effets cumulés conduisent ou non à maintenir un excès d'azote dans les sols, et à le rendre disponible pour le lessivage (Fi.1). L'azote dans les sols provient principalement :

1. De la fixation de l'azote atmosphérique.
2. De la déposition de l'azote contenu dans les précipitations.
3. Des amendements organiques.
4. Des apports d'engrais de synthèse.

La fixation libre par les bactéries aérobies ou anaérobies contribue à maintenir un stock d'azote de 10 à 30 kg. Ha^{-1} , l'apport d'azote par la fixation symbiotique des espèces légumineuses variant entre quelques dizaines à plusieurs centaines de kg. Ha^{-1} , selon les conditions de PH, d'humidité, de teneurs en nitrate et de souches de *Rhizobium* (Recous et al, 1997).

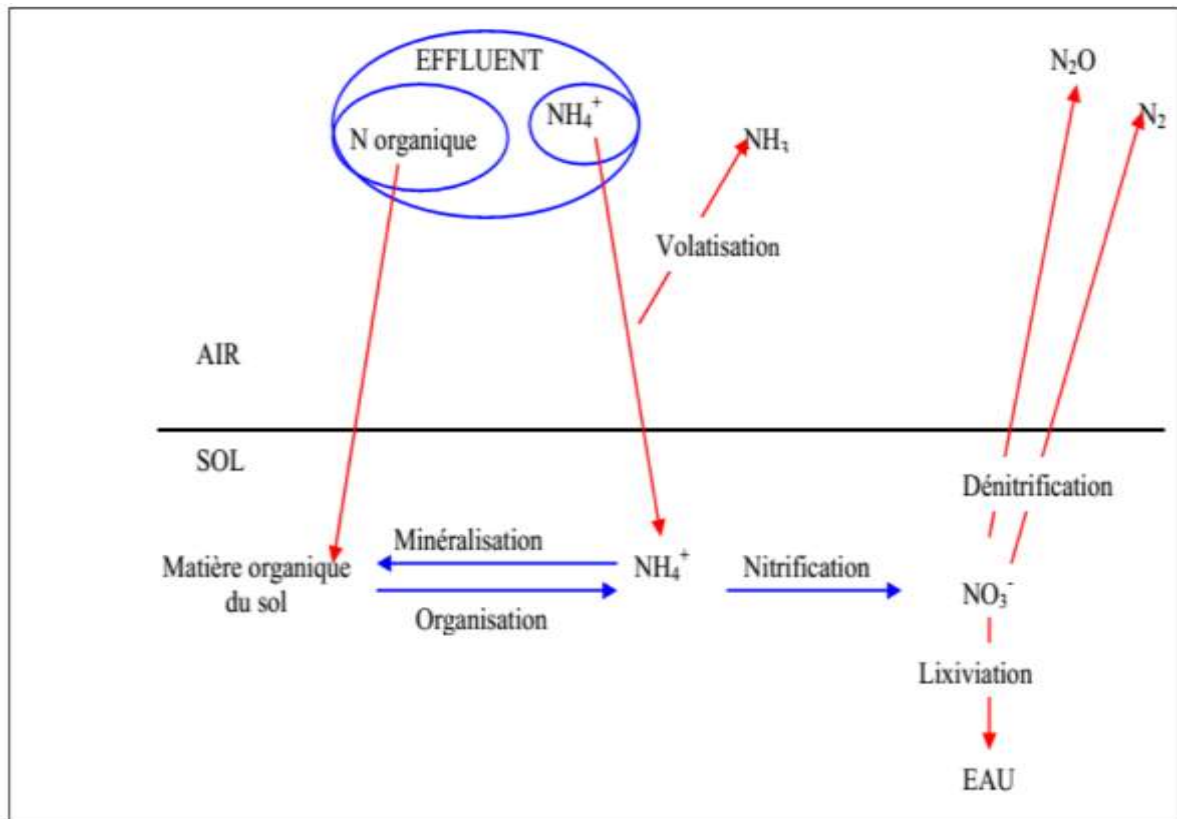


Fig.1. Principaux processus de transformation des formes d'azote contenues dans les effluents et déchets, (Richa A., 2016)

Les apports d'azote sous forme organique dans les sols se font par amendements anthropiques (fumiers, lisiers), restitution au sol des résidus de culture et/ou restitution des déjections animales. La constitution du stock d'azote minéral dans le sol est issue des apports d'engrais de synthèse, sous forme d'ammonium, de nitrate et d'urée.

L'effet des processus internes au cycle de l'azote peut être dominant par rapport aux modifications induites par les processus externes (Webb and Walling, 1985).

Les processus internes interagissent avec les processus externes au cycle de l'azote, contrôlant le stock et les formes de l'azote contenu dans le sol, quelle que soit l'origine de ce dernier (Fig. 1.1) (Recous et al. 1997) :

A. La minéralisation ou ammonification

Correspond à la dégradation de la matière organique, conduisant à la production d'ammonium (NH⁴⁺). la minéralisation est d'autant plus forte que les apports sont

Chapitre I Impact de l'irrigation par aspersion sur les fuites des nitrates

importants, elle est maximale au printemps et à l'automne lorsque les températures sont douces et le sol humide.

B. L'organisation ou immobilisation

Correspond à l'assimilation d'azote, préférentiellement sous forme ammoniacale par les micro-organismes.

C. La nitrification

Correspond à l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal en azote nitrique (NO_3^-). Les étapes successives de la nitrification se font par l'intermédiaire de deux familles de bactéries principalement présentes dans les sols :

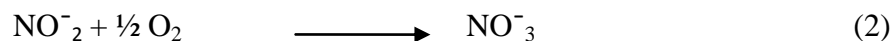
nitrosomonas pour la nitrification (transformation de NH_4^+ en NO_2^-) et Nitrobacter pour la nitrification (transformation de NO_2^- en NO_3^-).

Ces transformations sont illustrées dans les équations chimiques suivantes :

A/ Nitrifications :

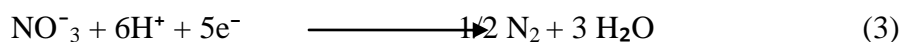


B/ Nitrification :



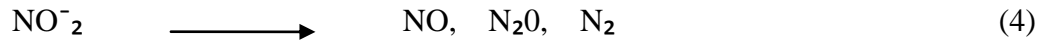
D. La dénitrification : est la transformation de l'azote nitrique en azote gazeux (N_2). La dénitrification fait intervenir de nombreuses espèces bactériennes (dont Pseudomonas, Agrobacterium) dont l'action est maximale dans des conditions d'anoxie, de présence de nitrate et d'une source de carbone assimilable. L'ion NO_3^- est utilisé comme accepteur final d'électrons à la place de l'oxygène (Vertès F et Decau M.L. 1992)

La dénitrification conduit principalement à la libération d'azote gazeux N_2 comme le montre l'équation chimique suivante :

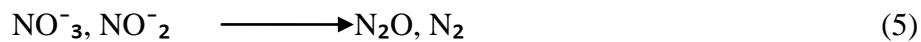


Chapitre I Impact de l'irrigation par aspersion sur les fuites des nitrates

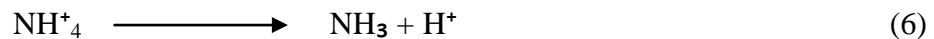
La dénitrification peut être d'origine chimique ou biologique. La première a lieu dans le cas de pertes d'azote nitrique en sols acides ; Ce processus est régi par la réaction suivante ;



Cette dénitrification est peu importante lorsqu'on la compare avec la dénitrification biologique, produite par les microbes dénitrificateurs ; Ce processus est régi par la réaction suivante -.



E. La volatilisation : Le processus qui transforme l'ammonium (NH_4^+) en ammoniac (NH_3) s'appelle la volatilisation comme le montre l'équation chimique suivante:



L'ammonium se transforme rapidement en ammoniac dans certaines conditions, soit lorsque les températures du sol et de l'air sont élevées et que le temps est sec. Les possibilités que l'ammonium se transforme en ammoniac augmentent de façon exponentielle à mesure que le pH s'accroît, de sorte qu'il faudrait éviter les engrais ammoniacaux lorsque le pH du sol est supérieur à 7,0³⁰.

Dans des conditions favorables à la volatilisation, jusqu'à 50 % de l'azote appliqué peut être éliminé par ce processus. Pour être utilement entraîné dans le sol, l'ammonium doit se dissoudre rapidement dans l'eau du sol. Le meilleur moyen d'y arriver consiste à incorporer l'ammonium dans un sol humide et frais. Si les conditions sont propices à la volatilisation, il faudra éviter d'épandre des engrais à teneur élevée en ammonium (urée, fumier). (NICOLAS .T, 2001).

F. La lixiviation ou lessivage : est le processus correspondant au transfert de l'azote via les eaux de percolation du sol vers la nappe. La lixiviation concerne principalement l'azote sous forme NO_3^- , du fait de sa forte solubilité, et de sa faible capacité, contrairement à l'ion NH_4^+ , à être retenu par le complexe argilo humique.

I.5.2. Normes et réglementations

la norme actuelle

Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur (Brezonik, 1972).

La Directive 98/83/CE du Conseil de l'Union européenne du 3 novembre 1998 stipule qu'une eau destinée à la consommation humaine ne peut pas contenir plus de 50 mg de nitrate par litre d'eau.

Cette valeur est impérative, ce qui signifie que si elle n'est pas respectée, l'eau est considérée comme non-conforme.

Cette valeur provient des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé qui mentionne : « La valeur recommandée est de 50 mg/l de manière à protéger les nourrissons alimentés au biberon vis-à-vis de la méthémoglobinémie. Le principal problème potentiel du nitrate et du nitrite est la formation de méthémoglobinémie (le syndrome du bébé bleu) (OMS, 2004). Le nitrate réduit dans l'estomac des nourrissons conduit à la formation de nitrite capable d'oxyder l'hémoglobine de manière à former la méthémoglobine ; cette dernière provoque une réduction de la capacité du transport d'oxygène. ».

I.5.3. Les nitrates dans les sols

En l'absence de toute fertilisation azotée, les nitrates présents dans les sols proviennent de la fixation de l'azote atmosphérique par certaines espèces végétales, les légumineuses. Ces plantes captent l'azote de l'air et le transforment en matière organique azotée dans leurs racines. Quand la plante a fini son cycle saisonnier, la matière organique azotée est peu à peu décomposée par des bactéries nitrifiantes du sol et transformée en nitrates (Ramade, 1998).

Ces nitrates sont à leur tour utilisés par les autres espèces végétales pour leur propre croissance. On estime qu'un sol normal contient environ 1000 kg d'azote par hectare. Seule une fraction est transformée en nitrates. Si la majorité des nitrates est consommée par la

Chapitre I Impact de l'irrigation par aspersion sur les fuites des nitrates

végétation en place, une légère fraction est Cependant toujours lessivée par l'infiltration de l'eau de pluie et se retrouve dans les nappes en profondeur.

Une autre source naturelle est due à l'urine des animaux. Celle-ci contient de l'ammoniac et de l'urée (contenant de l'azote), qui peuvent être rapidement oxydés en nitrates dans les sols. En général, cette source est diffuse et négligeable.

Il en va de même des déjections humaines, qui contiennent aussi de l'ammoniac et de l'urée, et qui, si elles sont concentrées en un point, peuvent engendrer un excès de nitrates. Il a été démontré que les cimetières (par décomposition des corps) engendrent aussi des nitrates. Mais ces sources restent très négligeables (Anonyme, 1997).

I.3. Impacte de l'irrigation par aspersion sur le fuite de nitrate

I.3.1. Gestion de l'irrigation Dans les systèmes agricoles

l'irrigation a pour but de satisfaire les besoins en eau des plantes afin d'éviter tout ou partie de stress hydrique qui serait néfaste à la croissance de la plante. En cas d'apport excessif d'eau d'irrigation, une partie de cette eau peut percoler dans le sol et ainsi quitter la zone racinaire. Cette quantité d'eau perdue pour la plante va constituer du drainage sous racinaire par percolation comme nous l'avons défini précédemment. Comme de nombreuses études l'ont déjà montré, la maîtrise des fuites de nitrate sous la zone racinaire passe donc en partie par une gestion adéquate de l'irrigation (Diez et *al.*, 1997 ; Mailhol et *al.*, 2001).

Cette gestion pertinente de l'irrigation passe par la maîtrise des doses apportées, mais aussi par le contrôle des fréquences d'irrigation ainsi que par le choix du type d'irrigation qui va influencer la répartition spatiale de la dose d'eau apportée.

Fang et al (2006) ont montré que dans le cadre d'une rotation maïs/blé le maintien d'une humidité à 85% de la capacité au champ au lieu de 75% durant toute la rotation engendrait un drainage significativement plus important à 100 cm de profondeur. De nombreuses études ont montré que les cultures maraichères faisaient partie des cultures à risques vis-à-vis des fuites de nitrate (par exemple Guimera et *al.*, 1995; Ramos, 1996; Ramos et *al.*, 2002; Vazquez et al., 2005, 2006). En effet, les apports d'engrais azoté y sont généralement importants et sont souvent associés à une irrigation excessive (Prat, 1984). Thompson et al. (2007) ont montré que la sur-irrigation avait lieu principalement pendant les 6 premières semaines de la culture. Cette sur-irrigation en début de culture entraîne une situation favorable au drainage durant tout le reste de la culture (Thompson ., 2006).

Chapitre I Impact de l'irrigation par aspersion sur les fuites des nitrates

I.3.2. La fréquence des apports d'irrigation

joue également un rôle majeur. Wang (2006) ont montré dans le cadre d'une culture de pommes de terre qu'il vaut mieux de nombreux apports d'irrigation avec de faibles doses que des apports d'eau peu fréquents mais intenses. Cela permet d'atteindre les objectifs de quantité et de qualité de la récolte sans augmenter les risques de lixiviation de nitrate.

Mailhol (2001) ont montré que le type d'irrigation avait également une importance significative. Ils ont établi qu'une irrigation par sillon plutôt qu'une irrigation par aspersion pouvait permettre de diminuer la lixiviation de nitrate lors de la reprise des précipitations.

I.3.3. Le type d'irrigation

va également influencer la répartition spatiale des concentrations en nitrate. En effet, plusieurs études ont montré que, pour une même dose d'irrigation, plus elle est appliquée uniformément, plus le risque de fuite de nitrate est faible (Seigner, 1979). Pour cela une solution consiste à diminuer la hauteur d'aspersion et à prendre en compte l'intensité et la direction du vent (Ruelle et al., 2003). Toutefois, certaines études récentes viennent nuancer ces résultats en montrant que l'uniformité de l'irrigation n'aurait pas d'impact significatif sur les fuites de nitrate (Allaire., 2001).

Gårdenäs et al. (2005) proposent de combiner une micro-irrigation à niveau continue d'humidité avec une fertirrigation (eau d'irrigation enrichie en azote minéral) afin de réduire au maximum la lixiviation de nitrate. La technique de fertirrigation montre que l'origine de l'eau d'irrigation peut également avoir un impact important. En effet s'il s'agit d'eau de nappe ou d'eau de surface, les concentrations en nitrate peuvent être très différentes. Dans le cas d'irrigation avec de l'eau présentant des fortes concentrations en nitrate, les quantités d'azote minéral apportées doivent alors être prises en compte dans le plan de fertilisation azotée (De Paz et Ramos, 2004) comme s'il s'agissait de fertirrigation.

1.4. Fuites de nitrate et pollution nitrique des nappes souterraines

Les fuites de nitrate vers les eaux souterraines, que l'on peut également nommer lixiviation, se produisent en période d'excès hydrique lorsque la réserve en eau du sol est remplie. La lixiviation des nitrates est un processus physique naturel, qui peut être augmenté lorsque le cycle de l'azote est perturbé par certaines pratiques agricoles et certains changements d'occupation du territoire. Les processus du sol qui contrôlent le cycle de

Chapitre I Impact de l'irrigation par aspersion sur les fuites des nitrates

l'azote dans le sol, et donc les quantités d'azote, sont nombreux, mais les plus importants sont : l'absorption d'azote par les plantes, les apports d'engrais azotés (minéraux et organiques), l'organisation et la minéralisation, ainsi que la nitrification et la dénitrification. La concentration en nitrate du sol à un moment donné est le résultat de l'ensemble de ces processus (Dépaigne J.,1988).

La lixiviation des ions nitrate ne dépend pas uniquement de la concentration en nitrate du sol. Un second processus hydrologique est nécessaire : la percolation de l'eau dans le profil du sol. Cette percolation est un phénomène ponctuel qui a lieu principalement durant les mois de fortes précipitations et de faible évapotranspiration, de la fin de l'automne au début du printemps.

Une bonne gestion de l'azote minéral du sol vise donc à minimiser les quantités d'azote du sol lorsque le risque de percolation est maximum. Pour que des pertes d'azote par lixiviation soient possibles, il faut donc réunir deux conditions : la présence de nitrate dans le sol et une situation d'excès d'eau qui conduit à un flux d'eau vertical dans le sol (Simon, 1999).

Le terme drainage peut se référer à deux processus différents. Dans le cadre de notre étude le terme drainage va désigner une situation d'excès d'eau qui conduit à un flux d'eau vertical dans le sol (transfert et infiltration d'eau). En dessous du front racinaire, l'eau qui percole va à plus ou moins brève échéance rejoindre la nappe souterraine. Les quantités moyennes d'eau drainée varient au cours de l'année : l'essentiel du drainage se produit généralement de la fin de l'automne jusqu'au printemps. Cette phase de drainage hivernale est donc la période durant laquelle s'opère la plus grande partie des pertes de nitrate (et de solutés) par lixiviation. Plus le drainage est important, plus la proportion d'azote nitrique présent dans le sol au début de l'épisode de drainage qui est lixiviée est grande (pour une même quantité d'azote nitrique dans le sol).

I.5. Conséquences environnementales et sanitaires

Une accumulation des nitrates dans les eaux de surface, constitue un risque écologique majeur : c'est le phénomène d'eutrophisation (Bontoux, 1993). La présence, en forte quantité de nitrates dans les eaux constitue aussi un risque sanitaire du fait de la réduction par l'organisme, dans certaines conditions des nitrates en nitrites :

Chapitre I Impact de l'irrigation par aspersion sur les fuites des nitrates

1. Dans le sang, les nitrites peuvent transformer l'hémoglobine en méthémoglobine non fonctionnelle ce qui bloque le transport d'oxygène : c'est la méthémoglobinémie qui touche essentiellement les nourrissons (EEC., 2001).

2. Dans l'estomac, les nitrites peuvent réagir avec les amines secondaires apportées par l'alimentation pour former des nitrosamines dont la plus part ont un pouvoir cancérigène reconnu (ECC., 2001).

I.6. Mécanismes de transfert des nitrates

Les transferts de nitrates dans le système sol-zone non saturée (Fig. 02) se déroulent selon trois processus : physique, chimique et biologique.

I.6.1. Transfert physique

L'eau se déplace par gravité en s'infiltrant par la porosité du sol et/ou en suivant les pentes d'écoulement préférentiel. La convection correspond au transfert vers les profondeurs ; la dispersion correspond à la diffusion de l'eau dans des voies plus ou moins horizontales.

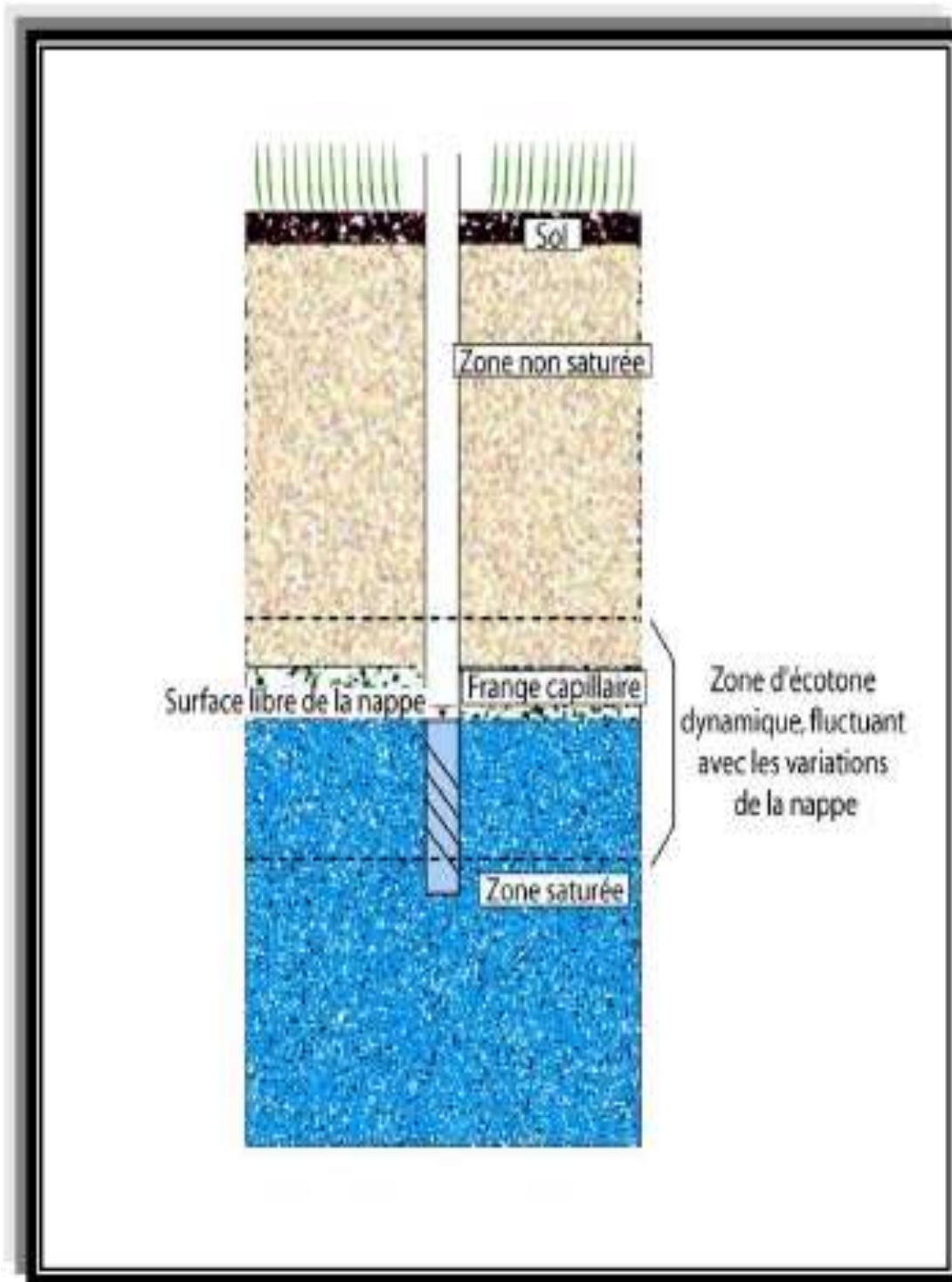


Fig.2. Représentation schématique de la structure du système So/zone non saturée/zone saturée d'après Dole (1984).

Le temps de transfert va dépendre de deux facteurs principaux à savoir (Berdai.H., 2003):

A- Caractéristiques du sol

1. Sa composition : (proportion de sable, argile, gravier).
2. Sa perméabilité.
3. Son homogénéité.

B - Humidité des sols

Plus le sol est humide et plus le temps de transfert est rapide. L'eau circule d'autant plus vite et facilement qu'il existe de l'eau au départ. Ce facteur, connu sous le nom de conductivité hydrique, est plus explicatif dans le mécanisme de transfert des nitrates dans la zone non saturée (Berdai.H., 2003).

I.6.2. Transfert chimique

Au cours de son parcours dans le sol, l'ammonium, présent dans les engrais au contact avec l'oxygène et des bactéries, se transforme en nitrates (NO^{-3}). Le phénomène inverse peut se produire dans le processus de dénitrification : les atomes d'oxygène disparaissent, de telle sorte qu'il n'existe plus que l'azote gazeux. Les nitrates, une fois formés, sont transportés par l'eau d'infiltration et ne sont pas retenus par le complexe absorbant. Il ne sont donc pas freinés au cours de leur déplacement dans le sol. Il sont emportés par le flux de convection de l'eau à la même vitesse. (Legros. P., 1989)

I.6.3. Transfert biologique

L'un des processus connus de biodégradation est la dénitrification biologique des nitrates, qui peuvent se dégrader sous certaines conditions, notamment en cas de réfraction de l'oxygène : les bactéries consomment l'oxygène présent dans les molécules des nitrates qui les retransforment en azote gazeux inerte (N_2) (Bockman et al. 1990).

I.7. Transfert des nitrates vers la nappe

Les nitrates transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles à savoir (Legros. P., 1989) :

Le sol: l'activité chimique et microbiologique est intense. De nombreux corps sont modifiés chimiquement, les polluants organiques peuvent être métabolisés et minéralisés. Le sol constitue un puissant moyen d'épuration et de recyclage des eaux. Les argiles par

Chapitre I Impact de l'irrigation par aspersion sur les fuites des nitrates

Le contenu microbiologique du sol peut épurer l'eau de ses substances indésirables, comme les composés azotés. (Ramos, 2004).

La zone non saturée : La zone non saturée est comprise entre le sol et la surface de la nappe. De nature très diverse, suivant le type de roches concernées et, d'épaisseur variable (de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres), elle conditionne en grande partie les temps de transfert vers la nappe (de quelques jours à plusieurs années). Exemple adsorbent les cations (Ca^+ , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , métaux lourds) et certains molécules organiques.

Suivant que la roche est à perméabilité d'interstices (sables, grés) ou de fissures (calcaires), les circulations seront plus ou moins rapides.

Dans le milieu non saturée, les transferts se font sous l'influence d'une composante verticale. La zone non saturée joue un rôle primordial par son pouvoir d'auto épuration naturel (analogue à celui des filtres lents des usines de traitement). Cette barrière franchie, la propagation du polluant ne rencontre pratiquement plus d'obstacles. C'est dans cette zone que l'eau souterraine acquiert ses caractéristiques physico-chimiques et biologiques.

La zone saturée : La zone saturée constitue l'aquifère. Dans cette zone, les transferts sont essentiellement latéraux (composante horizontale) selon la direction générale d'écoulement de la nappe. Dans l'aquifère, en raison de l'absence d'oxygène, de matières organiques et de micro-organismes, le rôle épurateur est très réduit. Pratiquement, seule la dilution agit. Celle-ci est proportionnelle au débit de la nappe (transmissivité). Un fort renouvellement est favorable à l'élimination de la pollution.



Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

II.1. Contexte géographique

II.1.1. Description de la zone d'étude

La plaine alluviale du Haut-Chélif, située à 100 km au sud-ouest d'Alger, appartient au bassin du Cheliff, elle couvre une superficie de 359 Km² et un périmètre de 159 Km et de 270 m d'altitude moyenne. La plaine est une zone à vocation agricole, nécessitant une irrigation par aspersion. Dans notre travail nous étudions la partie Est de plain haut-Chélif et pour bien précisé la région de djendel que est située sur Est de la wilaya d'Ain Defla 36°13'N et 2°25'E s'étend sur une partie de la commune de Ouamri wilaya de Médéa au Est à la commune de Ain Soltane au ouest, et de Oued Chorfa et Ain Lechiakh au sud à Boumedfaa et Hoccinia au nord.



Fig.03. Images satellitaires représentant la localisation des parcelles étudiées.

II.2. Contexte climatique

II.2.1. Précipitation

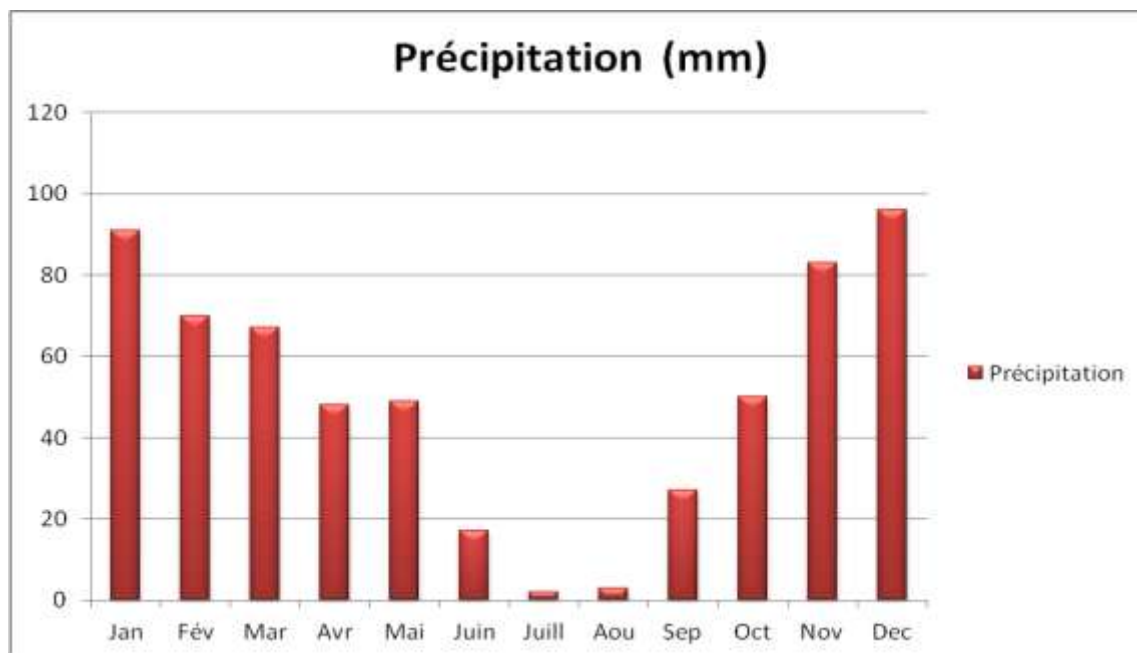


Fig.04. Histogramme de variation de la précipitation mensuelle (INSID ,2016).

Cette figure représente la pluviométrie mensuelle de l'année 2016. Cette année est caractérisée par des quantités de précipitation importantes pour la plupart des mois pluvieux est le mois de Décembre avec 96 mm et Janvier avec 91 mm les mois les moins pluvieux est le mois de Juillet avec 2 mm.

II.2.2. La température

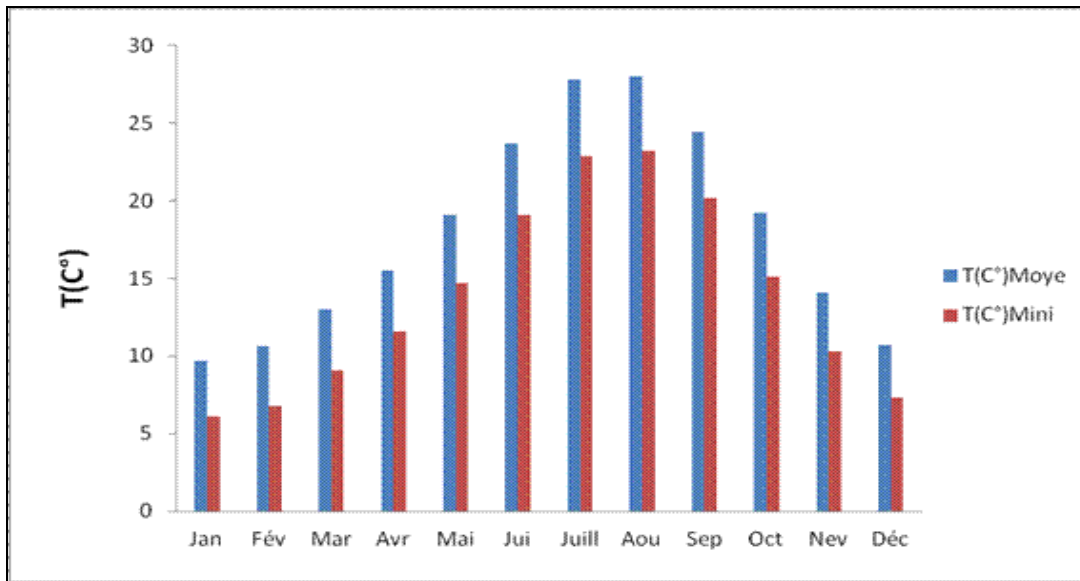


Fig.05. Histogramme de variation de la Température mensuelle maximale et minimale (INSID, 2016).

Cette figure montre une grande amplitude entre les valeurs des températures maximales d'un mois à l'autre. Les plus hautes températures ont été enregistrées au mois d'Aout et les plus basses au moins de Janvier. Ces basses températures ont été des gelées d'hiver et des neiges constatées sur le terrain durant la période concernée et a engendré un retard sur la date de plantation.

II.2.2.1. Moyenne mensuelle d'enseillement

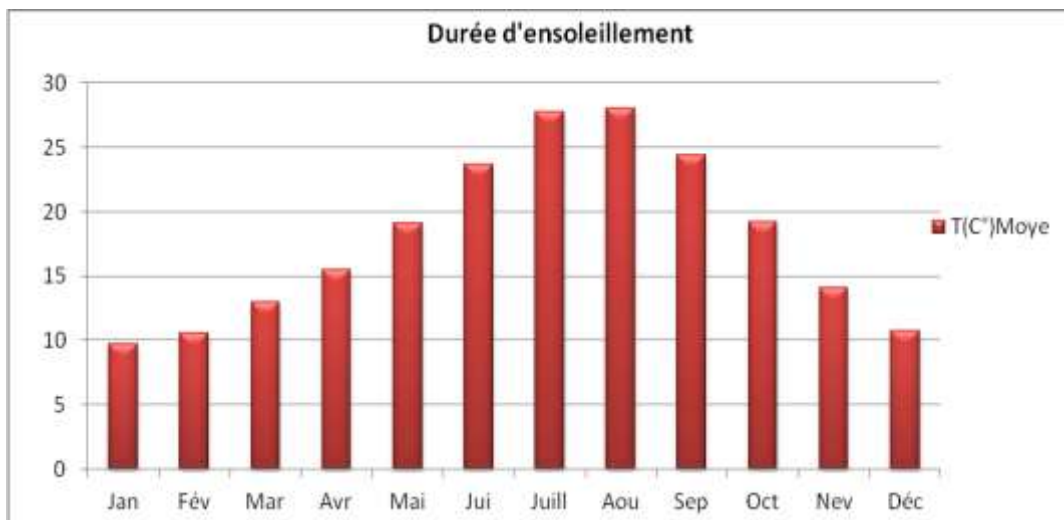


Fig.06. Histogramme de Variation de la durée moyenne mensuelle d'enseillement (INSID 2016).

La région d'étude est caractérisée par des durées d'ensoleillement qui sont au-dessous de 25h/mois de juillet et août, et tout les mois restent qu'elles sont inférieures à 25 h/mois, cela est tout à fait normal car pendant la période hivernale la durée des journées diminue donc le ciel est de plus en plus couvert par les nuages, par contre c'est l'inverse dans la période estivale.

II.2.3. Indice climatique

La technique est fondée sur un diagramme dressé par Emberger qui nous renseigne sur le climat, ainsi que le type d'hiver dominant d'une région.

Ce climagramme permet, grâce au quotient pluviométrique d'Emberger (Q_2) spécifique au climat méditerranéen, de situer une zone d'étude dans un étage bioclimatique.

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

$$Q_2 = 3,43 P / (M - m)$$

Q_2 : Quotient pluviométrique d'Emberger

P : moyenne annuelle des précipitations (mm) ;

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

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

$$\begin{array}{lcl} T_{\max} = 32,9 \text{ °C} & \Longrightarrow & M = 32,9 + 273 = 305,9 \\ T_{\min} = 6,1 \text{ °C} & \Longrightarrow & m = 6,1 + 273,8 \text{ kelvin} \\ & & P = 50,25 \text{ mm.} \end{array}$$

Alors

$$Q_2 : 3,43 \times 50,25 / (305,9 - 279,9)$$

$$Q_2 = 6,62$$

Quotient pluviométrique d'Emberger ($Q_2=6,62$) pour la moyenne annuelle des précipitations de Djendel ITGC sur le climagramme d'Emberger nous a permis de situer notre région dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver tempéré.

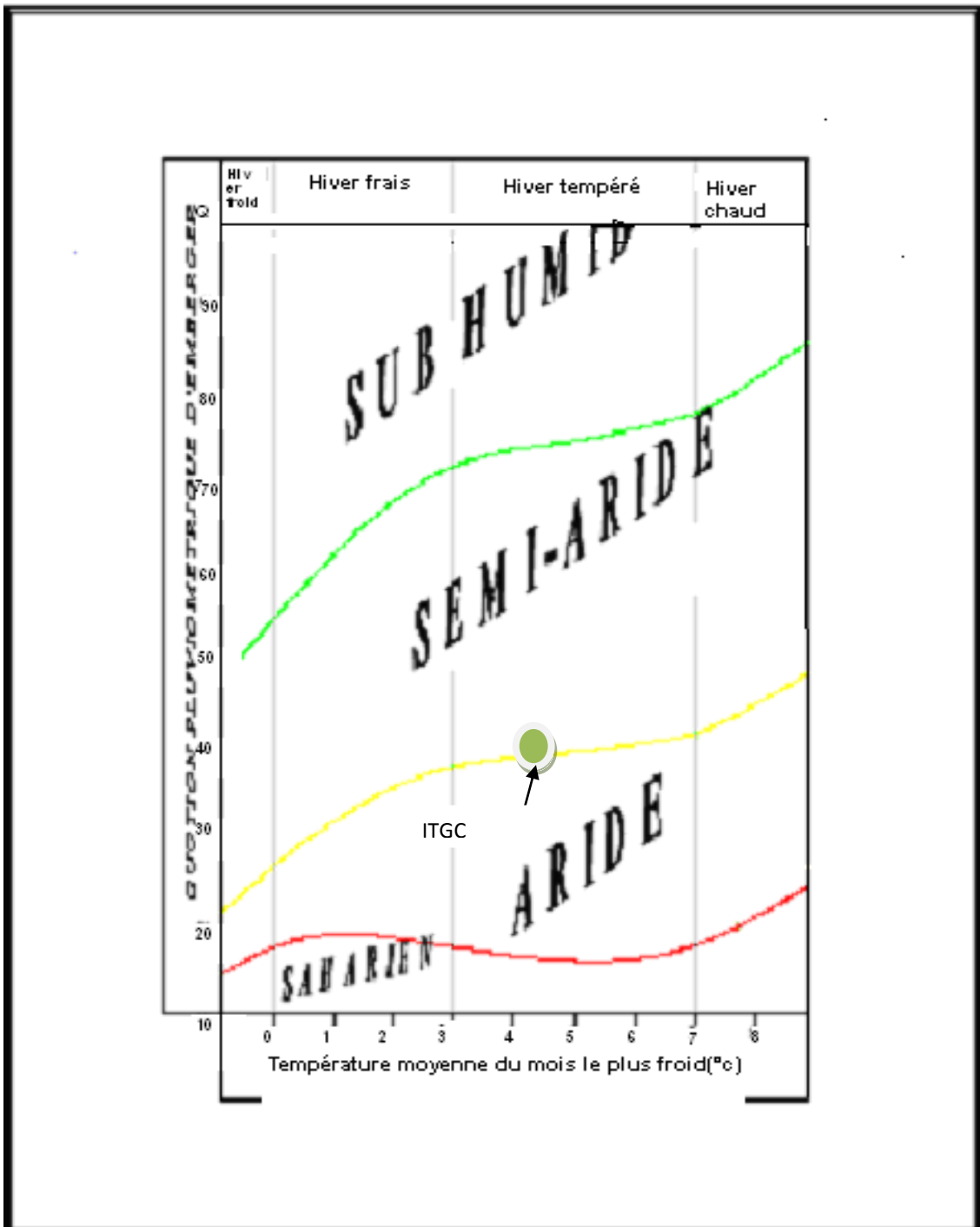


Fig.07. Diagramme bioclimatique d'Emberger.

II.3. Contexte agricole

Ain –Defla est une wilaya à vocation agricole, elle recouvre une superficie agricole totale (SAT) de 235611ha soit 55,30% de la superficie totale de la wilaya. La superficie agricole

utile (SAU) est de l'ordre de 181676 ha soit 77,10% du SAT. Elle était de 170384 ha en 1998 soit une augmentation absolue de 11292 ha de 1998 à 2008. La superficie cultivée en irrigué en 2008 est de 39600 ha soit 22% de la SAU.

La commune de Djendel s'étend sur une superficie totale de 25100 ha.

Tab.02. Répartition générale des terres dans la zone de Djendel en (ha)

Surface agricole Totale S.A.T	Surface agricole Utile S.A.U	Foret	Superficie Irriguée	Terre incultes
13295	10168	1798	2567	3127

Source : Subdivision Agricole de Djendel 2012.

Les terres agricoles de la commune de DJENDEL sont occupées essentiellement de grandes cultures (Céréales et fourrages), tandis que les cultures industrielles et les cultures fruitières ne sont pas assez Importantes.

Tab.03. La production agricole au niveau de la subdivision Djende 2014 /2015

Espèces	Superficie (Ha)	Production(Qx)	Rendement (Qx/Ha)
Pomme de terre	1369	364540	266,28
Tomate	16	10580	661,25
Oignon	82	35890	437,68
Pastèque	110	64520	586,564
Laitue	230	103500	450
Céréales		2806650	30
Blé dur	7975	123766,78	15,5
Blé tendre	300	22410	74,7
Orage	3800	58110,76	15,29

Source : DSA 2016.

II.4. Pédologie

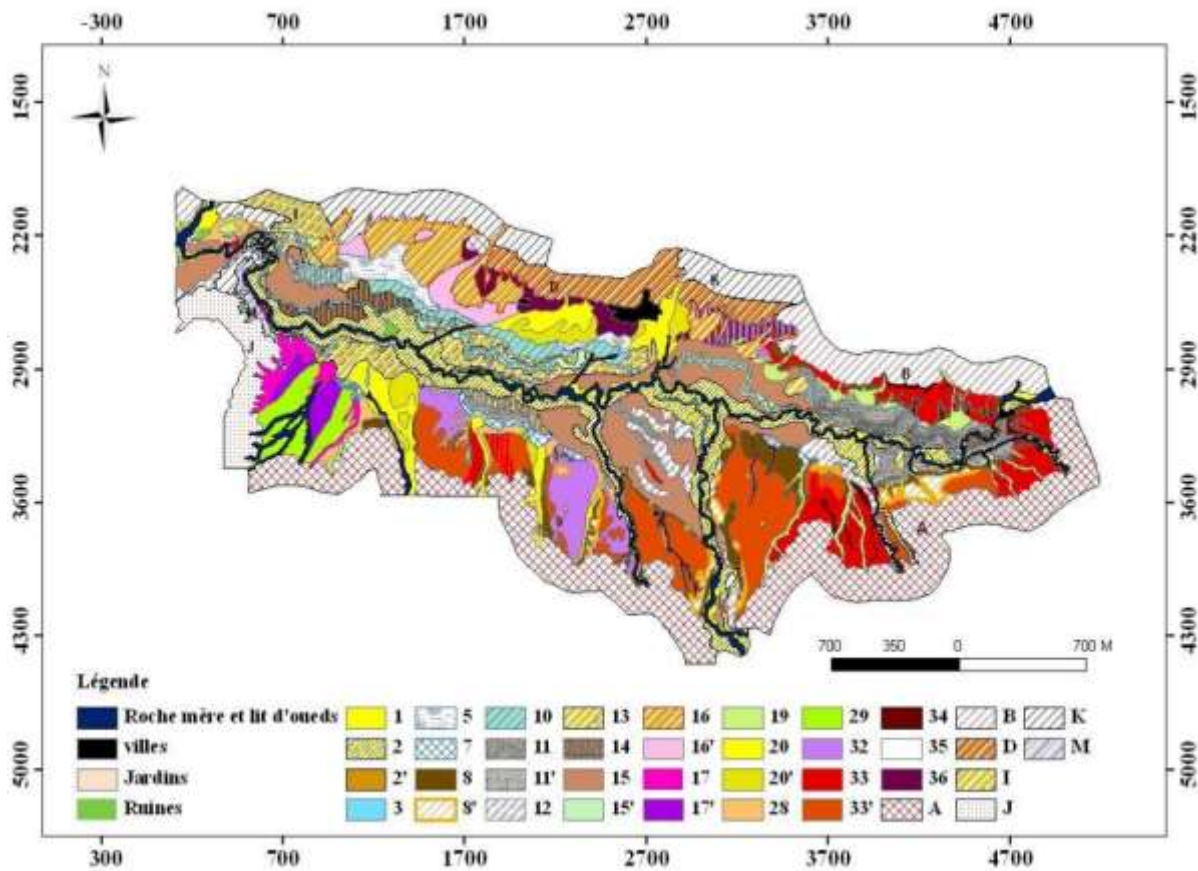


Fig.08. Carte des sols d'Algérie (Boulaïne.,1955).

Selon Boulaïne (1956), la nature du sol de la région du Haut Cheliff varie avec le relief, cela nous permettra de distinguer trois types de sol :

- Les sols Alluviaux de terrasse moderne.
- Les sols de terrasse ancienne.

Les sols du Haut-Chélif sont caractérisée par la prédominance d'éléments fins donc c'est la catégorie des terres fortes. La plus part des sols ont un fort pourcentage de calcaire actif supérieur à 10%, les sols ne sont pas salés et de types argileux limoneux (Legoupil, 1974). Les sols de la plaine de Khemis-Miliana sont limono-argileux à argilo-limoneux caractérisée par une importante capacité de rétention de l'eau.

II.5. Hydrogéologie

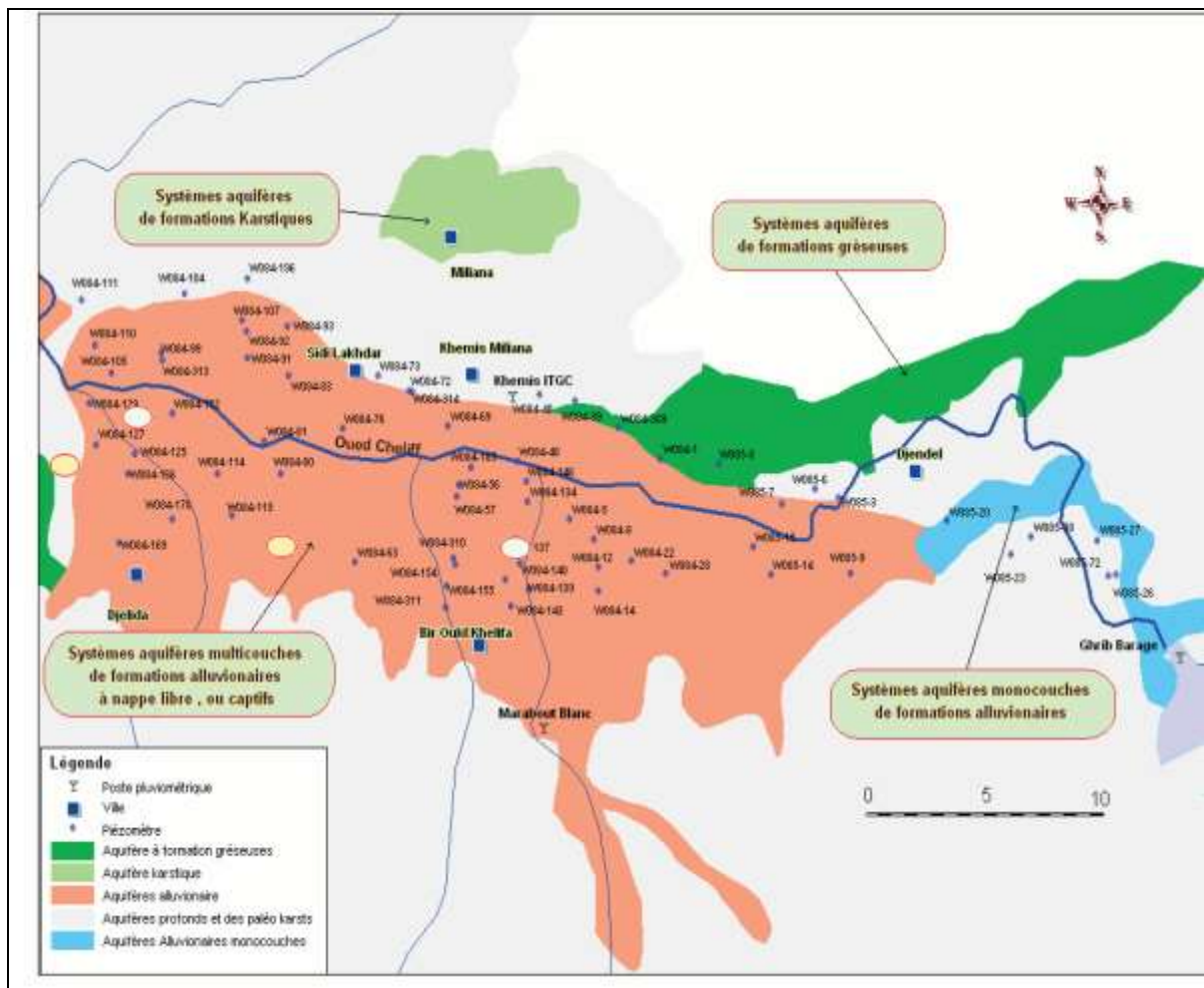



Fig.09. Le réseau piézométrique de la plaine du Haut Cheliff (MATE, 2010).

D'après la figure N°9 , la région de Djendel est composée essentiellement de quatre systèmes aquifères :

- Les systèmes aquifères de formations gréseuses ;
- Les systèmes aquifères monocouches de formations alluvionnaires ;
- Les systèmes aquifères multicouches de formations alluvionnaires à nappe libre, ou captifs ;
- Les systèmes aquifères profonds et des paleo karsts.

A large, horizontally-oriented oval with a light orange gradient and a thin dark orange border. The text is centered within this oval.

Partie expérimentale



Matériels et méthodes

Introduction

Les analyses de sols sont des procédures visant à caractériser la composition et les qualités physico-chimiques des sols. Ce sont des applications de la pédologie permettant d'avoir une idée sur l'impact de l'irrigation par aspersion (sous pression) sur le fuite de nitrate.

1^{er} Travail : Analyses des propriétés physico-chimiques du sol, des parcelles agricoles de la région de Djendel .au niveaux de laboratoire chimie d'université de Djilali Bounaama, Khemis Miliana.

2^{er} Travail : Analyses des propriétés physico-chimiques des échantillons de l'eau prélevait :

L'eau de bassin de pépinière et bassin kaouna (sidi Nasser).

III .1. L'échantillonnage

L'échantillonnage a été effectué pendant la période printanière de l'année 2017.

Les échantillons du sol ont été prélevés à partir des trois sols (cultivé en salade, cultivé en pomme de terre, d'une pépinière). Le sol pris d'une parcelle agricole sont prélevés par la tarière. 9 trous à différentes profondeurs comprise entre 0-30 à 30- 60 cm (18 échantillons) pour le premier prélèvement et 18 échantillons pour le deuxième prélèvement réalisé .le première prélèvement est réalisé en (23/02/2017) et le deuxième en (12/03/2017) après l'irrigation.et a été séché à l'air libre pendant quelques jours, puis broyé et tamisé à 2mm de diamètre, et conservé dans des sacs en plastique bien fermé dans un endroit sec et propre.

Le nombre total des échantillons est 36 échantillons, qui sont répartis de façon aléatoire sur notre région d'étude. Les échantillons prélevés sont mis dans des sacs en plastique étiquetés.

III.1.1. Apports d'azote sur le périmètre d'étude

Epannage d'engrais de fond : N.P.K 15.15. 15.

Epannage d'engrais de couverture : Urée 46%.



Fig.10. points de prélèvement des dols dans la zone d'étude (Djendel)

III.1.2. Le dispositif de prélèvement



Photos n°3: Outil de prélèvement des échantillons de sol-Tarière (Djendel 2017).

III.1.3. Préparation des échantillons du sol

L'objectif de la préparation de l'échantillon avant analyse est d'obtenir un échantillon Représentatif dans lequel la concentration en paramètre à analysé est aussi proche que celle Présente dans le sol. C'est souvent l'étape la plus longue et celle qui génère le plus de sources D'erreur dans la chaîne analytique selon (LOZET et Mathieu, 2002).

Elle comprend :

- Séchage dans l'étuve pendant 24heurs.
- Broyage.
- Tamisage à 2mm.

L'échantillon est désagrégé mécaniquement et passé au travers du tamis de 2mm. La terre fine est conservé jusqu'au moment des analyses.



Photos n°4 : Les prélèvements portent sur trois horizons : 0-30cm ;30-60cm (Djendel2017).

III.1.4. Stockage et transporte



Photos n°5 : la conservation et transport le stockage des échantillons de sol (Djendel2017).

III.1.5. Préparation de l'échantillon pour le laboratoire



Photos n°6 : Numérotation des échantillons et des formulaires (Djendel2017).

III.1.6. Préparation des échantillons pour le séchage

Séchage des échantillons à l'air ambiant ou dans une étuve à 105 °C jusqu'à ce qu'ils soient secs (1jour).



Photos n°7 : des échantillons dans l'étuve (laboratoire chimie 1- 2017).

Enlèvement des échantillons sec, les roches et les débris végétaux.

II.1.7. Broyage et tamisage

Les échantillons ont été broyés avec un mortier, et le tamisage est effectué avec un tamis de 2 mm.



Photos n°8: broyage et tamisage des échantillons de sol à 2 mm.

Empotage des échantillons pour prélèvement de sous-échantillons à des fins d'analyse.

II.1.8. Les autres appareils utilisés pour les analyses :



La balance électronique

L'agitateur mécanique

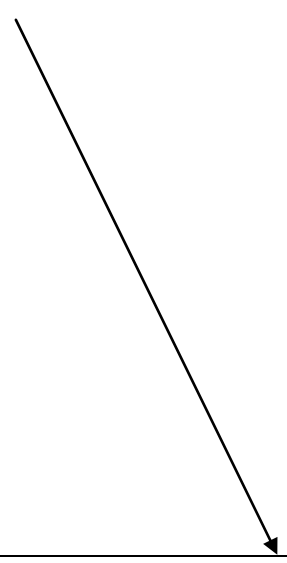
Photos n°9: Laboratoire chimie 1 (2017).

III.2. Les analyses physico-chimiques pour la caractérisation du sol

II.2.1. Les analyses chimiques

Ces analyses ont été effectuées au laboratoire d'analyse de l'université de Djilali Bounaama (Khemis Miliana).

Tab.4. Tableau récapitulatif des mesure et des analyses au laboratoire

Parameter mesures		Méthodes de mesure(ou analyse au laboratoire)	
Physiques	Conductivité électrique (CE)	SOL	EAU
		Extrait dilué (1/5)	Conductimètre
	Potentiel d'hydrogène (pH)	Extrait dilué (1/2,5) ; pH-mètre	pH-mètre
	Granulométrie	Méthode de STOCK (par pipette de ROBINSON)	
	La porosité	la densité apparente Da et la densité réelle Dr	
	Humidité	Séchage à l'étuve à 105°C	
Chimique	Matière organique	Méthode ANNE	
	Calcaire totale	Calcimètre	
	Cations : Ca⁺, Mg⁺ Na⁺, K⁺	Titration : EDTA	
		Spectrophotomètre de flamme (labo chimie 3)	Spectrophotomètre deflamme (labo chimie 3)
	Anions : CL⁻ NO₃⁻	Titration: Cl ⁻	Titration : CL ⁻
		Spectrophotomètre NO ₃ ⁻ (laboratoire de l'ADE)	Spectrophotomètre NO ₃ ⁻ (laboratoire de l'ADE)

II.2.2. Les analyses Physique du sol

Sur la fraction broyée et tamisée nous avons effectué des paramètres physico-chimiques, et Sur la fraction non traitée, nous n'avons effectué qu'une seule analyse qui est la densité apparente.

II.2.2.1. Conductivité électriques

(CE) Selon Du chauffour (1965) la conductivité électrique relate les teneurs en différents sels solubles contenues dans un milieu donne. Ces sels peuvent contenir des ions de sodium, de calcium, de magnésium, de chlore et autres.

Lorsque la concentration en sels est trop élevée, les racines se développent mal et la croissance de la plante est ralentie. On aboutit même a un dépérissement des plantes.

Principe

On a détermine la conductivité électrique de la manière suivante : On procède a la mise de 10 g de terr fine dans un bécher de 100 ml, on rajoute 50 ml d'eau distillée, et on met le bécher sous agitation pendant une demi-heure. Apres repos de 5 minutes on mesure la conductivité électrique a l'aide du « conductimètre » qui est exprime en milli siemens / cm (ms /cm) (BE., 1993).

Tab.5. Classification de la conductivité électrique: (USSL, 1981)

Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Salure
0 – 0,6	Non sale
0,6 – 1,4	Peu sale
1,4 – 2,4	Salé
2,4 – 6	Très sales

(USSL, 1981).

II.2.2.2. Le pH

Le pH est défini comme le logarithme décimal de la concentration d'une solution en ion H⁺. Il permet d'approfondir les modalités d'interaction entre les ions et les surfaces absorbantes du sol (Mirsal., 2004).

Principe :

La méthode la plus exacte pour mesurer le pH d'un sol consiste à utiliser un « pH mètre » électrique qui donne directement la valeur du pH quand on plonge des électrodes en verre dans une solution obtenue en mélangeant une part d'échantillon du sol avec deux parts d'eau distillée (Duchauf four, 2001).

Tab.6. Classification de pH

pH	4- 4,5	4,5 – 5,5	5,5 – 6,5	6,5 – 7,5	7,5 – 8,5	>8,5
Degré	Très acide	Acide	Peu acide	Neutre	Peu alcalin	Alcalin

Source : INSID, 2016).

II.2.2.3. Granulométrie

L'analyse granulométrique d'un sol, consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules. On sépare par les analyses de sol, les particules en trois classes distinctes : soit sable (de 2 à 0,05 mm), le limon (de 0,05 à 0,02 mm) et l'argile (inférieure à 0,002 mm). (DAMAY et JULIEN, 1995 in MEDJELEKH D., 2006).

Cela nous permet de connaître certaines caractéristiques du sol, comme la capacité des racines qui y pénètrent, la capacité du sol à retenir l'eau, ou sa vulnérabilité à la compaction.(CALVET, 2003).

Et donc la granulométrie est effectuée selon la méthode internationale, Le prélèvement des argiles et limons fins a été effectué à l'aide de la pipette Robinson, les sables fins et grossiers ont été récupérés par tamisage, les limons grossiers ont été déduits par différence. (OUMERZOUK ET BOUHARAS, 1993).

Principe

La « granulométrie » proprement dite concerne la terre fine obtenue par tamisage et après élimination du calcaire et de la matière organique.

Le principe de l'analyse est basé sur la vitesse de sédimentation des particules (terre fine obtenue auparavant) ou chaque particule présente une vitesse de chute par rapport à son

diamètre qui est donnée par la formule de « stockes ».

Ensuite a l'aide d'un densimètre que nous avons plongé dans la solution contenant la terre fine, la densité de la solution a été mesurée à différents niveaux et en fonction du temps. Ces éléments du sol (sables, limons, argiles) ont pu être ainsi quantifiés en pourcentage, et la texture en fin de compte, est obtenue grâce à un triangle des textures voir figure 17, dont les trois cotés correspondent respectivement aux pourcentages des éléments du sol calculés (Godwin et al. 2013).

Le prélèvement des argiles et des limons fins a été effectué à l'aide de la pipette Robinson, les sables fins et grossiers ont été récupérés par tamisage, les limons grossiers ont été déduits par différence. (OUMERZOUK ET BOUHARAS, 1993).

Pour définir la texture de la fraction de terre fine, on s'est servi du diagramme triangulaire représenté ci-dessous ; dont les trois cotés correspondent respectivement aux pourcentages des éléments du sol calculés (Godwin et al. 2013).

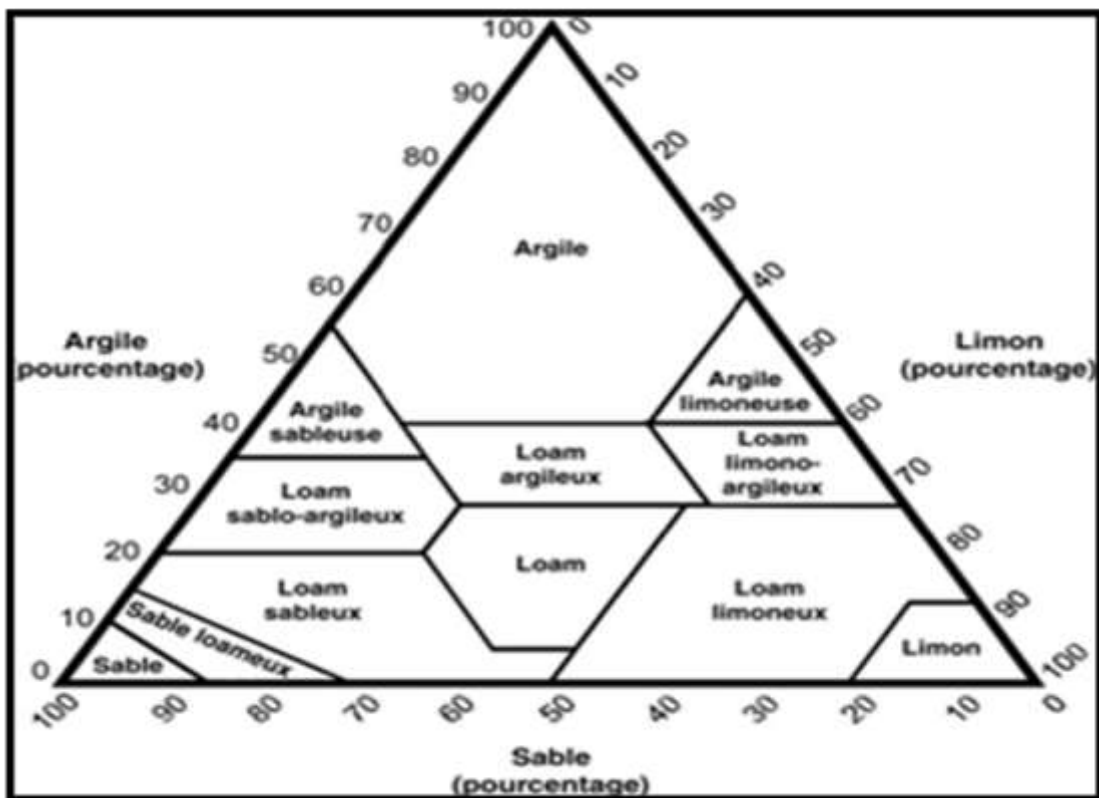


Fig.11. Diagramme de texture (JAMAGNE, 1980).

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| 1. Sable. | 8. Limon léger. |
| 2. Sable limoneux. | 9. Limon moyen. |
| 3. Sable argileux. | 10. Limon argileux. |
| 4. Limon léger sableux. | 11. Argile sableuse. |
| 5. moyen sableux. | 12. Argile. |
| 6. Limon sableux argileux. | 13. Argile limoneuse. |
| 7. Limon argilo-sableux. | 14. Argile lourde. |

La méthode du triangle textural qui répartit les particules de la façon suivante :

- limon regroupe toutes les particules dont le calibre est compris entre 0,002 et 0,05 mm.
- L'argile comprend toutes les particules dont le calibre est inférieur à 0,002 mm. (BONNEAU ET SOUCHIER, 1994).

I.2.2.4. La porosité

La partie de l'espace porale qui est à l'origine de la diminution de la porosité totale des blocs de terre est due aux fissures et aux canalicules est appelée la porosité structurale, et elle comprend deux paramètres, la densité apparente D_a et la densité réelle D_r (Delaunois, 1976).

- **La densité apparente (DA)**

Sachant que la densité apparente des sols varie entre 1,00 g/cm³ et 1,80 g/cm³. (KAURICHEV, 1980 in BOUDJEMAA, 2007), elle représente la masse totale de l'agrégat/volume total de l'agrégat ; La « DA » indique l'état ou la condition du sol, elle diminue avec la teneur du sol en humus. (DUTHIL, 1970 in BOUDJEMAA, 2007).

Mettre un agrégat de sol (10 à 15 g), dans l'étuve pendant 24 heures à une température de 105°C, l'entourer d'un fil à coudre de poids négligeable puis peser l'agrégat (P1), plonger l'agrégat dans une solution de paraffine dissoute, pendant 5 à 10 minutes, peser l'échantillon avec la paraffine, replonger l'agrégat enrobé de paraffine dans une éprouvette de 100 ml contenant un volume connu (V_t) d'eau distillée et noter la différence.

- **La densité réelle (DR)**

Elle exprime la densité des éléments constituant la phase solide du sol, et représente la masse du solide / le volume du solide, elle est généralement entre 2,5 g/cm³ et 2,6 g/cm³. (MOREL, 1989).

Principe : (Voir Annexe n°6)

I.2.2.6. Humidité

Les échantillons sont placés dans des boîtes métallique et mis à l'étuve après avoir été pesées. Après une durée de 24 heures, à une température de 1050C, ces échantillons sont à nouveau pesés, et le pourcentage d'humidité relative au poids sec du sol est donné par la formule suivante (Baize, 2000).

$$H\% = ((PF-PS)/PF) \times 100 \text{ ou } H\% = ((P1-P2)/P1) \times 100 \text{ Ou :}$$

H : humidité au champ (%)

PF = P1 : poids frais de l'échantillon (avant séchage) (en g).

PS = P2 : poids sec de l'échantillon (après séchage) (en g).

II.2. 3. Les analyses chimiques du sol

II.2.3.1.Matière organique (MO)

La matière organique du sol est un indicateur important de la dégradation de la qualité des sols de part sa contribution dans la stabilité du sol, l'augmentation de la capacité de rétention en eau du sol, la fixation des éléments minéraux, et le substrat pour les microorganismes du sol. Le contenu en matière organique des sols est influencé globalement par les facteurs climatiques, la végétation, la texture du sol, les conditions topographiques, influençant le microclimat et le drainage et les pratiques culturales (Drouet Th, 2017).

Elle joue aussi un rôle environnemental capital en participant à contrer le phénomène de désertification et en diminuant, lorsque ses teneur augmente dans les sols, le dégagement de gaz carbonique pouvant rejoindre l'atmosphère et accroître les quantités des gaz responsable de l'effet de serre (FAO, 2008).

II.2.3.1.1. Importance de la matière organique du sol

La présence de matière organique dans les sols est à l'origine de l'apparition des propriétés Physico-chimiques favorisant le développement des végétaux cultivés et naturel.

L'augmentation des ces teneurs s'accompagne d'une amélioration de la structure, de la facilité de l'infiltration de l'eau, de l'accroissement de la capacité de la rétention en eau, ainsi que du pouvoir de résistance à l'érosion (Leprun, 1988).

Pour déterminer le taux de la matière organique d'un sol, en réalisée indirectement le dosage de la teneur en carbone organique, en utilisent la méthode ANNE (1945).

Principe : (voir Annexe n° 5).

Tableau n°5 : Echelles d'interprétation de la Matière organiques

MO (%)	Sol
MO < 1	Très pauvre
1 < MO < 2	Pauvre
2 < MO < 4	Moyen
MO > 4	Riche

(I.T.A, 1975 in HAFOUDA, 2005)

II.2.3.2. Calcaire total

C'est l'ensemble du calcaire de sol représente sous toutes dimensions, (toutes les tailles). Parmi les différents éléments chimiques qui entrent dans la composition du sol, le « calcaire » joue un rôle essentiel non seulement dans la nutrition des plantes mais encore dans la pédogenèse (Duchauffour, 1984).

Principe

Le principe de dosage du calcaire total est basé sur la mesure du CO₂ dégagé du calcaire (CaCO₃) se trouvant dans 0,5g de terre fine neutralisée par 5 ml d'acide chlorhydrique (HCl). Le dispositif réactionnel est appelé « calcimètre de Bernard » ou « procédé gazométrique ». Il est composé d'une burette pour la mesure du volume du CO₂ dégagé, d'un tube d'essai pour le HCl et d'un erlenmeyer contenant le sol.

Tab7. Echelle d'interprétation de Calcaire Total

CaCO ₃ (%)	Sol
CaCO ₃ <1%	Non calcaire
<1CaCO ₃ <5%	Peu calcaire
5<CaCO ₃ <25%	Modérément calcaire
25<CaCO ₃ <50%	Fortement calcaire
50<CaCO ₃ <80%	Très fortement calcaire
CaCO ₃ >80%	Excessivement calcaire

(BAISE, 2000)

II.2.4. Les chlorures : Le dosage des ions Cl⁻ se fait par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO₃, 0.02N) en présence de chromate de potassium (KCrO₇), les chlorures vont se précipiter sous forme de chlorure d'Argent (AgCl).

**Photos n°10 :** Chromate de potassium (2017)

II.2.5. Le Calcium : Le dosage du calcium se fait par complexométrie en présence de la soude (NaOH), le murexide comme indicateur coloré et nous titrons par l'acide éthylène diamine tétra acétique (E.D.T.A.)



Photos°n11 : éthylène diamine tétra acétique (E.D.T.A.), (2017).

II.2.6. Le magnésium : Les ions Mg^{2+} sont dosés par complexométrie (E.D.T.A) après l'ajout de la solution tampon et le NET comme indicateur coloré.



Photos n°12 : l'indicateur coloré (le NET) (2017)

II.2.7. Les carbonates et bicarbonates : Le dosage des HCO_3^- se fait par acidimétrie à l'aide d'une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 à 0.02N en présence de l'indicateur coloré le vert de Bromocrésol et phénolpthaléine dans la solution des carbonates.



Photos n°13: l'ajout de l'indicateur coloré (Bromocrésol) (2017).

II.2.8. Le potassium et sodium : Le dosage se fait par un photomètre à flamme dont le principe se base sur la décomposition des atomes Na^+ et K^+ lors de leurs passage dans la flamme après une certaine série d'étalonnage avec des concentrations différentes afin de déterminer la teneur des ions Na^+ et K^+ dans l'eau étudiée.



Photo n°14: le dosage du sodium et potassium par le photomètre à flamme.

II.2.9. Dosage de nitrate NO_3^- **II.2.9.1 Élaboration de l'extrait KCl**

40 g d'échantillon sont pesés dans un flacon en polyéthylène (PE) de 500 ml.

Ajouter 200 ml de solution de KCl à une température de 20 °C. Agiter mécaniquement pendant 1 heure à 20 °C à l'aide d'un agitateur rotatif. Transvaser

environ 60 ml de la suspension d'extrait dans les tubes à centrifuger et centrifuger pendant 10 min à environ 3000 g. Transvaser la solution surnageante dans des fioles d'une capacité nominale de 100 ml. Effectuer également un essai à blanc en ajoutant uniquement la solution de KCl 1 M dans un flacon en polyéthylène.

Il convient de procéder immédiatement au mesurage des fractions d'azote correspondantes, mais au plus tard un jour après l'extraction. Si cela n'est pas possible, il est recommandé de stocker les extraits au réfrigérateur à une température ne dépassant pas 4 °C, pendant une semaine au plus. (ISSeP, 2014)

II.2.9.2. Méthode au salicylate de sodium.**Principe**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosionate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

Réactifs

- Solution de salicylate de sodium à 0.5 % (renouveler toutes les 24 h.).
0.5 gr de salicylate de sodium dans 100 ml d'eau distillée.
- Solution d'hydroxyde de sodium 30 %. (30 gr de NaOH dans 100 ml d'eau distillée).
- H_2SO_4 concentré.
- Tartrate double de sodium et de potassium.
- Hydroxyde de sodium Na OH 400 g.
- Tartrate de sodium et de potassium 60 g.
- Eau distillé..... qsp 1000 ml.

Laisser refroidir avant de compléter à 1000 cc.

Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène.

- Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/l.
- Nitrate de potassium anhydre 0.722 g.
- Eau distillée 1000 ml.
- Chloroforme 1 ml.
- Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5 mg/l.

Appareillage.

- Etuve.
- Spectrophotomètre U.V visible.

Courbe d'étalonnage.

Dans une série de capsule de 60 ml, introduire successivement :

N° de capsule	B	I	II	III	IV
\$ étalon 5 mg/l.	0	1	2	5	10
Eau distillée	10	9	8	5	0
\$ de salicylate de Na	1	1	1	1	1
Correspondant en mg/l de N nitrique	0	0.5	1	2.5	5

Méthode spectrophotométrique au salicylate de sodium.



Photo n°15 : Spectrophotomètre U.V visible

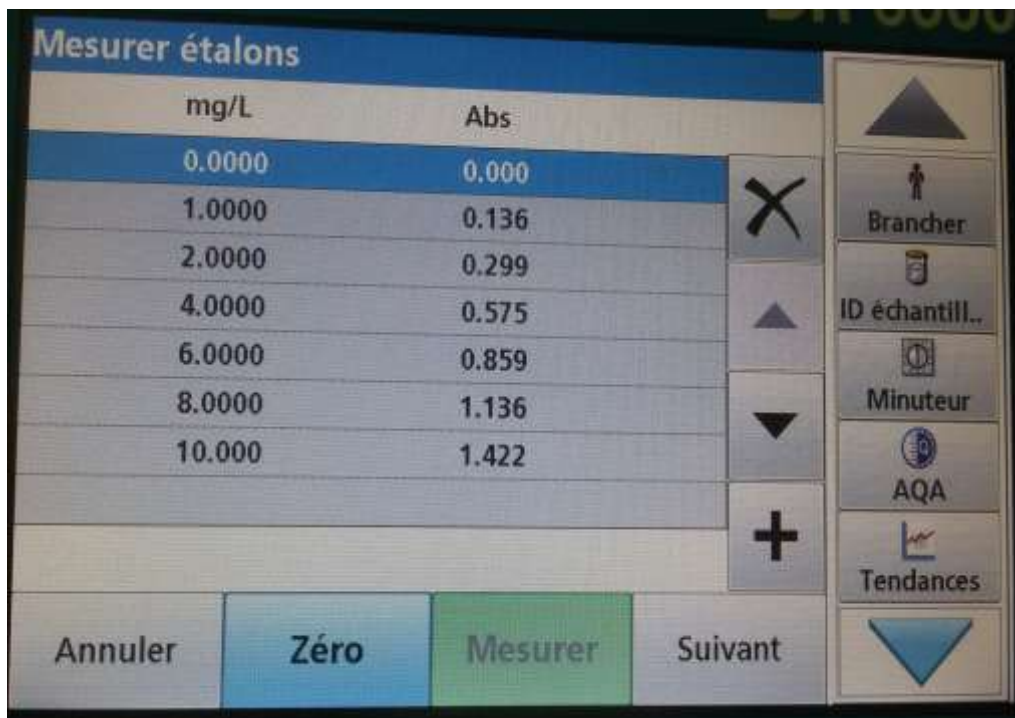


Photo n°16 : Mesurer étalons

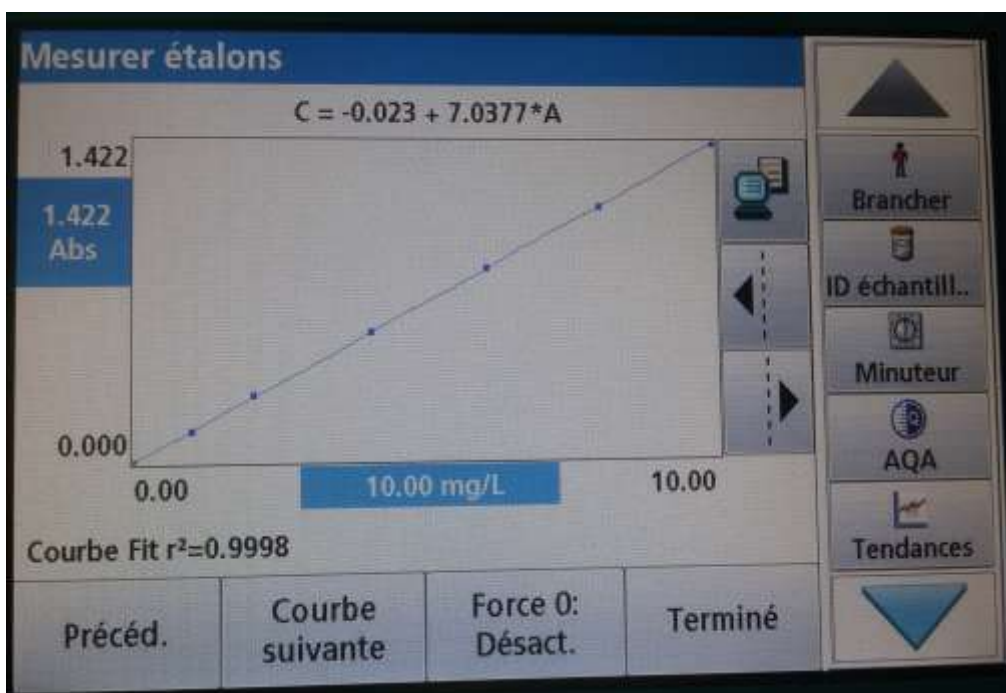


Photo n°17 : Courbe d'étalonnage de nitrate

Mode opératoire

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %.
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88° C.

(Ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir.

- Reprendre le résidu avec 2 ml. H_2SO_4 laisser reposer 10 mn.
- Ajouter 15 ml d'eau distillée.
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectro au 415 nm.

II.2.9.3. Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm.

Pour les échantillons solides les résultats sont exprimés en $mgNO_3/kg$ pour les nitrates selon l'équation suivante :

$$C = \frac{A \times V \times F}{P} \times \frac{100}{100 - H}$$

Où

C : concentration des nitrates dans l'échantillon (mgNO₃/kg)

A : concentration des nitrates (mgNO₃/l)

V : volume final de la solution utilisée pour l'extraction (ml)

F : facteur de dilution

P : poids de l'échantillon humide (g)

$\frac{100}{100 - H}$: Facteur de conversion permettant d'exprimer le résultat sur base sèche en tenant compte du pourcentage d'humidité H (%) de l'échantillon. (ceaeq, 2014).

A large, horizontally-oriented oval with a light orange gradient and a thin dark orange border, centered on the page.

Résultat et Discussion

IV. Résultats et discussion des analyses de sol

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre on va faire l'évaluation de la qualité physico-chimique des sols et des eaux d'irrigation ainsi voir l'impact de la gestion de l'irrigation sur les fuites des nitrates.

IV.2. Caractéristiques physiques

Les paramètres physiques déterminés sont : la porosité et la granulométrie.

IV.2.1. Mesure de la porosité (%)

La détermination de la porosité du sol nécessite l'évaluation de la densité apparente et de la densité réelle.

Le calcul de la porosité selon la formule suivante :

$$\text{Porosité (\%)} = (\text{Dapp} / \text{Dr}) \times 100$$

a permis d'obtenir les résultats mentionnés dans le tableau n°09

Tab.09. Evaluation de la porosité selon les échantillons d'études

profondeur	avant de l'irrigation		après de l'irrigation	
	0-30 (cm)	30-60 (cm)	0-60 (cm)	30-60 (cm)
Culture salade	41	23	28,25	33,17
Pomme de terre	28	28	34,18	34,33
Pépinière	28	34	32,23	32,98

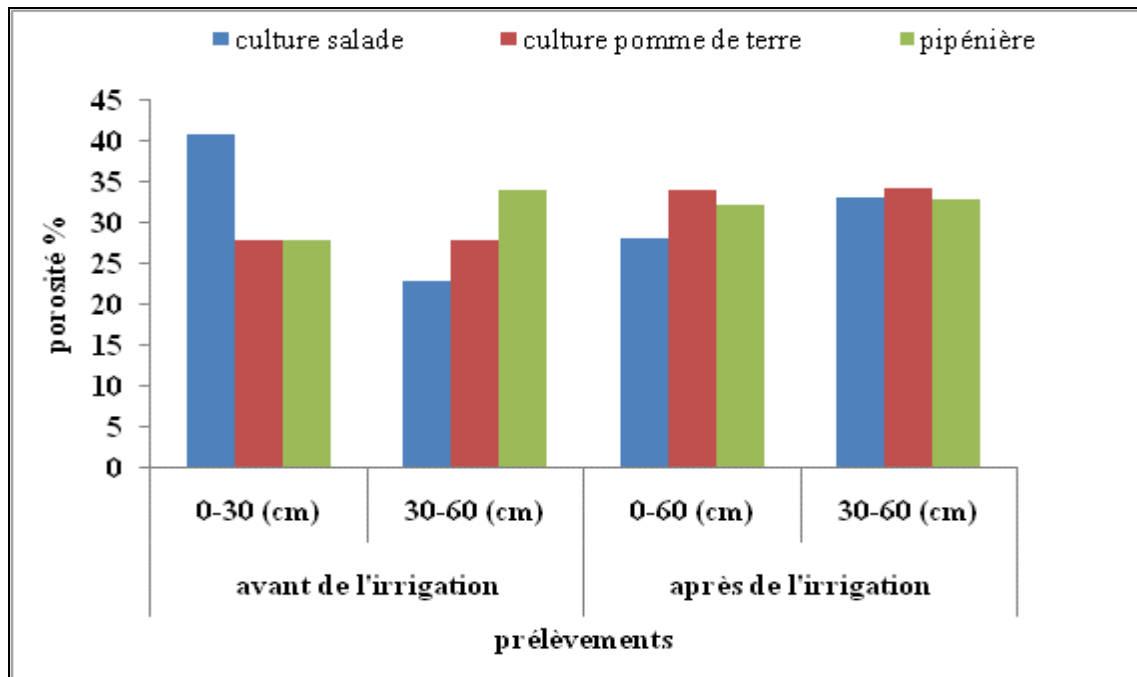


Fig.13. Variation du taux de la porosité du sol selon les échantillons étudiés.

La porosité constitue le vide existant dans un sol, d'après les résultats obtenus il en ressort que la majorité de nos sols ont une moyenne porosité, mais il existe des sols plus poreux que d'autres.

La nature des sols joue un rôle important dans le lessivage et les fuites des nitrates à partir de la perméabilité et lors des précipitation et l'irrigation intensive !.

IV.2.2. Mesure de la granulométrie du sol (%)

La granulométrie permet la séparation des constituants minéraux du sol, et par conséquent les classer selon leur structure.

La représentation des résultats des analyses granulométriques dans le triangle des textures par l'utilisation du logiciel TAL « Texture Auto Look » afin de déterminer les classes texturales prédominantes dans les sols étudiés.

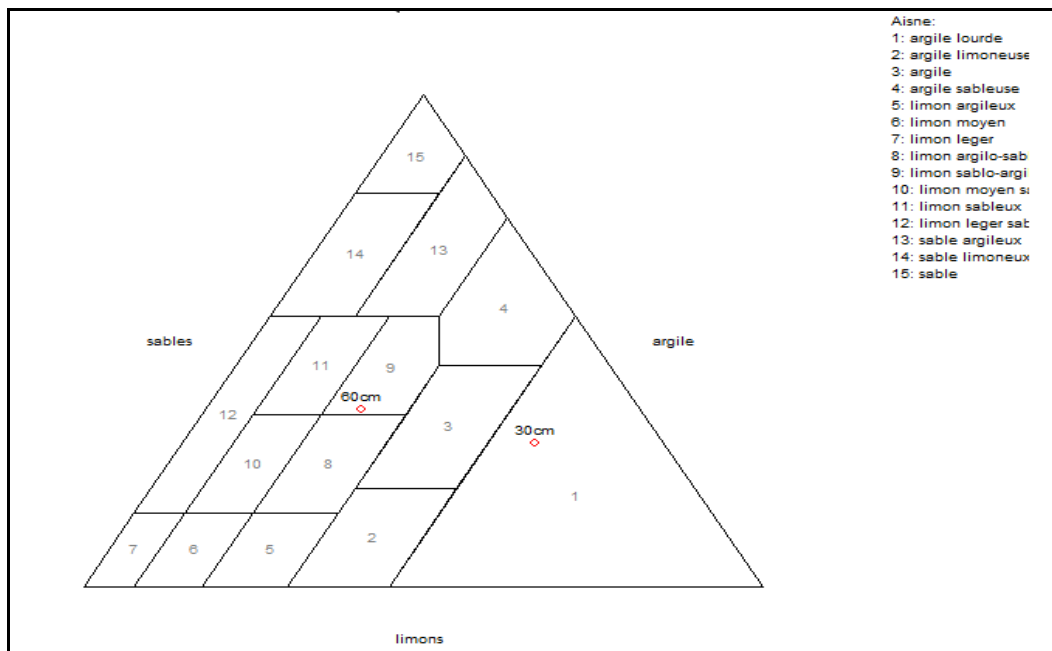


Fig.14. Triangle à texture du Sol de culture salade

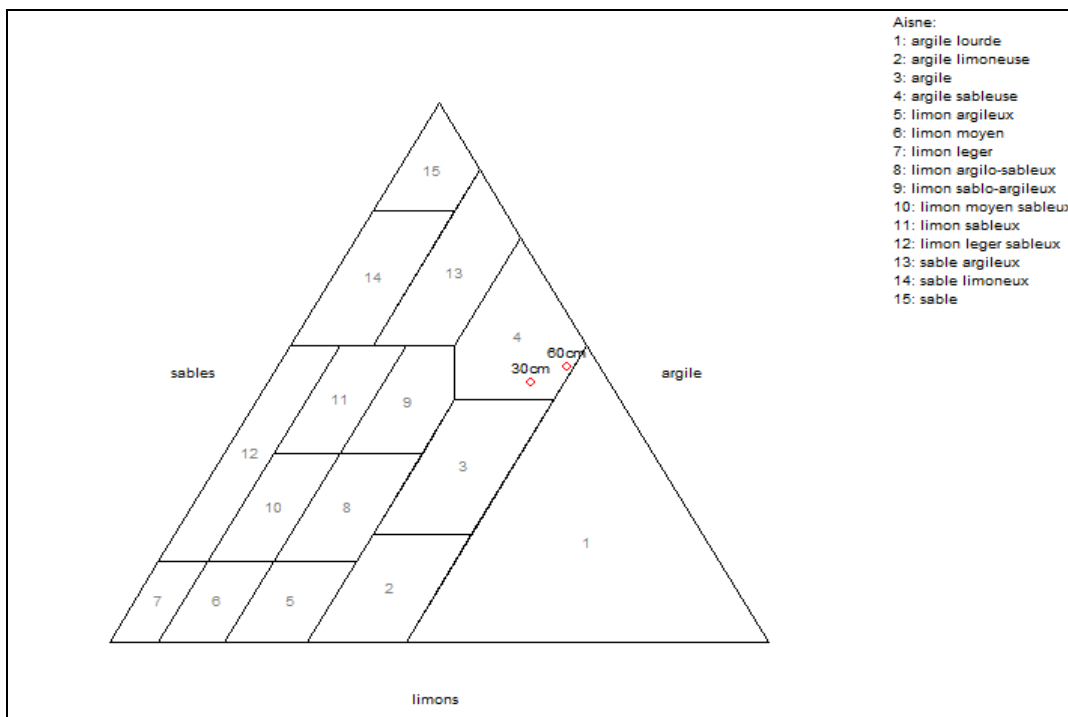


Fig.15. Triangle à texture du Sol de culture pomme de terre

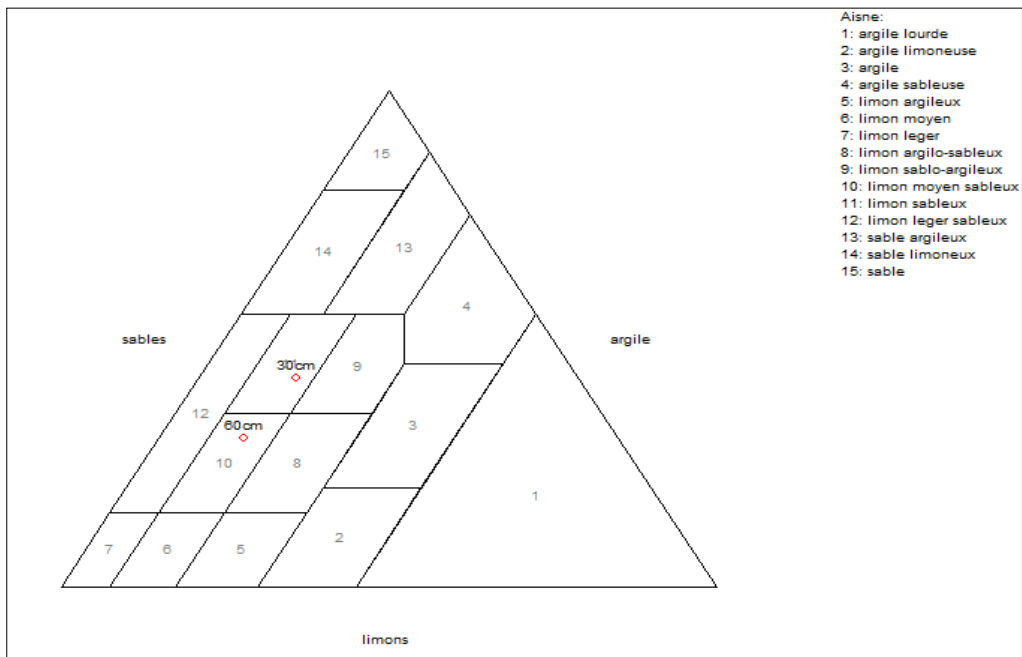


Fig.16. Triangle à texture de la pépinière

D’après les triangles des textures on constate que le sol de la parcelle cultivée en salade à une texture argileuse à l’horizon 0-30 (cm) et une texture limono-sableux-argileuse à l’horizon 30-60 (cm) comme le montre la figure^o 14.

Le sol de la parcelle cultivée en pomme de terre à une texture argileux- sableuse sur l’horizon 0-60cm.

Le sol de la Pépinière à une texture limono sableux sur 0-30 (cm) et limon moyenne sableux de de 30 à 60 (cm).

Les sols limoneux sableux, sont plus sensibles au phénomène de lessivage des nitrates.

La texture limoneuses à limono-sableuse, qui couvre la majeure partie des surfaces de la zone d’étude, indique que les sols de la région sont de texture assez grossière moyennement perméable.

les sols à texture argileuse caractérisés par les perméabilités les plus faibles, qui jouer négativement en faveur d’une augmentation des fuites des nitrates.

Le sol à texture argileuse est caractérisés par les perméabilités les plus faibles, qui ne semble pas jouer positivement en faveur d'une augmentation de la vulnérabilité de la nappe par le nitrate .

IV.2.3. Mesure de l'humidité hygroscopique du sol

La quantité d'eau retenue par le sol est exprimée dans le tableau n°10

Tab.10. Evaluation de l'humidité hygroscopique du sol étudiés.

	avant de l'irrigation		après de l'irrigation	
Profondeur	0-30 (cm)	0-60 (cm)	0-30 (cm)	0-60 (cm)
sol(1)	15,02	16,66	18,49	18,95
sol (2)	15.01	16.32	17,78	18,64
sol (3)	15,67	16.33	16,44	18,87

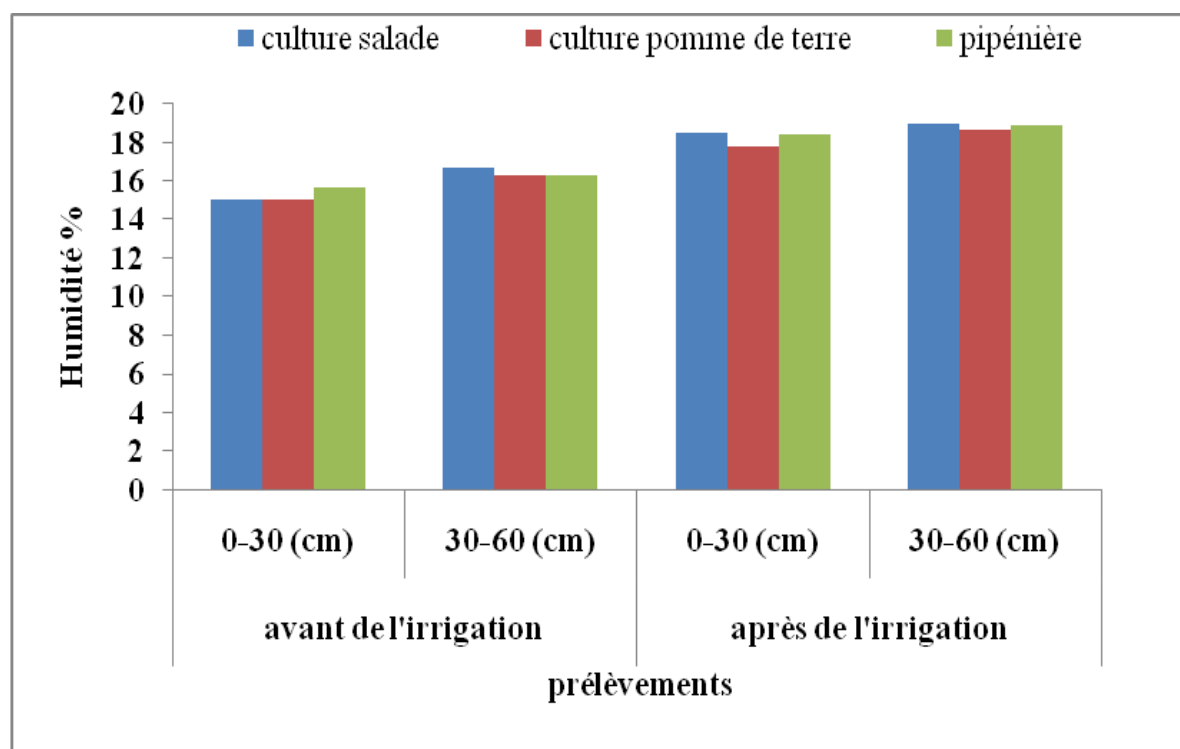


Fig.17. Variation de l'humidité hygroscopique du sol selon les échantillons étudiés

L'humidité hygroscopique constitue l'eau retenue par le sol soumettant à des conditions d'assèchement naturelles. La figure n° montre que l'humidité après l'irrigation augmente dans toutes les parcelles, elle devient importante au niveau du sol culture salade 18,95%. Avant l'irrigation les sols sont moins Humides (15.01%).

Après l'irrigation on remarque que l'horizon 0-60 (cm) est plus humide que l'horizon 0-30 (cm).

Avant l'irrigation l'horizon 0-60 (cm) est moins humide que l'horizon 0-30 (cm).

Il existe une relation entre l'humidité du sol et la dose d'irrigation, se traduisant par une corrélation significative.

L'irrigation permet de maintenir des conditions d'humidité du sol favorables à la minéralisation de la matière organique du sol, du fumier et des résidus qui explique en partie les libérations importantes d'azote minéral dans le sol.

IV.3. Caractéristiques chimiques du sol

Les paramètres chimiques effectués sur le sol des sites étudiés sont : Mesure de pH, la CE, le taux de calcaire, la teneur en matière organique,

IV.3.1. Mesure du pH du sol

Le pH permet d'indiquer L'acidité actuelle du sol, les valeurs obtenues sont mentionnées dans le tableau n°

Tab.11. Evaluation de Potentiel d'hydrogène du sol étudiés

Profondeur	avant de l'irrigation		après de l'irrigation	
	0-30 (cm)	0-60 (cm)	0-30 (cm)	30-60 (cm)
sol(1)	7,14	7,08	8,5	7,53
sol (2)	7,5	7,4	8,13	8,08

sol (3)	7,49	7,45	8,21	8,38
---------	------	------	------	------

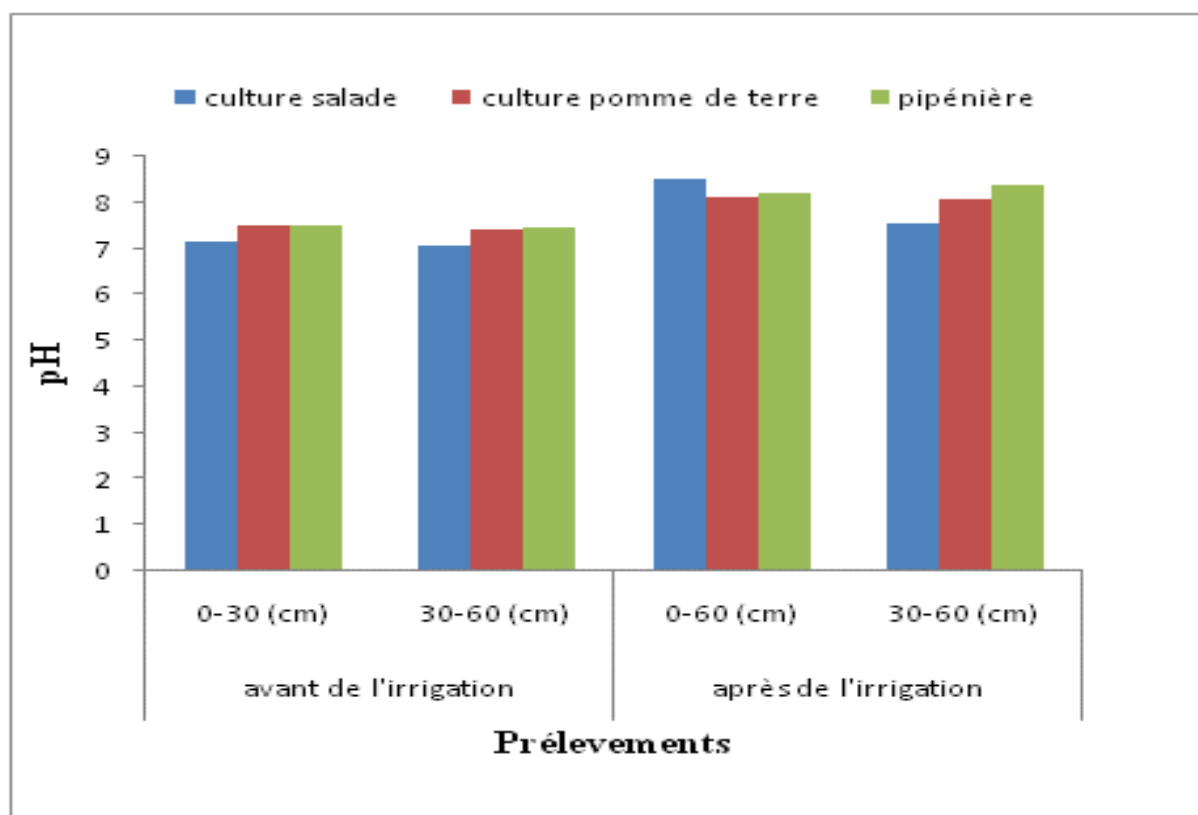


Fig.17. variations de Potentiel d'hydrogène

Toutes les valeurs sont comprises entre 7.08 et 8.38 se qui indique que les sols sont neutres à peu alcalins. Le pH est un élément important intervenant dans plusieurs phénomènes complexes. Les valeurs du pH ne dépassent pas 7.49 dans les sols avant l'irrigation, ce qui indique une neutralité des sols, par contre les résultats obtenus après l'irrigation varié entre 7.53 et 8.50, ce qui montre que les sols sont devenus peu alcalins apres l'irrigation.

Augmentation du pH après l'irrigation a cause de la qualité des eaux d'irrigation (PH= 7.95 et pH =7.75).

IV.3.2. Mesure de la conductivité électrique du sol ($\mu\text{s}/\text{cm}$)

Les valeurs données par le conductimètre sont mentionnées dans le tableau n°2

Tab.12. Evaluation de la conductivité électrique du sol.

	avant l'irrigation		après l'irrigation	
profondeur	0-30 (cm)	0-60 (cm)	0-30 (cm)	0-60 (cm)
Culture salade	0,96	1,07	1,57	1,68
Culture pomme de terre	0,83	0,69	1,44	1,36
pépinière	0,94	0,57	1,52	1,5

La conductivité électrique indique la salinité des sols, selon ces valeurs les sols sont peu salés à non salé

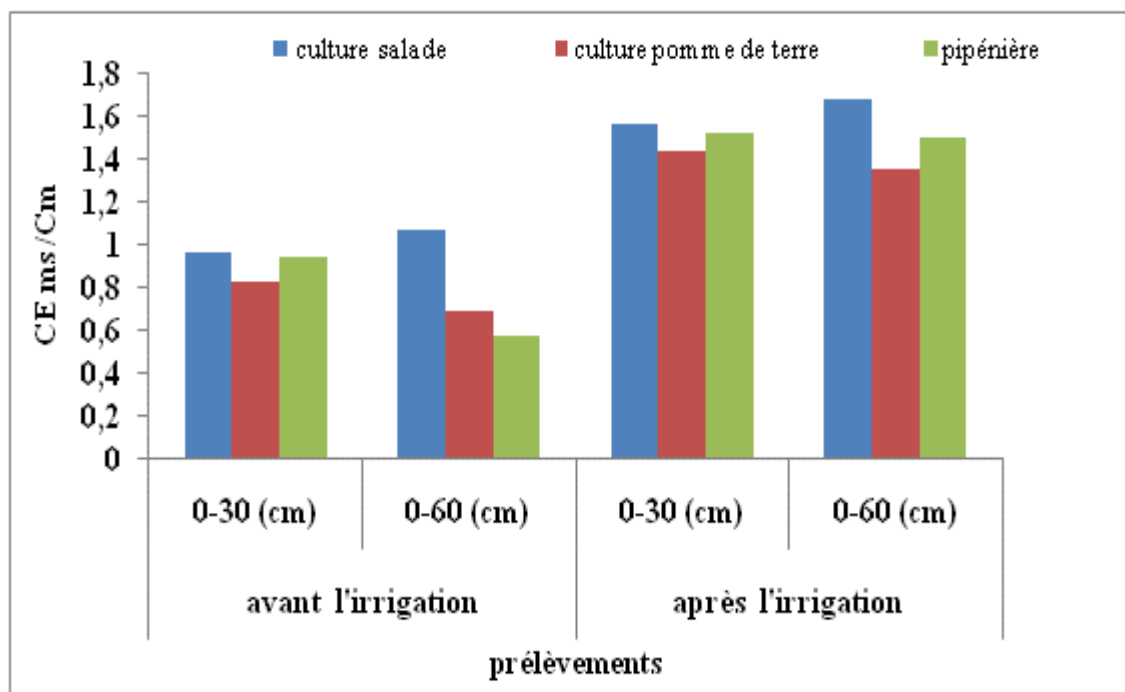


Fig.19. variation de la conductivité électrique des horizons de sols.

Le résultat des mesures effectuées sur le sol avant l'irrigation indiquent que la conductivité électrique varié entre 0.57 et 1.07 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (sol cultivé en salade, sol cultivé en pomme de terre et sol d'une pépinière) ce qui démontre que les sols sont peu salés, par contre la conductivité électrique varié entre 1.36 et 1.68 ms/cm dans le sol après avoir irrigué se qui montre que les sols sont devenus plus chargés suite à l'irrigation.

Ce dernier représente une croissance de la salinité qui peut être expliquée par le phénomène du lessivage et de la minéralisation des engrais par les eaux de surface (l'infiltration des eaux de surface déjà chargées en sels).

Les valeurs de la conductivité électrique permettent de déduire que la charge en éléments dissous de la nappe se fait par lessivage des eaux à travers la zone non saturée.

IV.3.3. Mesure des teneurs en matière organique du sol (%)

La matière organique constitue des réserves d'éléments nutritifs qui seront progressivement mises à la disposition des plantes, grâce à leurs propriétés d'adsorption. Les composés organiques jouent un rôle essentiel dans l'immobilisation et/ou la transformation d'un certain nombre de fertilisants (azote, phosphore...) et de micropolluants (rôle de filtre environnemental). En plus, à l'amélioration de la rétention de l'eau et la structure des sols, la fraction organique du sol représente également un important réservoir de carbone dont les variations jouent positivement ou négativement sur les niveaux du CO_2 atmosphériques.

Tab.13. Evaluation des teneurs en matière organique du sol des échantillons étudiés

Profondeur	avant de l'irrigation		après de l'irrigation	
	0-30 (cm)	0-60 (cm)	0-30 (cm)	0-60 (cm)
sol (1)	2.15	2.05	2.29	2.36
sol (2)	2.5	2.2	3	3.03
sol (3)	2.02	1.95	2.16	2.36

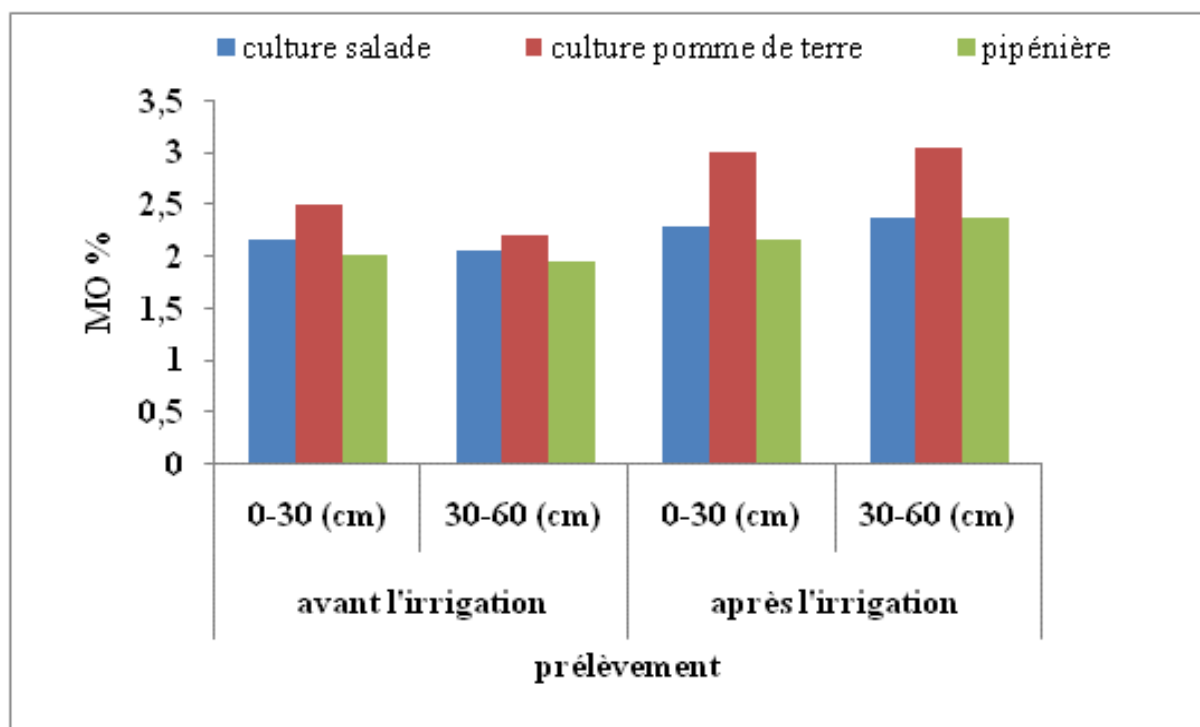


Fig.20. variations du taux de matière organique dans les sols.

Nous remarquons les pourcentages de matière organique dans les sols avant l'irrigation et après l'irrigation varient entre 1.95 à 2.50 % montrant que le sol est moyennement pauvre. La matière organique dans le sol (2) varie entre 3 à 3.03 % après l'irrigation ce qui montre que le sol est riche en matière organique.

L'augmentation de la matière organique est due à la présence des particules organiques issues de la décomposition des engrais et des débris végétaux et animaux et protégées de la décomposition par des particules minérales (fer et aluminium). (Bertrand Decoopman. Article).

IV.3.4. Taux de calcaire total dans les sols

La présence de calcaire confère au sol des caractéristiques spécifiques en termes de comportement physique et chimique et agit sur son activité biologique. Son absence totale a pour conséquence une acidification progressive, plus ou moins rapide suivant le contexte pédoclimatique. Il est donc nécessaire de le compenser par des apports réguliers d'amendements basiques.

Tab.14. Evaluation de taux moyenne de calcaire totale des échantillons étudiés

profondeur	avant de l'irrigation		après de l'irrigation	
	0-30 (cm)	30-60 (cm)	0-30 (cm)	30-60 (cm)
culture salade	18,53	19,17	25,25	25,7
culture pomme de terre	19,94	18,89	21,55	25,58
pépinière	17,96	18,43	25,83	25,33

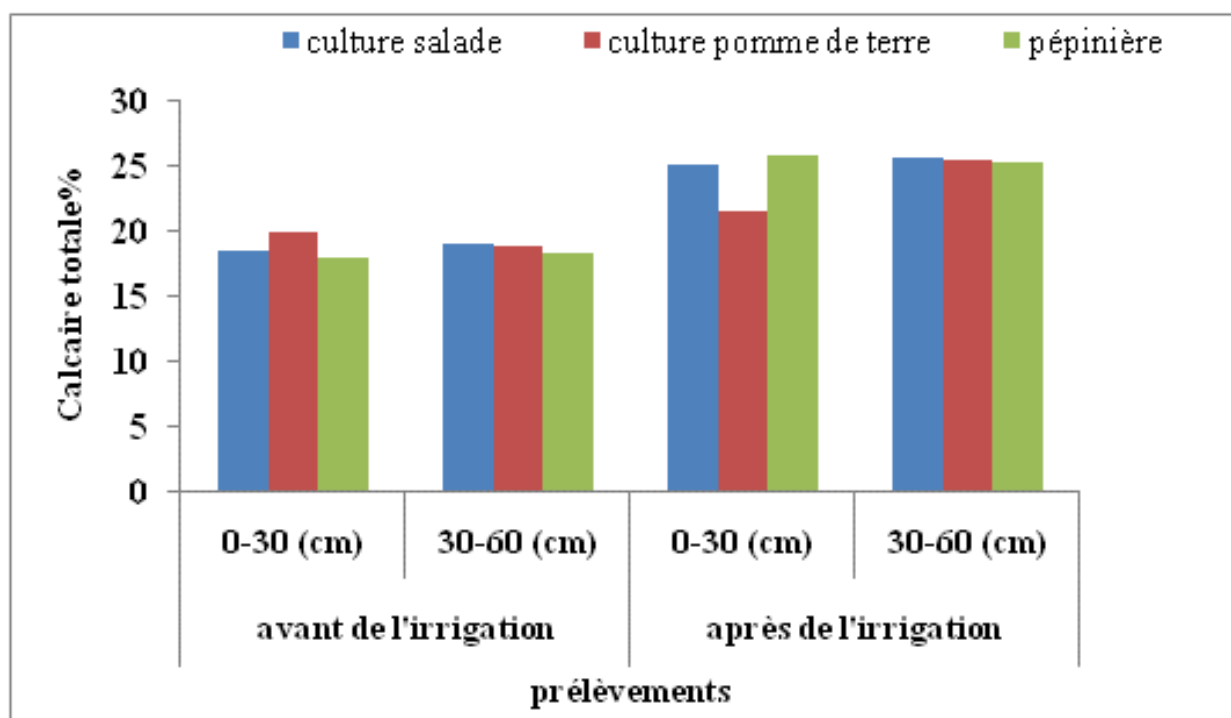


Fig.21. Variations du taux de calcaire total dans les sols.

Les résultats de calcaire varié entre 18.53 à 25.7% ce qui montre que les sols sont Modérément calcaire (BAISE, 2000).

L'augmentation du pourcentage de calcaire après l'irrigation à cause de l'effet de l'irrigation.

IV.3.5. Calcium et magnésium

Magnésium (Mg⁺²)

D'un point de vue chimique, le magnésium s'apparente au calcium. Il est donc souvent présent dans les roches carbonatées (calcaires dolomitiques, dolomies), les roches évaporitiques (sels de magnésium [MgSO₄]), et les roches magmatiques.

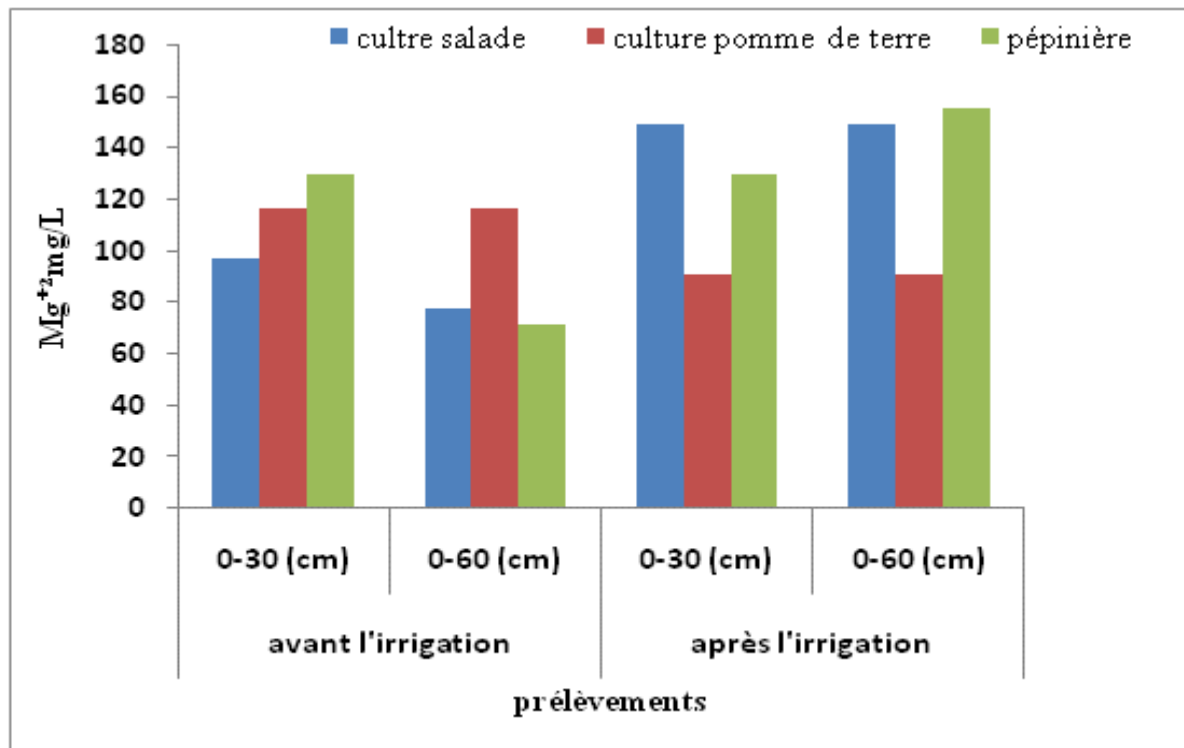
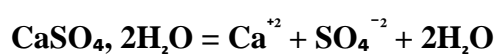


Fig.22. variations des teneurs en magnésium dans le sol.

Elévation de magnésium après l'irrigation

Calcium (Ca⁺²)

Les ions Ca⁺² proviennent d'une origine naturelle comme la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃), en particulier les calcaires du Jurassique et des formations gypseuses gypses du Trias (CaSO₄) selon les équations d'équilibre suivantes:



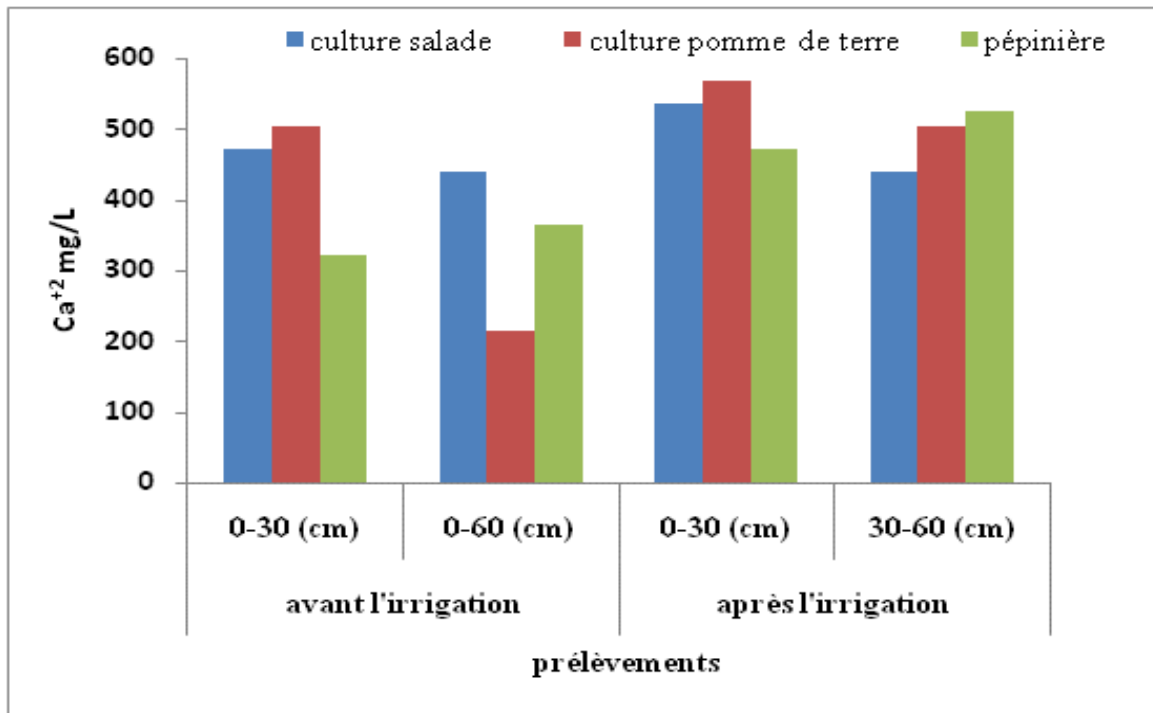


Fig.23. variations des teneurs en calcium dans le sol.

On remarque d'augmentation de teneur de calcium après l'irrigation.

Augmentation de calcium s'accroît par une élévation des concentrations due au phénomène d'évaporation et la dissolution des calcaires.

IV.3.6. Teneur en chlorure et sodium

Les Chlorures Cl⁻

Le paramètre chlorure est l'un des éléments particulièrement sensibles. L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments. Effectivement, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile, ce qui fait de lui un bon indicateur de pollution.

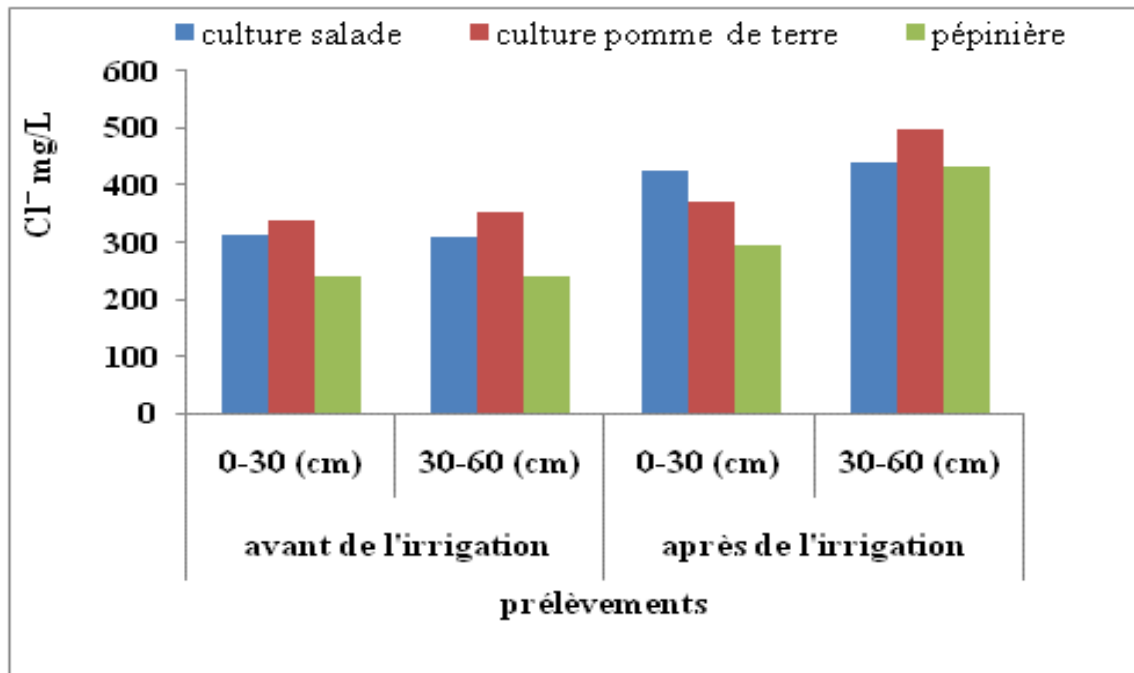


Fig.24. variations des teneurs Chlorure dans le sol.

On remarque de taux de chlorure diminue après l'irrigation

Les activités anthropiques contribuent à l'augmentation des teneurs en chlorures.

Le Sodium Na⁺

Le sodium est essentiellement présent dans les roches magmatiques. Dans les roches sédimentaires, il est moins abondant mais les minéraux auxquels il s'incorpore peuvent être très solubles tels que la halite [Na Cl].

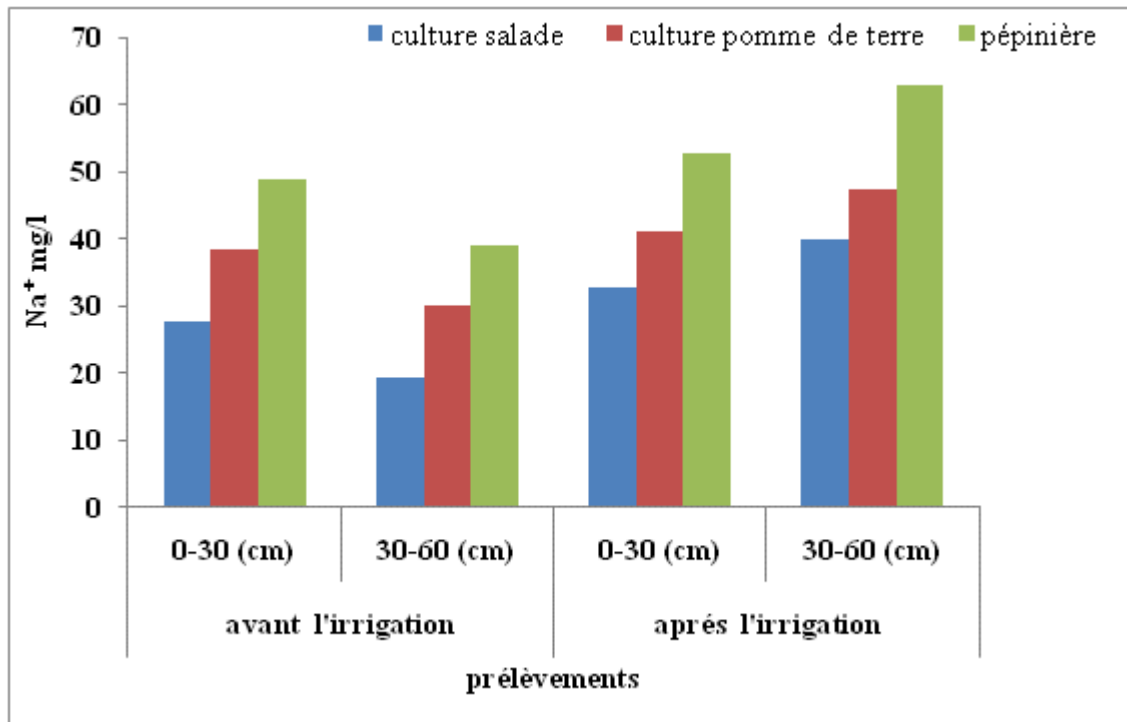


Fig.25. variations des teneurs Sodium dans le sol.

L'élévation de la teneur de sodium après l'irrigation due a la gestion de l'irrigation ($Na^+ = 16meq/l$) et la dissolution des évaporites intercalées dans l'aquifère et à la dissolution des minéraux salifères selon la relation :



IV.3.7. potassium (K^+)

Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (N.P.K) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs.

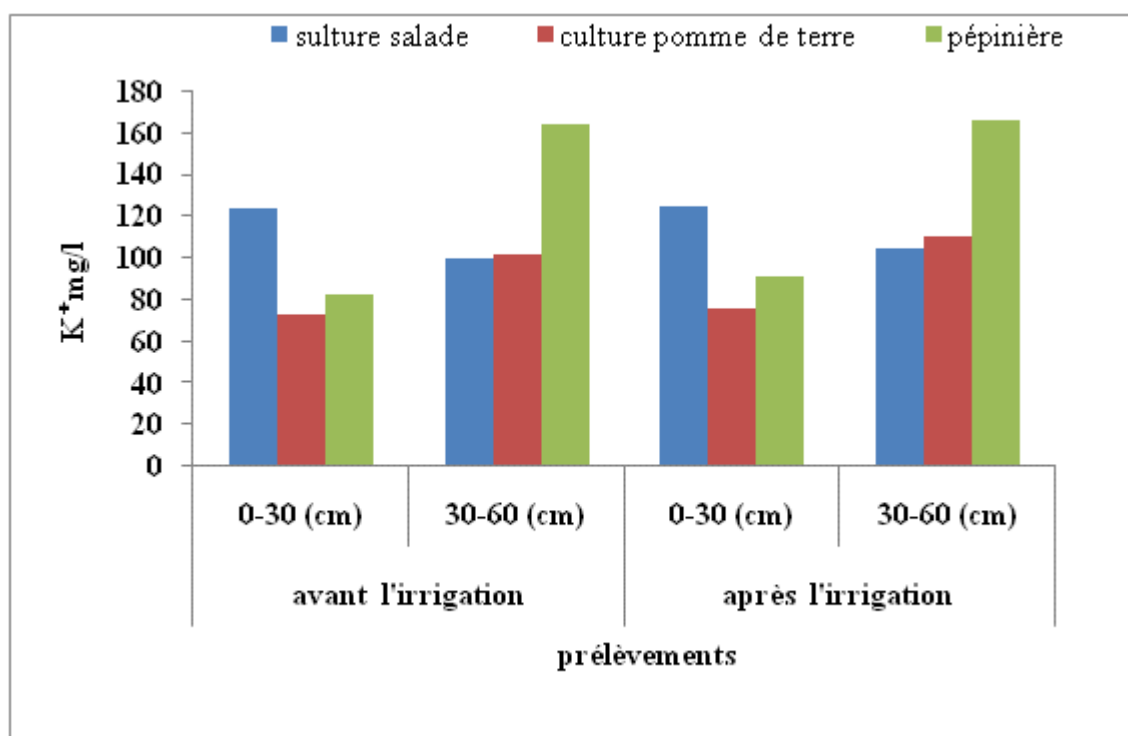


Fig.26. variations des teneurs en potassium dans le sol.

Les valeurs élevées sont observées après l'irrigation sont dues principalement soit aux lessivages des engrais de type N.P.K soit aux formations argileuses riches en potassium.

IV.4. Les Nitrates NO₃⁻

Tabl.15. variation de la teneur moyenne de nitrate

Profondeur	avant l'irrigation		après l'irrigation	
	0-30 (cm)	30-60 (cm)	0-30 (cm)	30-60 (cm)
Culture salade	37,95	26,5	112,45	27,13
Culture pomme de terre	43,77	32,38	176,78	105,01
pépinière	20,77	97,4	108,01	66,24

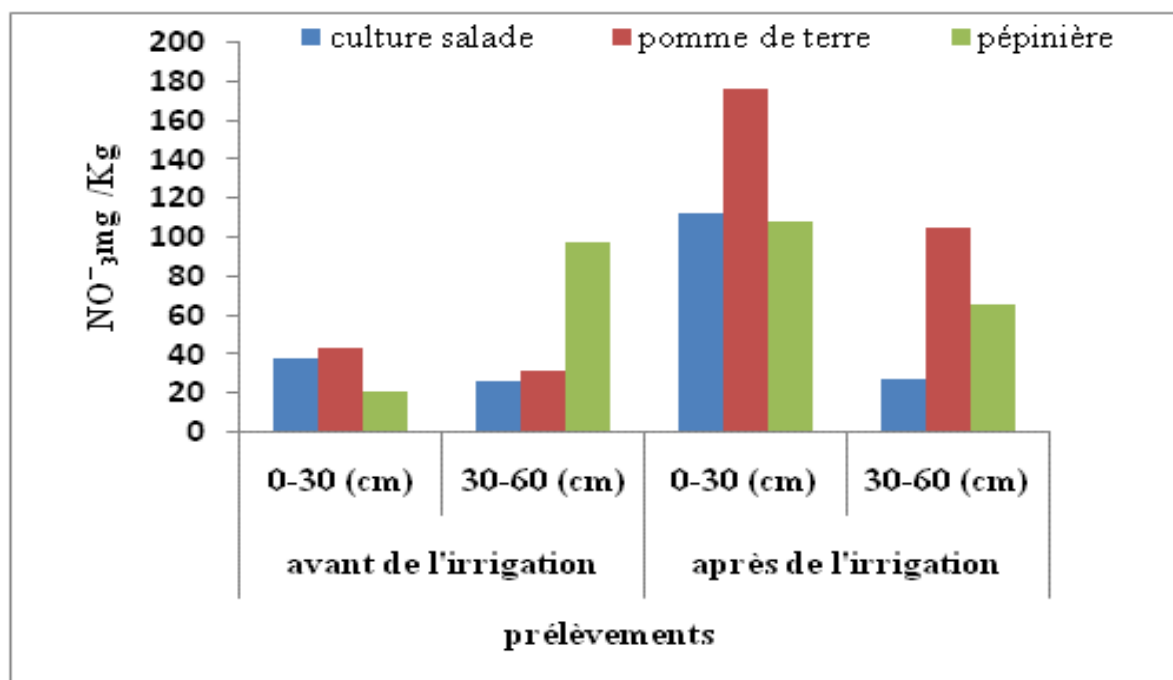


Fig.27. variations des teneurs en nitrate dans le sol.

La majorité des sols étudiés avant l'irrigation ont des concentrations en NO_3^- inférieure à la norme de l'O.M.S exceptionnellement le sol de pépinière qui dépasse les normes.

Les concentrations après l'irrigation remarquablement plus élevées et plus précisément dans le sol culture pomme de terre..

On remarque que dans les horizons 0-30 (cm) l'augmentation est plus importante que dans les horizons de 30-60 (cm).

Ce résultat peut être expliqué par :

La profondeur de labour (40cm) dans la pomme de terre.

Dose d'engrais :

A l'échelle du périmètre d'étude et d'après l'enquête menée sur le terrain, les doses d'engrais minéraux de type azoté appliqués (le NPK 15 15 15 et l'urée 46%) sont fournies par la commune.

VI. 5. Résultats des analyses des eaux

Les mesures des paramètres physico-chimiques et chimiques effectuées sur les échantillons de l'eau ont permis d'obtenir les résultats suivants :

VI.5.1. Analyses in-situ

Tabl.16. Les analyses in-situ

	T (°C)	CE (dS/m)	O ₂ mg/l	pH	Salinité (g /L)
Kaouna sidi Nasser	22.7	2.77	1.13	7.95	1.3
Bassin de pépinière	24.6	3.00	1.5	7.75	1.5

- **La conductivité électrique (CE)** on remarque des valeurs élevées qui caractérisent particulièrement les échantillons d'eau d'irrigation étudiés.

cette élévation s'accroît par l'infiltration des eaux de surface déjà chargées en sels.

- **Potentiel d'hydrogène (pH)** C'est l'un des paramètres les plus importants pour la qualité de l'eau. Il caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique et dépend de facteurs multiples. Le pH est lié à la nature des terrains traversés (Rodier et al, 2009). Le pH obtenu pour nos échantillons n'excède pas les limites des normes [6.5 - 8.5].

VI.5.2. Analyses au laboratoire

Tabl.17. Les analyses au laboratoire

	Ca ⁺ (meq / L)	Mg ⁺ (meq /L)	Cl ⁻ (meq /L)	K ⁺ (meq/L)	Na ⁺ (meq/l)	HCo ⁻³ meq/l	CO ₃ meq/l
Les normes	0 à 20	0 à 5		0 à 2	0 à 40	1.5 à 8.5	0 à 0,1
Kaouna sidi nasser	7.56	2.5	2	0.9	16	6	0
Bassin de pépinière	9.92	2.5	2.5	1.5	15	6.5	0

- **Calcium** Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux les teneurs en calcium des eaux échantillonnées sont conformes aux normes .
- **Magnésium** Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrés (calcaires dolomitiques, dolomies du jurassique ou du trias moyen) (Rodier et al, 2009). Les teneurs obtenues au cours des analyses sont admissible [2.5 meq/l].
- **Sodium** Le sodium dans les eaux provient généralement du lessivage des formations géologiques et de la dissolution de l'halite. Pour les eaux analysées les ions sodiums présentent des teneurs conformes aux normes [15à 16 méq /L].
- **Potassium** les échantillons analysés sont de [0.9 à 1.5meq /l], donc ces eaux répondent aux normes.

Cette valeur élevée, est due principalement aux lessivages des engrais de type N.P.K. soit aux formations argileuses riches en potassium.

- **Chlorures** Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées. L'inconvénient majeur des chlorures est la saveur désagréable qu'ils communiquent à l'eau. La teneur en chlorure des eaux analysées au norme [2 à 2.5meq /l],
- **Bicarbonates** La teneur des bicarbonates dans l'eau dépend des terrains traversés. Les normes algériennes ne fixent aucune concentration limite pour ce paramètre, puisque, quel que soit les teneurs en bicarbonate dans les eaux de consommation, les échantillons analysés présentent des teneurs supérieures à [5 meq/l].

L'excès des sels dans un sol modifie les propriétés physiques et chimiques. Cette altération des conditions édaphiques constitue un stress indirect pour la croissance des plantes (HAOUALA et al., 2007).

C'est par leurs cations que les sels solubles affectent les propriétés du sol. Il s'agit essentiellement de l'ion sodium. L'action défavorable de cet ion à l'état échangeable se traduit par la dispersion des colloïdes du sol et par Réduction de la perméabilité qui joue un rôle important sur la variation de concentration des fuite des nitrates dans les eaux souterraines.

VI.5.3. Analyses au laboratoire ADE

Tab.18. teneur des nitrates dans l'eau

Les échantillons	NO ₃ ⁻ (mg/l)
Kaouna sidi Nasser	110.96
Bassin de pépinière	137.42

La majorité des échantillons étudiés ont des concentrations en NO₃⁻ supérieures à la norme de l'O.M.S soit 50 mg/l.

L'analyse des nitrates dans les eaux permet d'obtenir des informations sur la présence de matières organiques dans le sol. Les nitrates sont présents dans l'eau par lessivage des produits azotés dans le sol, par décomposition des matières organiques ou des engrais de synthèse ou naturels.

L'apport en nitrate par l'eau d'irrigation pourrait représenter une économie importante en fertilisants azotés pour l'agriculteur qui devrait profiter au maximum des nitrates gratuits présents dans cette eau.

LDiscussion générale

Le type d'irrigation va influencer la répartition spatiale des concentrations des fuites des nitrates et de maintenir des conditions d'humidité du sol favorables à la minéralisation de la matière organique du sol.

Nous remarquons que le pH du sol de Djendel est généralement basique $\text{pH} > 7,5$ selon les prélèvements étudiés.

L'évolution de la CE (3dm.... dans les échantillons du sol est remarquée juste après l'irrigation se qui exprime une lixiviation rapide des sels. S'ajoute à cela l'influence de la valeur de la conductivité électrique des eaux d'irrigation ()....qui favorise l'augmentation des sels dans le sol. Ainsi que leurs accumulation dans la zone non saturée se qui entraîne une réduction de la perméabilité.

Les sols sont à texture argileuse caractérisés par les perméabilités les plus faibles, contrairement aux sols à texture sableuse qui facilite l'infiltration de l'eau.

On note l'existence des fuites importantes des nitrates dans la zone de Djendel « plaine du haut- Chélif » due essentiellement à :

- L'activité agricole: marquée par l'augmentation des concentrations en NO_3^- dans les eaux souterraine suite à l'utilisation intensive des engrais de type azoté s'ajoute à cela l'utilisation d'une eaux d'irrigation déjà chargée en azote « nitrate » avec des teneurs dépassants largement les 100mg/l .



Conclusion

Conclusion générale

Les nitrates, ces composés chimiques naturellement présents dans l'environnement, notamment dans les eaux de source et dans les sols à des teneurs généralement inférieures à 1 mg/l (dans les systèmes exempts d'activités humaines), ont vu leur teneur augmentée progressivement au cours du temps sous la pression des activités menées en surface.

Notre étude a été réalisée dans trois sols à systèmes d'irrigation par aspersion dans le but d'étudier l'impact de l'irrigation par aspersion sur les fuites de nitrates dans Djendel du haut Chélif.

Dans Les concentrations moyennes en nitrate présentent un de variation moyenne supérieure à 100% après l'irrigation, ce qui atteste de son origine anthropique liée principalement à l'application des engrais azotés. Eau d'irrigation et peuvent constituer une autre origine des nitrates dans la zone d'étude et dont la mobilité est assez spectaculaire.

Les valeurs les plus importantes de perméabilité et de transmissivité se localisent en plaine (région de Djendel).

L'azote apporté par l'eau d'irrigation contribue en augmente les fuites des nitrate dans le sol.

La maîtrise des fuites de nitrate et notamment de la concentration en nitrate des eaux de drainage sous les parcelles agricoles constitue ainsi le principal moyen de maintenir la qualité de la nappe alluviale du Haut-Chélif. Ainsi, les deux expérimentations de terrain réalisées dans la plaine ont permis de mettre en évidences les rôles de l'irrigation (culture de pommes de terre) et de la fertilisation sur la lixiviation de l'azote nitrique.

Le choix du type d'irrigation va influencer la répartition spatiale des fuites des nitrate et vers la nappe.

L'apport en nitrate par l'eau d'irrigation pourrait représenter une économie importante en fertilisants azotés pour l'agriculteur qui devrait profiter au maximum des nitrates gratuits présents dans cette eau.



Références Bibliographiques

Allaire., 2001. Nitrate leaching and soil nitrate p57.

Anonyme 1997. Engrais et démographie.Rev. Pour la Science n° 239 sept. 97.

Baize .D.,2000. Guide des analyses en pédologie. Editions I.N.R.A., 257p.

Bonneau. et Souchir B., 1994. Pédologie 2 : constituants et propriétés du sol. Ed. Masson.

Boulaine J.,1956. Carte des sols plaines du chellif au 1 /50.000^e,feuilles 1à 5.

Brezonik P. 1972. Nutriments in natural waters. Edit. Allen and Cramer. USA.

Calvet R., 2003. Le sole propriétés et fonction. Tom I et II. Ed.Dunod.

content as affected by irrigation uniformity in a carrot field. Agricultural Water.

D.A.S.2016. Bilan annuel agricole de la wilaya Ain defla.

Delaunois A., 1976. Travaux pratiques de pédologie générale. pp. 2-86.

Delaunois A., 1976. Travaux pratiques de pédologie générale. pp. 2-86.

Diez J.A., 1997. Nitrate leaching from soils under maize-wheat-maize sequence, two irrigation schedules and three types of fertilizers. Agriculture Ecosystems and environment, 65: 189-199.

Duchauf four, 2001. Soil classification and mapping in the Alps: The current state and future challenge p16-30.

Duthil J., 1971. Elément d'écologie et d'agronomie. Ed. Doin.

Duthil, J., 1970. Elément d'écologie et d'agronomie. Ed. Doin.

EEC.,2001. Engineering Environnement Consult « Bulletin International de l'eau et de

FAO. 2008.. Water quality management and pollution control in the Near East : An overview. Regional workshop on water quality management and pollution control in the Near East.

Gallardo M., 2006. effect of applied N concentration in a fertigated vegetable crop on soil solution nitrate and nitrate leaching loss. *Acta. Hort.*, 700: 221-224.

Gardenas ., 2005. Two dimensional modeling of nitrate leaching for various festigation scenarios under micro-irrigation. *Agricultural Water Management*, 74: 219-242.

Jamagne, 1980. Les bases de la description des sols Ed. Dunod 125 'environnement,Fevier

Les bases physiques ,chimiques et minéralogique de la science du sol, 24 Avril,pp.490-502.

Les bases physiques ,chimiques et minéralogique de la science du sol, 24 Avril,pp.490-502.

Lozet J. et Mathieu C., 2002 - Dictionnaire de Science du Sol, 4e éd., revue et augmentée, Tec et Doc, Lavoisier, Paris.

Maillol.,2001. Analysis of nitrate leaching under sprinkler and furrow irrigation techniques on a loamy soil plot with corn. Control of adverse impacts of fertilizers and agrochemicals Proceedings-of-an International Workshop of the International Commission on Irrigation and Drainage ICID, Cape Town, South Africa, 22-27 October 2000; 113-126. *Management*, 48: 37-50.

Mirsal, A. Ibrahim. 2004. Soil pollution origin, monitoring and remediation. Springer-Verlag, New York.

Morel R., 1989. Les sols cultivés. Lavoisier.2ém e édition. Paris. pp. 51-74.

Morel., 1989. Light and marine photosynthesis: A model with geochemical and climatological implications. *Prog. Oceanogr.* In press.

Nicolas.T.,2001.Agriculture et agroalimentaire « Guide pour une fertilisation raisonnée. ».Canada.

O.N.I.D.,2012.office nationale d'rrigation et de drainage.

OMS : Organisation mondiale de la santé, 1989. L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à avisées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé. Série de rapports techniques n° 778. OMS. Genève.

OMS 2004. Organisation Mondiale de la Santé. Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3e édit. Vol 1. Recommendations.

- Oumerzouk A. et Bouharaz M., 1993.** Contribution à l'étude des sols et de l'assainissement agricole dans le Sud-est de la grande plaine orientale de Annaba (secteur de Besbese, Zerirer et Ben M'Hidi). Mem. Ing. Amen. I.S.T. Uni Annaba.
- Prat P.F., 1984.** Nitrogen use and nitrate leaching in irrigated agriculture. In: Hauk, RD (Ed in chief), Nitrogen in crop production. American society of Agronomy, Madison, WI, pp 319-333.
- Ramos C., 2002.** Nitrate leaching in important horticultural crops of the Valencian community region (Spain). Environ. Pollut, 118: 215-223.
- Recous et al., 1997.** Le cycle de l'azote dans les sols et la qualité des eaux souterraines. In INRA (eds) L'eau dans l'espace rural : production végétal et qualité de l'eau, Universités Francophones, 193-215.
- Richa A., 2016.** Géostatistique et SIG pour la modélisation spatialisées de la pollution nitrée dans la plaine du haut -Chélif (thèse de doctorat).
- Ruelle P., 2003.** Using NIWASAVE to simulate impacts of irrigation heterogeneity on yield and nitrate leaching when using a travelling rain gun system in a shallow soil context in Charente (France). Agricultural Water Management, 63: 15-35.
- Simon J.C., 1999.** La pollution nitrique des eaux. In : L'eau : usage et polluants, Grosclaude G (cord.), INRA Editions, p 95-115.
- Thompson ., 2007.** Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. Agricultural Water Management, 89: 261-274.
- Vertès F et Decau M.L. 1992.** Suivis d'azote minéral dans les sols : risque de lessivage de nitrate selon le couvert végétal Fourrages, 129, 11-28.
- Haouala F, Ferdjani H., 2007.** Effets de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺, et Ca⁺⁺) et du chlore (CL⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray gras anglais et du chiendent. Biotechnology, Agronomie, Société et Environnement, vol .11, N°. 3:235-244.
- I.N.S.I.D.** institut national du sol d'irrigation et drainage.



Annexe

Annexe n° 01 : l'analyse Granulométrie (pipette de ROBINSON)

Principe : La méthode la plus précise est l'analyse granulométrique de la terre. C'est une méthode encombrante.

-Une analyse granulométrie nous donne les pourcentages du différent groupe granulométrique dans un échantillon de terre.

- Mode opératoire :

Premier jour :

On tamise le sol dans un tamis de 2mm pour séparer les éléments grossiers et fins.

On Prendre 10 g de sol fin (2mm) dans un bécher.

Destruction de la matière organique :

Verser dans un même bécher 50ml de l'eau oxygéné (H_2O_2) à 30%.

Laisser macérer pendant une nuit (on le met dans un grand bucher).

Deuxième jour :

- On chauffe le bécher sur agitateur à température $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ jusqu' à disparition de la mousse.

- On Prendre le bucher et On Ajoute 20 ml de H_2O_2 (on ajoute ces gouttes après l'échauffement de bécher).

- On arrête l'opération lorsqu' il y a arrêt de l'effervescence.

Disparition des éléments argileux:

- On ajoute le contenu dans un grand bécher + 40 ml Hexasétophosphate à 4%.

- Laisser agiter pendant 2 heures dans l'agitateur mécanique avec une vitesse de 30 à 50 tours / min.

- Mettre un entonnoir avec tamis de (0,05 mm) sur le cylindre et tamiser la suspension. laver avec de l'eau distillée jusqu' à ce que toutes les particules $< 0,05\text{ mm}$ passent à travers le tamis dans le cylindre.

- Remplir le cylindre avec l'eau distillée jusqu' au trait ajusté au 1000 ml (1 L).

- Mettre lesable : restant dans le tamis dans une capsule de poids connu et sécher dans l'étuve à $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 15 heures.

Sédimentation et prélèvement:

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

Mesure avec la pipette de ROBINSON:

- Avant de commencer les mesures, il faut agiter plusieurs fois avec un pied spécial.
- Pour la fraction totale < 0,05 mm (LG + LF + A + sels solubles) on agite le cylindre et on prend immédiatement un prélèvement de 10 ml du milieu du cylindre. dans une capsule (avec couvercle) d'un poids connu.
- Pour la fraction < 0,02 mm (LF + A + sels solubles) on agite le cylindre et prend un prélèvement à 10 cm après 4 min 40 sec. dans une capsule (avec couvercle) d'un poids connu.
- Pour la fraction < 0,002 mm (Argile (A) + sels solubles) on agite 10 fois par le pied le cylindre et on prend un prélèvement à 6 cm qui correspond à la température de solution après 4 h et 39 min. dans une capsule (avec couvercle) d'un poids connu.
- On met ces capsules des poids connus dans l'étuve à 105 °c pendant 15 heures pour le séchage.
- On laisse refroidir également le sable et on le pèse. Ensuite, on tamise à sec à l'aide de deux tamis superposés de 0,250 mm et 0,045 mm.
- On récupère les deux quantités dans des capsules de poids connus et on pèse ces capsules pour déterminer le sable fin (S F) et le sable grossier (S G).

Les calculs

$\% A = (a \times v) / (p \times v) \times 100.$
$\% L F = (b - a) \times v / (p \times v) \times 100.$
$\% S F = c / p \times 100.$
$\% S G = d / p \times 100.$
$\% L G = 100 - (\% A + \% L F + \% S F + \% S G)$

- a (gramme): poids de l'Argile prélevé et pesé à sec.
- b (gramme): poids de (Limon fin + Argile) prélevé et pesé à sec.
- c (gramme): poids de sable fin prélevé et pesé à sec.
- d (gramme): poids de sable grossier prélevé et pesé à sec.
- v (gramme): Volume de la pipette de ROBINSON égale 10 ml.
- V (ml) : Volume total de l'Allonge égale 1000 ml.

Annexe n°02 : – Analyse de PH eau et PH Kcl:**PH eau**

- On pesée 20 g du sol (2mm).
- On met dans une bécher et on ajoute 50 ml d'eau distillée.
- On agite pendant 5 minutes dans un agitateur rotatif.
- On passe au PH mètre et on lire le résultat.



La balance électronique



L'agitateur mécanique

Annexe n°03 : Conductivité électrique:

- on pesée 20g de terre (2mm) + 100ml l'eau distillée dans une bécher.
- laisser agiter 1 heure. et laisser reposer demi-heure.
- pour l'étalonnage de l'appareil : on met le Kcl (0,02N) à l'étuve on mesure la température jusqu' au 25 c°.

$$CE = CE3 \times f(t)/K$$

- CE3 = CE de la solution à analyser lu l'appareil à la température (t).
- F (t): coefficient de correction de l'effet de la température.

- K : constante.
- $K = CE1 \times f(t) / CE2$.
- CE1 : valeur de la solution de Kcl lu sur l'appareil à la température T.
- CE2 : CE de Kcl (0,02 N à 25 c°). elle est égale à 2,76 ($CE2 \leq 2,76$ mmohs/cm).

La valeur $K < 1$.

Calcul de la CE3 (de la solution à analyser): elle est lu sur l'appareil à la température(t).

Annexe n° 04 : Dosage de calcaire total (calcimètre de BERNARD)

Etalonnage de l'appareil

- Remplir l'ampoule d'eau salée (NaCl +eau) de manière à ce que le niveau de la burette soit au niveau du zéro (pour ce la on fait correspondre les deux niveaux d'eau dans la burette et dans l'ampoule).
- Peser une quantité de 0,3 g de $CaCO_3$ dans un erlen qui correspond au bouchon de la calcimètre.
- Remplir le petite tube à 3 / 4 de Hcl à (0,5 N) dilué que l'on place dans l'erlen.
- Boucher soigneusement l'erlen avec le bouchon de la calcimètre.
- Décrocher l'ampoule, faire correspondre les deux niveaux, faire la lecture du volume descend au niveau de la burette (V_0).
- Renverser l'acide (Hcl) sur le $CaCO_3$ et on agite pour favoriser la réaction (dégage le CO_2).
- Attendre la stabilisation le niveau de l'eau dans la burette.
- Décrocher l'ampoule et faire correspondre les deux niveaux. faire la lecture sur le volume de l'eau descendre sur la burette (V_1) (volume de CO_2 Dégagé).



Photo n°08 : étapes de dosage de calcaire total.

Analyse de l'échantillon

On procède de la même manière en remplaçant le calcaire pur par (1 g de sol 0,2mm). et on note le volume de CO₂ dégagé (V1).

Expression des résultats

$$V = V_1 - V_0.$$

$$\% \text{ CaCO}_3 = 100 \times \frac{V_{\text{échan}} \times 0,3}{V_{\text{témoin}} \times P}$$

V : volume de CO₂ dégagé par CaCO₃ gramme dans le poids de sol.

V : volume de CO₂ par 0,3 gramme de CaCO₃.

P : poids de sol égale 1 gramme.

Annexe n°5 : La porosité

La partie de l'espace porale qui est à l'origine de la diminution de la porosité totale des blocs de terre est due aux fissures et aux canalicules est appelée la porosité structurale, et elle comprend deux paramètres, la densité apparente Da et la densité réelle Dr (Delaunois, 1976).

La densité apparente (DA)

Sachant que la densité apparente des sols varie entre 1,00 g/cm³ et 1,80 g/cm³.

(KAURICHEV,

1980 in BOUDJEMAA, 2007), elle représente la masse totale de l'agrégat/volume total de l'agrégat ; La « DA » indique l'état ou la condition du sol, elle diminue avec la teneur du sol en humus. (DUTHIL, 1970 in BOUDJEMAA, 2007).

Mettre un agrégat de sol (10 à 15 g), dans l'étuve pendant 24 heures à une température de 105°C, l'entourer d'un fil à coudre de poids négligeable puis peser l'agrégat (P1), plonger l'agrégat dans une solution de paraffine dissoute, pendant 5 à 10 minutes, peser l'échantillon avec la paraffine, replonger l'agrégat enrobé de paraffine dans une éprouvette de 100 ml contenant un volume connu (Vt) d'eau distillée et noter la différence. Elle est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Densité apparente (g/cm}^3\text{)} = \text{Masse de l'échantillon} / \text{Volume de l'échantillon}$$

La densité réelle (DR)

Elle exprime la densité des éléments constituant la phase solide du sol, et représente la masse

du solide / le volume du solide, elle est généralement entre 2,5 g/cm³ et 2,6 g/cm³.

(MOREL,

1989). Elle est calculée selon la formule suivante :

Densité réelle (g/cm³) = Masse du sol / Volume du sol.

Donc **la Porosité** est le rapport du volume des vides au volume total, elle peut être exprimée

Par la formule suivant:

Porosité (Densité apparente / Densité réelle) x 100.

Annexe n°06 : Dosage de la matière organique**Pour l'échantillon:**

On pèse 1g de sol (0,2mm) et on met dans un bécher.

On ajoute 10ml de K₂Cr₂O₇ +20ml d'acide sulfurique concentré.

On mélange la solution et repose 30 minutes.

Pour le témoin

- Dans un bécher on met 10ml de K₂Cr₂O₇ +20ml d'acide sulfurique concentré
- Laisser reposer 30 minutes.
- Mettre chaque préparation dans des fioles de 250 ml et compléter avec l'eau distillée.
- Prélever 20ml de chacun des deux béchers (échantillon et témoin) et on ajoute 1ml de H₃PO₄ + 3 gouttes de Diphénylamine et laisser agiter pendant 5 minutes dans un agitateur rotatif.
- **Titration:** On titre avec le sel de Mohr à 0,2N.
- On met le sel de Mohr dans une burette de titrage.
- On titre les deux solutions jusqu'à ce qu'il y a virage du bleu foncé vers le vert,
- On prend le volume descend sur la burette pour le témoin et aussi pour l'échantillon.



Photo n°07: étapes de dosage de la matière organique.

$$\% C = (V \text{ témoin} - V \text{ échantillon}) \times 0,615 / p.$$

P : poids du sol égale 1 gramme.

$$\% M O = \% C \times 1,72.$$

Tableau n°5 : Echelles d'interprétation de la Matière organiques

MO (%)	Sol
MO < 1	Très pauvre
1 < MO < 2	Pauvre
2 < MO < 4	Moyen
MO > 4	Riche

(I.T.A, 1975 in HAFOUDA, 2005)

Annexe n°7 : Dosage de sodium et de potassium par photométrie de la flamme :

Les dosages sont réalisés par spectrophotomètre d'émission atomique (photomètre à flamme).

1)- Partie théorique :

La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino - terreux .

Les éléments à analyser (sodium, potassium lithium, calcium etc ...) sont généralement sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de leurs solutions.

Partie pratique :

Mode opératoire :

Appareil Dr. LANGE (JENWAY)

Il faut le suivre étape par étape :

- Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert (Power).
- Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz.
- Allumer la flamme à l'aide du bouton noir "IGNITION" sans lâcher le doigt jusqu'à l'affichage "FLM" en rouge sur l'écran.
- Pipeter de l'eau distillée remplie dans une cuvette.
- Optimiser la flamme si elle est jaune à l'aide du bouton " fuel " jusqu'à ce que la couleur devienne bleu violacée.
- Optimiser à zéro à l'aide du bouton "Blank".
- Laisser se stabiliser 5 à 10 minutes.
- Une fois qu'elle se stabilise à zéro, activer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de Na^+ ou de K^+ à 10 mg/l.
- Optimiser à 10 mg/l à l'aide du bouton "FINE"
- Retirer la cuvette remplie par une solution étalon de " Na^+ " ou de " K^+ " à 10 mg/l et la remplacer par une cuvette remplie d'eau distillée et vérifier si l'écran affiche zéro (0.000).
- Retirer la cuvette remplie par l'eau distillée et la remplacer par une cuvette remplie par une solution étalon de " Na^+ " ou de " K^+ " à 10 mg/l et vérifier si l'écran affiche (10).
- Retirer la cuvette et la remplacer par une autre cuvette remplie d'eau distillée.
- A la fin, passer aux échantillons inconnus jusqu'à ce que la valeur affichée sur l'écran est stable (3 essais pour chaque échantillon).

A la fin du dosage et par mise de la sécurité, il faut toujours fermer la bouteille de gaz propane en premier lieu ensuite l'appareil et la pompe.

Préparation des étalons :

Solution fille de sodium (Na^+) à 10 mg/l de la solution mère de Na Cl à 1000 mg/l dans 100 ml d'eau distillée.

(2,54 mg de Na Cl 1000cc d' H_2O distillée : solution mère de Na^+ à 1 g/l).

Solution fille de potassium (K^+) à 10 mg/l : 1 ml de la solution mère de Kcl à 1 g/l dans 100 ml d'eau distillée.

(1.91 g de Kcl 1000 cc d' H_2O distillée : solution mère de K^+ à 1 g/l).

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

Remarque :

Avant de doser le sodium (Na^+) il faut toujours vérifier les valeurs de la " conductivité " car cette dernière a un rapport proportionnel à la dilution, c'est à dire plus que la conductivité est grande plus que la dilution du Na^+ est grande et vice versa. Alors pour le cas de K^+ on ne fait pas la dilution sauf que la conductivité est grande.

Annexe n°8 : Détermination du calcium (Ca^{2+}) et du magnésium (Mg^{2+}):**Principe :**

Titration molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide éthylènediaminetétraacétique(EDTA) à pH10. Le noir érichrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur.

Réactifs :

Solution d'E.D.T.A N/50 ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8\text{2H}_2\text{O}$) : (0,02N ou 0,01M)

- EDTA 3,725 g. après déshydratation à 80°C pendant 2 h.
- H_2O distillée q.s.p 1000 ml.

Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 2 N :

- NaOH (pastilles) 80 g.
- H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

Solution d'hydroxyde d'ammonium (NH₄OH) pH = 10,1:

- Chlorure d'ammonium 67,5 g.
- NH₄OH (25%)..... 570 ml
- HCl concentré PH = 10,1
- H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

: Noir eriochrome T.

Solution étalon de référence, c(CaCO₃)=0.01mol/l

Secher un échantillon de carbonate de calcium pur pendant 2heures à 150°C.

En introduire 1 g dans une fiole conique de 500ml et humidifier avec de l'eau. Ajouter goutte à goutte de l'acide chlorhydrique à 4mol/l jusqu'à ce que tout le carbinat soit dissous. Eviter un excès d'acide.

Ajouter 200ml d'eau et porter à ébullition quelques minutes afin d'éliminer le dioxyde de carbone. Refroidir et ajouter quelques gouttes de l'indicateur au rouge de méthyle. Ajouter une solution ammoniacale à 3mol/l jusqu'à ce que la solution devienne orange.

Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1000ml et compléter au volume avec de l'eau distillée.

1ml de la solution contient 0.4008mg(0.01 mmol/l) de calcium.

*** Mode opératoire :**

- (V₁) Ca²⁺ :
- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
 - Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N.
 - Ajouter du Murexide.
 - Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (violet).

- (V₂) Ca²⁺Mg²⁺ :
- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
 - Ajouter 2 ml de NH₄OH (10,1).
 - Ajouter noir eriochrome.
 - Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (bleu).

Expression des résultats : La détermination du mg/l de Calcium est donnée par la formule suivante:

$$mg/lCa_{2+} = \frac{V_1 * C_{EDTA} * F * M_{Ca_{2+}}}{P.E} * 1000$$

d'où :

V₁ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

M_{ca}²⁺ : Masse molaire du calcium en g.

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur

$$mg/lCa_{2+} = \frac{V_1 * 0.01 * F * 40.08}{50} * 100$$

Donc:

$$mg/l Ca^{2+} = V_1 \times F \times 8.016$$

La détermination du mg/l de Magnésium est donnée par la formule suivante:

$$mg/lMg_{2+} = \frac{(V_2 - V_1) * C_{EDTA} * F * M_{Mg_{2+}}}{P.E} * 1000$$

d'où :

V₂: Volume total

d'E.D.T.A

V₁ : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

$M_{Mg^{2+}}$: Masse molaire du Magnésium en g.

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur

$$\text{mg/l Mg}^{2+} = \frac{(V_2 - V_1) * 0.01 * F * 24.3}{50} * 1000$$

Donc :

$\text{mg/l Mg}^{2+} = (V_2 - V_1) \times F \times$ 4.86
--

Annexe n°9 : DOSAGE DES NITRATES NO_3^- Méthode au salicylate de sodium :

Principe :

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosoulate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

Réactifs :

- * Solution de salicylate de sodium à 0.5 % (renouveler toutes les 24 h.).

0.5 gr de salicylate de sodium dans 100 ml d'eau distillée.

- * Solution d'hydroxyde de sodium 30 %.

30 gr de NaOH dans 100 ml d'eau distillée.

- * H_2SO_4 concentré.

- * Tartrate double de sodium et de potassium.

Hydroxyde de sodium Na OH 400 g.

Tartrate de sodium et de potassium 60 g.

Eau distillée qsp 1000 ml.

Laisser refroidir avant de compléter à 1000 cc.

Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène.

Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/l.

* Nitrate de potassium anhydre	0.722 g.
Eau distillée	1000 ml.
Chloroforme	1 ml.

Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5 mg/l.

Appareillage.

Etuve.

Spectrophotomètre U.V visible.

- **Courbe d'étalonnage.**

Dans une série de capsule de 60 ml, introduire successivement :

N° de capsule	B	I	II	III	IV
\$ étalon 5 mg/l.	0	1	2	5	10
Eau distillée	10	9	8	5	0
\$ de salicylate de Na	1	1	1	1	1
Correspondant en mg/l de N nitrique	0	0.5	1	2.5	5

Mode opératoire :

Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.

Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %.

Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.

Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88° C.

(Ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir.

Reprendre le résidu avec 2 ml. H_2SO_4 laisser reposer 10 mn.

Ajouter 15 ml d'eau distillée.

Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectro au 415 nm.

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm.