

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité/ Option : Biodiversité et Environnement

Département : Ecologie et Génie de l'Environnement

THEME

Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux utilisée en irrigation et leur impact sur le sol

Cas de la ferme BOURIACHI (bouchegouf Nord Est Algerien)

Présenté par :

- RAMDANI ABIR
- AFIFI SOUFIAN

Devant le jury composé de :

Président: Ms. Bouchelaghem El Hadi M.C.A Université 8 Mai 1945 Guelma

Examineur: Ms Nedjah Riad M.C.A Université 8 Mai 1945 Guelma

Encadreur : Ms. Guettaf mouhamed M.C.A Université 8 Mai 1945 Guelma

Ce Encadreur : Ms Asmaa Ouartsi M.C.A Université 8 Mai 1945 Guelma

Juin2022

REMERCIEMENTS :

Tout d'abord, nous remercions Dieu de m'avoir donné courage, patience et opportunité d'étudier et de suivre le chemin de la science.

Mes sincères remerciements et ma profonde gratitude vont aux Présidents de M. Bouchelaghem El Hadi et du Examineur M. Nedjah Riad

Accepter de diriger ce travail avec beaucoup de patience, d'encouragement, d'orientation et de conseils

J'aimerais également exprimer ma gratitude à mon encadreur M. guettaf Mohammed

Approuver l'examen de ce travail

Je remercie la doctorante Ortsi Asma pour son soutien et ses conseils. Je tiens également à remercier tous les ingénieurs et le personnel du Laboratoire d'analyse des sols (INSID)

8 mai 1945, Premier appel : Respect et gratitude exprimés

Je remercie tous les professeurs de la Faculté des sciences naturelles et de la vie de Qalama, en particulier les professeurs du Département des sciences agricoles pour la qualité des enseignements reçus et le soutien innombrables dans tous les programmes de l'université.

Enfin, je remercie sincèrement tous ceux qui m'ont aidé à faire ce travail.

Dédicaces :

Je dédie ce travail à mes parents, qu'ils trouvent ici toute ma gratitude pour leur soutien tout au long de mes études. Je ne trouverai jamais de mots pour exprimer mon profond attachement et ma reconnaissance pour l'amour qu'ils m'accordent.

Mes frères: mohamad ramdani et sara ramdani ,malak djahida ramdani .widaine , ses enfants, et barmdan saïade et saïde farah je vous aime énormément.

Je donne à ma famille ;merani nouara .afifi laabidi..ines.faize.fakhri.ismail hamouche. Merani dhjahida

À toute ma famille

À mes chères amies : siham. naima....

Mes collègues de promotion 2021/2022

Abir

Soufian

Liste des abréviations :

FAO : organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

OMS : organisation mondiale de la santé.

CRAAQ : centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec

EUE : eaux usées épurée

EU : eaux usées

EUT : eaux usées traitées

K: Potassium.

OMS : Organisation Mondiale de Santé

NH₄⁺: Azote ammoniacal.

NO₂⁻: Nitrite.

NO₃⁻: Nitrate.

MRE : ministère des ressources en eau

ONA : office national d'assainissement

REU : réutilisation des eaux usées

SAR: sodium adsorption ratio

STEP: station d'épuration

MES : matières en suspensio

REUE : réutilisation des eaux usées épurée

Ni: Nickel.

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours.

DCO : Demande chimique en oxygène.

Résumé :

Dans le cadre de la gestion et la valorisation de l'eau d'irrigation ainsi que la préservation des ressources en eau, en vue d'une agriculture durable, une étude qualitative des eaux et des sols du périmètre irrigué de l'oued _seybouse plaine de bouchegouf. Cette étude nous a permis d'évaluer l'impact de l'agriculture intensive sur la qualité physico-chimique de ces ressources et d'apprécier les différentes modalités de leur utilisation. Une démarche a été suivie, comportant la réalisation de campagnes de mesures in situ sur terrain (CE, pH, profondeur de la nappe) selon un réseau de suivi de 4 points d'eau et 5 points du sol. Les résultats de la profondeur des nappes mesurées montrent qu'elles varient entre 8 et 40 m, ainsi que 62% des puits échantillonnés ont une salinité forte à très forte et par conséquent sont inadéquates pour l'irrigation. En outre 14% des puits analysés ont des teneurs en nitrates supérieures à 50 mg/l enregistrant une pollution nitrique qui n'est pas alarmante. Cependant les sols analysés montrent des pH généralement 'Faiblement basique' et 70% sont très riches 'à moyennement pourvus en matière organique, ainsi que les mesures de la conductivité électrique indiquent que 95% des échantillons analysés sont non salins mais d'autres ont un problème d'alcalinité et ils se caractérisent aussi par une faible et riche concentration respectivement en phosphore et en potassium.

Mots clés : plaine bouchegoufe ,eaux usées, irrigation, FAO, OMS, irrigation, paramètres physico-chimiques ,porosité totale

ABSTRACT :

As part of the management and development of irrigation water as well as the preservation of water resources, with a view to sustainable agriculture, a qualitative study of the waters and soils of the irrigated perimeter of the wadi _seybouse plain of bouchgoufe. This study allowed us to assess the impact of intensive agriculture on the physico-chemical quality of these resources and to assess the different methods of their use. An approach was followed, including carrying out in situ measurement campaigns in the field (EC, pH, depth of the water table) according to a monitoring network of 4 water points and 5 ground points. The results of the depth of the measured aquifers show that they vary between 8 and 40 m, as well as 62% of the sampled wells have high to very high salinity and are therefore unsuitable for irrigation. In addition, 14% of the wells analyzed have nitrate levels above 50 mg/l, recording nitrate pollution which is not alarming. However the soils analyzed show generally 'Weakly basic' pH and 70% are 'very rich' to moderately rich in organic matter, as well as the measurements of the electrical conductivity indicate that 95% of the samples analyzed are non-saline but others have an alkalinity problem and they are also characterized by a low and high concentration of phosphorus and potassium respectively.

Keywords: bouchgoufe plain, wastewater, irrigation, FAO, WHO, irrigation, physico-chemical parameters, total porosity

ملخص:

كجزء من إدارة وتطوير مياه الري وكذلك الحفاظ على الموارد المائية ، يهدف الزراعة المستدامة ، دراسة نوعية لمياه وتربة المحيط المروي لسهل وادي بوشقوف. سمحت لنا هذه الدراسة بتقييم تأثير الزراعة المكثفة على الجودة الفيزيائية والكيميائية لهذه الموارد وتقييم الطرق المختلفة لاستخدامها. تم اتباع نهج ، بما في ذلك تنفيذ حملات القياس في الموقع في الميدان (EC) ، pH ، عمق منسوب المياه الجوفية) وفقاً لشبكة مراقبة مكونة من 4 نقاط مياه و 5 نقاط أرضية. تظهر نتائج عمق طبقات المياه الجوفية المقاسة أنها تتراوح بين 8 و 40 مترًا ، بالإضافة إلى أن 62٪ من الآبار التي تم أخذ عينات منها ذات ملوحة عالية جدًا إلى عالية جدًا وبالتالي فهي غير مناسبة للري. بالإضافة إلى ذلك ، تحتوي 14٪ من الآبار التي تم تحليلها على مستويات نترات أعلى من 50 ملغم / لتر ، مما يسجل تلوثًا بالنترات لا يندر بالخطر. ومع ذلك ، تُظهر التربة التي تم تحليلها عمومًا درجة حموضة `` قاعدي ضعيف " و 70 ٪ `` غنية جدًا " إلى غنية بدرجة معتدلة بالمواد العضوية ، وكذلك تشير قياسات التوصيل الكهربائي إلى أن 95 ٪ من العينات التي تم تحليلها غير ملحية ولكن البعض الآخر لديه مشكلة قلوية كما أنها تتميز بتركيز منخفض وعالي من الفوسفور والبوتاسيوم على التوالي.

الكلمات المفتاحية: سهل بوشقوف ، مياه الصرف الصحي ، الري ، منظمة الأغذية والزراعة ، منظمة الصحة العالمية ، الري ، البارامترات الفيزيائية والكيميائية ، المسامية الكلية.

Liste des figures :

Figure I-1 : Schéma distinctif d'une nappe libre ou captive	5
Figure I.2 : classification des métaux en fonction de leur dangerosité et de leur.....	9
.Méthodologie d'utilisation des eaux usées épurées dans l'hydro agricole :	12
Figure II-1 Les différents systèmes d'irrigationDans la pratique, on distingue l'irrigation gravitaire, l'irrigation goutte à goutte et l'irrigation par aspersion.	18
Figure II-2 Schéma type d'un réseau d'irrigation par aspersion	22
Figure II-3 Pivots, rampes frontales	24
Figure II-4 Enrouleurs Utilisation et entretien du système de pompage	25
Figure III.5 : partie essentielle d'une installation localisée.....	26
Figure. II.6: Système d'irrigation localisée.....	26
Figure II.7:Filtre à gravie	28
Figure II.8: Exemple d'un goutteur.....	29
Figure III .1 : irrigation par planche de ruissellement.....	30
Figure III.2 : irrigation à la raie.....	31
Figure III.3 : irrigation par submersion.....	32
Figure IV-1 : Description d'un sol	35
Figure IV -2 Schéma d'un profil de sol (image Google)	36
Figure IV -3: teneur en eau dans le sol et le sous-sol. Jacques Beauchamp	38
Figure IV.4 : le triangle textural.....	41
Figure IV.5 : Etats de l'eau dans le sol	44

Liste des tableaux :

Tableau I. : Echelle granulométrique de la texture du sol	40
Tableau II. : Les différentes structures du sol et leurs propriétés.....	42
Tableau III.: la teneur en sodium (SAR)	54
Tableau IV : Classification de la qualité de l'eau de l'oued Seybouse selon la pertinence de leau à des fins d irrigation agricole.....	88
TableauV :différents paramètres physico-chimiques des eaux de surface de loued-seybouse (partie aval)utiliséès a des fins d irrigation	94

Chapitre I :

I. Revue bibliographique sur la qualité des eaux d'irrigation

Introduction.....	
I. Les ressources en eau pour l'irrigation	13
I.1 Les eaux de surface	13
I. 1.1 Origine et définition.....	13
I.1 2 Types d'eau de surface.....	13
a. Eaux courantes.....	13
b. Eaux stagnantes	13
I.2 Les eaux souterraines	14
I.2.1 Origine et définition	14
I.2.2 Types d'eau souterraine	14
I.2.2.1 nappes d'eaux.....	14
a. Les nappes libres	15
b. Les nappes captives	15
II. Méthode d'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation	
II.1 Risque de salinité	16
II.1 Risque d'alcalinité (excès en sodium)	17
II.2 Risque lié aux carbonates et aux bicarbonates	17
II.2.1 Carbonate de sodium résiduel (RSC)	17
II.3 Risque liée aux éléments toxiques.....	18
II.4 Les nutriments	18
II.5 Les métaux lourds.....	19
III .3.Aspects Environnement Aux Associes À L' utilisation	
Des Eaux Usées En Irrigation	19
III.3.1.Avantages environnementaux	19
III.3.2.Effets négatifs potentiels sur l'environnement	20
III.3.2.1.Effets sur le sol	20
III.3.2.2.Effets sur les eaux souterraines	20
III.3.2.3.Effets sur les eaux de surface	21
III.3.2.4.Effets sur les cultures : Problème de phytotoxicité et gestion	21
III.41..Méthodologie d'utilisation des eaux usées épurées dans l'hydro agricole	22
III.4.2.Choix du système d'irrigation	23
III.4.4.Contrôle des EUE destinées à l'irrigation	23
II.Techniques et modes d'irrigation	23

II.1-Introduction : Provenance de l'eau d'irrigation	23
II.2-L'irrigation dans le monde	24
II.3- Importance de l'irrigation	25
a-Apport sur le plan économique	25
b-L'auto-suffisance alimentaire	25
c-L'irrigation un rempart à la famine	26
II.4-Insuffisance des ressources en eau	27
II.5 Les différentes techniques d'arrosages	27
II.5.1 - Etude des techniques d'irrigation	27
II.6.1-L'irrigation par aspersion	31
a- Les Asperseurs	32
b- b- Avantages	33
c- Inconvénients	33
II.6.1.1 Aspersion mécanisée	33
II.6.1.2 -Les enrouleurs	34
II.6.2.L'irrigation localisée34	
II.6.2.1 -L'irrigation localisée (goutte à goutte)	35
A-Composition d'une installation goutte à goutte	37
-Point de fourniture d'eau	37
L'unité de tête	37
Conduites et rampes	38
□□La conduite principale	38
□□-Le porte-rampes	38
□□Les rampes	38
□□Les distributeurs	38
B-Différents types de distributeurs	39
II.7-Nécessité de l'irrigation en goutte à goutte	39
II.6.3. L'irrigation de surface	39
II.6.3.1.Irrigation par ruissellement	40
a- Les planches de ruissellement	40
b- L'arrosage à la raie	40
II.6.3.2.Irrigation par submersion	41
II.6.3.3.L'irrigation mixte	42
Conclusion	43

II. Caractéristiques et classifications des sols

I. Principaux composants du sol	44
II. caractéristiques du sol	49
II.1 La texture	49
II.2 la structure	51
II.2.1 Porosité	52
1. La fertilité physique	52

2.La fertilité chimique	53
-------------------------------	----

3 La fertilité biologique

Conclusion	53
------------------	----

III.1.1.2 Transport de l'eau dans le sol : (hydrodynamique du sol)	54
--	----

a. Les équations particulières du transport d'eau	54
---	----

b. la conductivité hydraulique	54
--------------------------------------	----

Chapitre II Matériel et méthodes

1. Description de la zone d'étude	58
---	----

1.Étude géomorphologique	59
--------------------------------	----

2. L'Orographie et Hydrographie.....	59
--------------------------------------	----

2.1.Zone de montagnes	59
-----------------------------	----

2.2. Présentation du bassin de la Seybouse (au niveau de Bouchegouf)	60
--	----

2.2.1. Plaine de Bouchegouf	60
-----------------------------------	----

2.2.2. Réseau hydrographique	60
------------------------------------	----

3. Echantillonnage	61
--------------------------	----

4. les analyses physico-chimiques	74
---	----

4.1. Mesure in situ	74
---------------------------	----

4.2. Mesure au laboratoire	75
----------------------------------	----

a)Densité apparente (da)	84
--------------------------------	----

b) Densité réelle (Dr)	85
------------------------------	----

c) La porosité	85
----------------------	----

Chapitre 3 Résultat et discussion

1.diagramme de piper	89
----------------------------	----

2.diagramme de wilcox	91
-----------------------------	----

3. diagramme de richard.....	93
------------------------------	----

a : rapport d'adsorption du sodium (SAR), b : pourcentage de sodium (%Na), c : carbonate de sodium résiduel (RSC).....	95
a : indice de perméabilité (PI), b : indice de Kelly (KI), c : magnésium ratio (MR)	96
Indice de qualité de l'eau d'irrigation	97
Classification de la qualité de l'eau de l'oued seybouseselon la pertinence de l'eau à des fins d'irrigation agricole.....	98
Conclusion	99

Introduction générale :

Le recours à l'irrigation est dans bien des cas nécessaire pour garantir le maintien d'un niveau de production suffisant dans de nombreuses régions du monde, et pour rentabiliser l'investissement consenti afin de se prémunir contre les aléas climatiques et sécuriser la production.

On distingue essentiellement les modes d'irrigation de surface, par aspersion et localisée. Les deux premiers modes d'irrigation, de surface et par aspersion, représentent les méthodes classiques d'irrigation.

A l'heure actuelle, l'irrigation de surface est de loin la technique la plus courante, et elle est en particulier très utilisée par les petits exploitants, puisqu'elle ne fait pas appel à des équipements hydrauliques complexes de gestion et d'entretien compliqués. C'est pour cette raison que l'irrigation de surface sera vraisemblablement encore la technique dominante en 2030, même si elle gaspille l'eau et est responsable d'une grande partie de l'engorgement et de la salinisation des sols.(FAO 2002).

L'irrigation goutte à goutte est un des exemples de systèmes d'irrigation localisé qui relèvent de méthodes d'irrigation de plus en plus répandues grâce auxquelles l'efficacité de l'eau est portée au maximum puisqu'elle n'est appliquée qu'aux endroits où elle est nécessaire, l'eau n'est donc que très peu gaspillée. .(FAO 2002).

Mais il n'y a pas que la technologie; des méthodes comme la petite irrigation et l'utilisation des eaux usées d'origine urbaine sont aussi prometteuses que l'évolution des technologies d'irrigation pour augmenter la productivité de l'eau. .(FAO 2002).

L'irrigation localisée, système réputé pour être économique en eau, se développe à la faveur de subventions conséquentes accordées aux agriculteurs par l'état. Cependant, en raison d'une mauvaise maîtrise et de contraintes locales, les doses et leur variabilité au sein de la parcelle s'avèrent parfois ut élevées selon les enquêtes et le suivi effectuée chez des agriculteurs. L'irrigation goutte à goutte souterraine est une forme de l'irrigation localisée qui distribuent l'eau aux plantes directement dans les racines. Elle consiste à placer les conduites sous la surface du sol, à une profondeur qui dépend de la nature du sol et du développement du système racinaire de la plante. .(FAO 2002).

L'objectif de ce mémoire est de présenter les techniques de l'irrigation souterraines, et d'établir une comparaison entre l'irrigation en goutte à goutte localisée et le goutte à goutte enterré en termes d'économie d'eau d'irrigation et de rentabilité, en particulier en zone aride et semi-aride. (L auata jan 2015)

Chapitre I

Revue bibliographique sur la
qualité des eaux d'irrigation

L'eau d'irrigation, qu'elle que soit son origine superficielle ou souterraine, n'est jamais pure ; elle contient des sels dissous qui peuvent affecter les sols et les cultures suivant leur concentration, il est important alors d'adopter les pratiques agricoles à l'eau dont on dispose, sachant que les comportements seront différents suivant la nature des sels en cause .

La composition chimique d'une eau d'irrigation doit donc être examinée en fonction de son impact sur la terre et les plantes.

I. Les ressources en eau pour l'irrigation :

I.1 Les eaux de surface :

I.1.1 Origine et définition :

Les eaux de surface proviennent surtout des pluies, et sont constituées d'un mélange d'eau de ruissellement et d'eau souterraines, l'eau de pluie qui ne pénètre pas le sol reste à sa surface, elle peut donc s'écouler et former les cours d'eau ou rester stockée lorsqu'un obstacle s'oppose à l'écoulement se qui forme les lacs, les mares, et les étangs.

I.1.2 Types d'eau de surface

a. Eaux courantes :

Les eaux courantes sont les eaux qui subissent constamment un écoulement, de l'amont vers l'aval. Le cours d'eau dévale des pentes jusqu'à terminer sa course dans la mer et l'océan. La proportion d'eau de ruissellement dépend de nombreux facteurs, dont les plus importants sont la durée et l'intensité des pluies, le climat et la végétation, les conditions géologiques topographiques et géologiques de la région considérée. Elle varie longuement, d'environ 20% dans les régions arides et sableuses où les pluies sont rares et à plus de 50% dans les régions rocheuses où la pluviométrie est forte.

b. Eaux stagnantes :

Les eaux stagnantes apparaissent quand il y a une entrave à l'écoulement avec un obstacle naturel ou artificiel. Plusieurs types d'eaux stagnantes se distinguent :

- Les lacs :

Ce sont des volumes d'eau libre superficiel remplissant une dépression naturelle ou artificielle , sans connexion directe avec les océans et dans lequel le déplacement de l'eau n'est pas unidimensionnel, l'accumulation d'eau douce ou salées dans la cuvette lacustre

résulte de la contre pente qui retient l'eau, cette rétention est due soit à un creux de l'écorce terrestre, soit à un barrage naturel ou artificiel. (s. terchi -septembr- 201).

Les plans d'eau artificiels :

Réalisés par l'homme, leur profondeur est beaucoup plus faible que pour un lac et peut s'élever au maximum à plusieurs dizaines de mètres. Ces plans d'eau artificiels comprennent deux milieux :

- Les étangs sont des étendues plus petites que les lacs, souvent créés dans le but de faire de l'élevage de poisson (pisciculture).
- Les retenues d'eau consistent à collecter de l'eau en montagne ou dans les vallées.

Ces retenues ont plusieurs vocations. Elles peuvent servir à la production d'électricité (barrage hydroélectrique), à l'augmentation du débit des cours d'eau lorsqu'il devient faible (soutien d'étiage), à la rétention des crues ou des eaux pluviales, à l'irrigation, à l'approvisionnement en eau potable ou encore aux loisirs.

- Les marais :

Correspondent à un affleurement d'une nappe d'eau peu profonde sur un terrain fortement végétalisé . Une forte quantité de sédiments, c'est-à-dire de dépôts laissés par l'eau, s'est accumulée au fond [1]

I.2 Les eaux souterraines :

I.2.1 Origine et définition :

L'eau souterraine est une eau qui s'accumule sous terre. Elle provient principalement de l'infiltration des eaux superficielles ; accessoirement de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique dans les cavités karstiques ou dans les pores du sol. Des hypothèses font intervenir aussi la condensation des gaz émis par le magma, l'infiltration des eaux marines, la diagenèse ou transformation des roches meubles en roches compactes par expulsion de l'eau. Les eaux résiduelles se sont accumulées dans d'anciens bassins au cours d'ères géologiques révolues. Elles formeraient les eaux profondes. Les eaux résiduaires peuvent exister dans les espaces entre les particules libres de la terre et les roches, ou dans les fissures et les crevasses des roches. Les différents types de roches et de terre peuvent contenir différents montants

d'eau. La zone desaturée est la partie de la terre et des roches qui est saturée avec de l'eau. Le haut de cette zone saturée est appelé la nappe phréatique

I.2.1.1 Les nappes d'eau :

Les nappes d'eaux souterraines peuvent être de deux types selon qu'elles circulent sous une couche perméable ou non.

a. Les nappes d'eau libres :

Elles sont situées sous un sol perméable sont dites libres. Au-dessus de la nappe en effet, les pores du terrain perméable ne sont que partiellement remplis d'eau, le sol n'est pas saturé, et les eaux de pluie peuvent toujours l'imprégner davantage. Aussi, le niveau de la nappe peut-il monter ou baisser à son aise. De telles nappes peuvent donc contenir des volumes d'eau variables.

b. Les nappes d'eau captives :

Elles sont situées entre deux couches imperméables leur niveau ne peut monter, l'eau ne pouvant s'insinuer dans un sol imperméable. Ces nappes n'ont qu'un lien ténu avec la surface par où elles sont alimentées et qui correspond à la zone où la couche perméable affleure. De telles nappes se renouvellent donc plus lentement que les nappes libres. Elles sont en général profondes, quelques centaines de mètres et plus, et si leur pente est forte, l'eau y est sous pression. La pression est même parfois suffisante pour que le creusement d'un puits permette à l'eau de jaillir en surface : une telle nappe est alors dite artésienne.

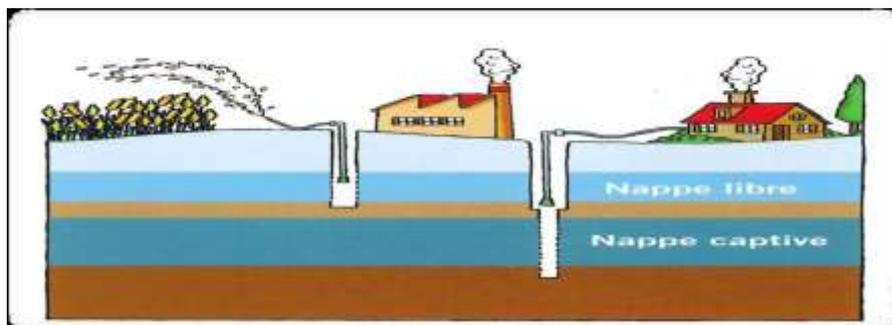


Figure I-1 : Schéma distinctif d'une nappe libre ou captive(S. Terchi - septembr).

II. Méthode d'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation : La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation. Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants :

- PH
- La salinité(CE)
- L'alcalinité(le SAR)
- La dureté(les carbonates et bicarbonates)
- Les éléments toxiques
- Les nutriments
- Les métaux lourds

II.1 Risque de salinité :

Une concentration élevée en sel dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation des sols et une pollution des eaux souterraines.

L'utilisation d'une eau salée pour l'irrigation dépendra de plusieurs facteurs :

- la tolérance en sel de la culture
- les caractéristiques du sol sous l'irrigation
- les conditions climatiques, la qualité de l'eau d'irrigation joue un rôle essentiel dans les secteurs arides affectés par des taux d'évaporation élevés entraînant une accumulation importante de sel dans les sols.
- les procédures de gestion des sols et de l'eau. La concentration en sel est donnée par le TDS (qualité totale de matière dissoute) exprimé en mg de sel par litre d'eau (mg/l) ou en gramme de sel par mètre cube d'eau (g/m³). Elle peut être aussi mesurée grâce à la conductivité électrique de l'eau d'irrigation(CEW), qui est exprimée en millimhos par centimètre (mmhos/cm) ou decisiemens par mètre (ds/m) ou microsiemens par mètre (ds/m) ou microsiemens par centimètre, sachant que $1\text{ ds/m}=1000\mu\text{s/cm}$.

II.1 Risque d'alcalinité (excès en sodium) :

Une grande quantité d'ions de sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présente dans le sol en forme échangeable remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les argiles et cause la dispersion des particules dans le sol. Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure.

Ce problème est également relié avec plusieurs facteurs tels que le taux de salinité et le type de sol. Par exemple les sols sableux ne subiront pas de dommage si facilement en comparaison aux plus lourds ils sont irrigués avec de l'eau à haut SAR.

Qu'est ce que c'est le SAR ?

L'indice est le rapport d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium.

Le SAR est défini par l'équation suivante :

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\frac{\sqrt{Ca^{++} + Mg^{++}}}{2}}$$

II.2 Risque lié aux carbonates et aux bicarbonates :

Une forte teneur en carbonate et en bicarbonate augmente la valeur du SAR les ions carbonate et bicarbonate combinés au calcium ou au magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium (CaCO₃) ou carbonate de magnésium (MgCO₃) dans des conditions de sécheresse. Lorsque la concentration de Ca et de Mg décroît, la teneur en sodium donc l'indice SAR devient plus important. Ceci causera un effet d'alcalisation et augmentera le PH.

Par conséquent, lorsqu'une analyse d'eau indique un PH élevé, ça peut être un signe d'une teneur élevée en ions carbonate et bicarbonate.

II.2.1 Carbonate de sodium résiduel (RSC) :

Le RSC se calcule grâce à l'équation suivante :

$$RSC = (CO_3^{--} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

C'est un autre moyen de calculer la teneur en sodium grâce au Mg et au Ca. Cette valeur peut apparaître dans certains rapports d'analyse d'eau [2]

Tableau I .1 : niveau du risque dû au carbonate de sodium résiduel

Niveau du risque	Nul	Léger à modéré	Sévère
RSC (meq/l)	<1,25	1,25 _2,5	>2,5

□ En présence de carbonates, le SAR devient insuffisante pour déterminer les risques d'alcalinisation, pour cela on doit déterminer le SAR ajusté (L .K,Rycroft,1983) :

$$\text{SAR}_{\text{ajusté}} = \text{SAR} * [1 + (8,4 - \text{PHc})]$$

PHc : c'est le PH théorique d'une eau d'irrigation en équilibre avec de la calcite.

$$\text{PHc} = (\text{PK}'_2 - \text{PK}'_c) + \text{P}(\text{Ca} + \text{Mg}) + \text{p}(\text{Alk})$$

PK'₂ : c'est le log négatif de la deuxième constante de dissociation de l'eau

PK'_c : c'est le produit de solubilité de CaCO₃

P (Ca+Mg) : C'est le log négatif de la concentration de Ca et Mg

p(Alk) : c'est le log négatif de la concentration en ions carbonates et bicarbonates dans l'eau.

II.3 Risques liés aux éléments toxiques :

Les éléments toxiques les plus réputés sont :

- Bore (B)
- Chlorure (Cl)
- Sodium (Na)

Le sodium et le chlorure sont habituellement absorbés par les racines. Lorsque l'absorption se fait par les feuilles le taux d'accumulation est plus grand. L'absorption directe se produit habituellement dans des systèmes d'irrigation par arrosage dans des conditions de faible humidité et de hautes températures.

Le bore peut être toxique à très faible concentration. une concentration en bore inférieure a 1mg/l est essentielle pour le développement des plantes, mais des niveaux plus élevés peuvent poser des problèmes pour les plantes sensible

II.4 Les nutriments :

Ce sont des substances nécessaires pour le métabolisme et la photosynthèse des plantes comprenant les macronutriments (N,P, Ca ,Mg) et les oligéléments (Fe, Mn, B, Cu, Mo, Zn et Si).

II.5 Les métaux lourds :

Les éléments traces sont, en général immobilisés dans les couches supérieures du sol, par Adsorption et échanges d'ions. Cette accumulation peut avoir pour conséquence, a terme, des risques pour le développement des plantes, la santé des hommes et des animaux.

Les métaux lourds qui présentent les risques les plus notables sont {cadmium (Cd), cuivre(Cu), Molybdène (Ni) et zinc (Zn)}.Le nickel, le cuivre et le zinc sont d'abord phytotoxiques . Au contraire, le molybdène et surtout, le cadmium peuvent être toxiques pour les animaux et l'homme, à des concentrations bien inférieures aux seuils de phytotoxicité.

On peut classer les métaux en quatre classe, selon qu'ils sont non indispensables au Développement des végétaux, et selon qu'ils posent ou non des problèmes des végétaux, et selon qu'ils posent ou non des problèmes sanitaires.



Figure I.2 : classification des métaux en fonction de leur dangerosité et de leur intérêt agronomique (s. terchi -septembr- 201 p1-p9)

III .3.Aspects Environnement Aux Associes À L' utilisation

Des Eaux Usées En Irrigation :

III.3.1.Avantages environnementaux :

Lorsque l'eau usée est utilisée correctement à des fins agricoles, plutôt que tout autre utilisation, l'environnement peut être amélioré. Voici quelques avantages environnementaux :

- La suppression de rejet en eaux de surface, prévient l'éventualité de situations

esthétiques désagréables, de conditions anaérobies dans les cours d'eau et l'eutrophisation des lacs et réservoirs. La conservation des ressources en eau fournit des avantages à l'utilisation telles que l'approvisionnement en eau et la préservation des étendues d'eau à usage récréatif.

- La sauvegarde des ressources en eaux souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources pour l'agriculture pose le problème de l'épuisement et de l'intrusion du biseau salin.
- La possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport d'humus sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion.(FAO 2003).

Chapitre III La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation

30

III.3.2. Effets négatifs potentiels sur l'environnement :

L'utilisation d'eau usée pour l'irrigation peut avoir également des effets négatifs sur l'environnement et la santé humaine. Les principaux dangers pour l'environnement associés à l'eau usée sont :

- l'introduction des produits chimiques dans des écosystèmes sensibles (principalement le sol, l'eau et les plantes),
- la propagation des microorganismes pathogènes.(FAO 2003).

III.3.2.1. Effets sur le sol :

Ces impacts sont d'importance particulière pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit rester à un bon niveau de fertilité chimique et physique, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les problèmes prévus au niveau du sol sont :

- la salinisation,
- l'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol,
- l'accumulation d'éléments potentiellement toxiques,
- l'accumulation de nutriments.

III.3.2.2. Effets sur les eaux souterraines :

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constituants de l'eau usée est possible .

Pour réduire et/ou surmonter le problème, les aspects suivants sont recommandés:

- irrigation (quantité d'eau) basée sur les besoins en eau des cultures avec lessivage minimum si nécessaire,

- établissement du programme d'irrigation basé sur les besoins en eau des cultures, la capacité de stockage en eau du sol et la qualité de l'eau usée,
- sélection des cultures qui peuvent absorber les constituants potentiellement dangereux présents dans l'eau usée,
- en cas d'eaux salines, introduction dans la rotation culturale, de plantes consommant les sels,
- limitation de la quantité d'eau de façon à assurer l'apport exacte en N nécessaire à la culture, afin d'éviter la contamination par NO₃-N. Si N excède les besoins des cultures on doit alors:
 - sélectionner des cultures à besoins élevés en N,
 - choisir un système d'irrigation qui fournit l'uniformité d'application la plus élevée possible,
 - mélanger l'eau usée avec de l'eau claire,
 - maintenir la maintenance et l'entretien des systèmes d'irrigation à un niveau acceptable.

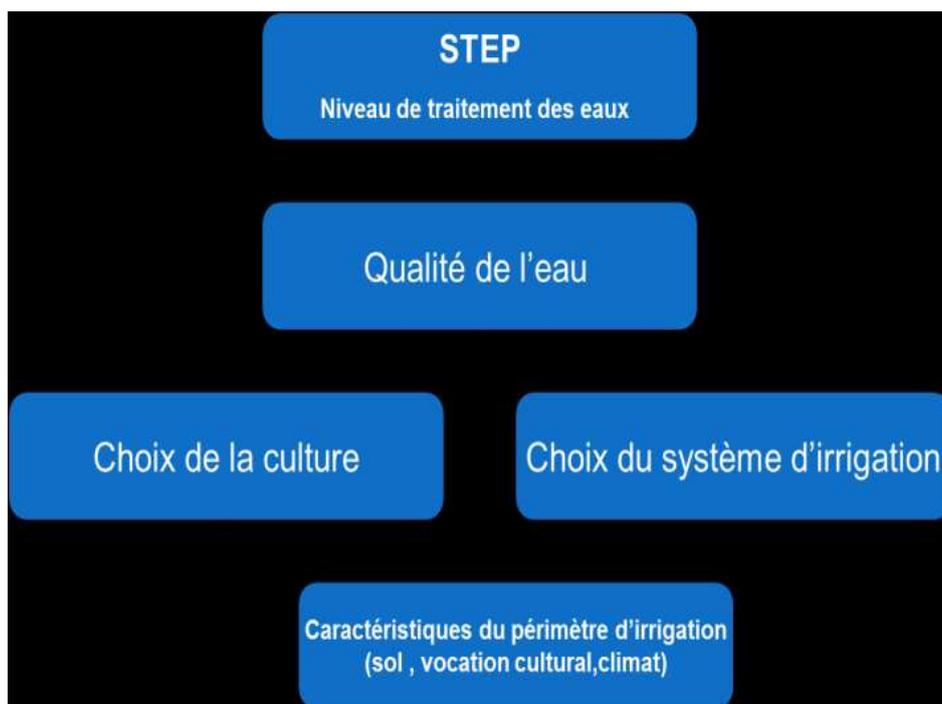
III.3.2.3. Effets sur les eaux de surface :

La concentration élevée en N et P dans l'eau usée est d'un intérêt particulier lorsque l'eau usée est mélangée dans un barrage, avant irrigation, car ces éléments peuvent créer des conditions favorables à l'eutrophisation. Dans de telles conditions, l'apparition d'algues vertes est très fréquente et il est difficile de remédier aux problèmes y associés, en particulier à l'obstruction des systèmes d'irrigation pressurisés. Ce problème est un des soucis majeurs des agriculteurs. Le problème d'eutrophisation et du déficit en oxygène, dû aux nutriments dans l'eau usée, est particulièrement important quand l'effluent est déchargé dans les étendues d'eau (fleuves, lacs et mer). L'azote est le facteur limitant pour la croissance des algues en mer, alors que N et P sont les facteurs limitants dans les lacs, les bassins d'eau salée et dans les barrages où l'eau usée est stockée avant irrigation .

III.3.2.4. Effets sur les cultures : Problème de phytotoxicité et gestion :

Au delà de l'effet global de certains constituants de l'eau usée sur les cultures irriguées comme la salinité, l'eau usée peut potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds.

Les nécroses sur les feuilles identifient des symptômes de toxicité au bore chez les cultures sensibles de bore .

III.41..Méthodologie d'utilisation des eaux usées épurées dans l'hydro agricole :**III.4.2.Choix du système d'irrigation :**

Moyennant quelques précautions et adaptations, les différents modes d'irrigation (irrigation de surface, aspersion et goutte à goutte) pourraient être utilisés avec les eaux usées épurées. Ces adaptations sont nécessaires en raison de la charge et la qualité particulière de l'eau épurée. Tous les systèmes présentent des avantages et des inconvénients mais généralement les contraintes sanitaires imposent le choix d'irrigation (MRE, 2012).

III.4.3.Stratégie pour protéger la santé humaine et l'environnement :

La santé humaine et l'environnement pourraient être protégés au travers de quatre groupes de mesures (Mara et Cairncross, 1988) :

- Le niveau de traitement des eaux résiduaires ;
- La restriction des cultures pratiquées ;
- La méthode d'irrigation ;
- Le contrôle de l'exposition humaine aux eaux usées épurées et l'hygiène.

Le traitement complet des eaux usées empêche les microorganismes pathogènes excrétés d'atteindre le champ.

Cependant, les agriculteurs, dans la plupart des cas, doivent faire face à l'eau usée d'une certaine qualité. A cause de cela, la restriction des cultures, le choix du système d'irrigation et le contrôle de l'exposition humaine sont très importants.

Une combinaison de mesures agro-techniques à sélectionner, selon les conditions socioculturelles, institutionnelles et économiques locales peut assurer la protection sanitaire (Metahri, 2012).

III.4.4. Contrôle des EUE destinées à l'irrigation :

Dans un système de réutilisation des eaux usées épurées, cinq niveaux de contrôle doivent être instaurés, à savoir : l'eau épurée en sortie de la STEP, l'eau d'irrigation, le sol, la plante et nappe (Figure1). Par ailleurs, le circuit de commercialisation et de distribution des fruits et légumes devra être restructuré pour un meilleur contrôle des produits (traçabilité, ...).

Quel que soit le mode d'irrigation, tous les produits doivent être soumis à un contrôle de qualité microbiologique à la récolte (MRE 2012).

Il convient également de bien laver les produits, notamment maraîchers, avant utilisation ou livraison sur le marché.

Les différents intervenants dans le processus de contrôles :

- Les services de l'hydraulique de la wilaya sont tenus de mettre en place un dispositif de suivi et de contrôle de :
- La qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation ;
- L'évolution de la qualité de l'eau de la nappe souterraine ;
- L'état des ouvrages de stockage et de distribution
- Les services de l'agriculture de la wilaya doivent assurer :
- Un contrôle phytosanitaire des cultures irriguées par les eaux usées épurées ;
- L'évolution des caractéristiques des sols, sous irrigation avec des eaux usées épurées
- Les services de la santé de la wilaya doivent assurer :
- Un contrôle régulier de la santé du personnel affecté à l'irrigation avec les eaux usées épurées.
- La qualité bactériologique du produit agricole

II. Techniques et modes d'irrigation :

II.1-Introduction : Provenance de l'eau d'irrigation :

De tout temps, les sociétés humaines ont déployé des efforts pour détourner de multiples manières l'eau nécessaire à leur culture et irriguer leurs champs. Certaines méthodes se contentent de mobiliser les eaux de crues des rivières ou les eaux de pluie. Elles interviennent peu sur le cours des rivières et déplacent peu les eaux dans l'espace. Par exemple, au bord de certains grands fleuves africains, les paysans cultivent les terrains susceptibles d'être légèrement inondés par les eaux grossières du fleuve à la saison des pluies, qu'ils ensemencent

juste avant la montée des eaux. Très utilisée en Asie, mais également en Afrique, notamment pour la culture du riz, la construction de tout un réseau de petits canaux et de digues permet de récolter les eaux de crue des rivières, de les distribuer en contrôlant leur niveau dans chaque parcelle et de les retenir. D'autres méthodes cependant consistent à pratiquer de véritables détournements d'eau. Le recours aux puits, notamment, permet de prélever toute l'année l'eau de certaines nappes souterraines, en d'autant plus grandes quantités que l'on sait aujourd'hui forer jusqu'à de grandes profondeurs et pomper l'eau mécaniquement. Une autre pratique consiste à détourner l'eau des rivières, et à la transporter par canaux, parfois très loin de son lieu de prélèvement, jusqu'à des régions moins bien dotées où elle manque.

Enfin, une technique qui s'est beaucoup développée au cours du XXe siècle est la construction, sur le cours des rivières, d'immenses barrages capables de stocker d'énormes réserves d'eau. De tels aménagements offrent un accès quasi permanent à l'eau (**Ollier et Poirée, 1983**). (**L.Aouata jan 2015**).

II.2-L'irrigation dans le monde :

La consommation d'eau agricole est très variable d'un pays à l'autre. Elle n'intéresse que 273 millions d'hectares dans le monde éparpillés très irrégulièrement sur tous les continents contrairement à ce que l'on pourrait penser, les pays qui irriguent le plus ne sont pas les pays au climat aride ou semi-aride. (**BOUAROUJ Sara ,2012**)

Dans ces régions, en effet, il ne peut y avoir de culture sans irrigation. Aussi, toutes les surfaces cultivées sont-elles irriguées. Mais, comme il ne peut y avoir d'irrigation sans eau, les surfaces cultivées demeurent réduites en superficie, limitées par la faiblesse des ressources en eau, et localisées là où ces ressources sont disponibles. C'est le cas de pays comme l'Égypte par exemple où l'agriculture s'est développée sur les bords du Nil, ou de certains pays de l'Amérique latine comme le Mexique.

A l'inverse, dans les régions qui reçoivent suffisamment d'eau de pluie, la superficie des terres cultivées peut être très importante, surtout si le relief le permet. Bien que l'irrigation n'y soit pas indispensable, elle est néanmoins utilisée, et ce d'autant plus facilement que l'eau est disponible, afin de diversifier et d'améliorer les cultures, d'obtenir des récoltes multiples, ou encore d'augmenter les rendements. Même si elle n'est pas systématique, l'irrigation peut donc être conséquente, c'est le cas de certains pays tels que le Japon la Chine,

Ou le Pakistan (**Milos, 1971**). Des facteurs autres que la situation géographique interviennent également, qui doivent être pris en compte pour expliquer la répartition mondiale de l'irrigation. Par exemple, l'irrigation nécessitant des infrastructures parfois Trop cher , la

richesse des pays considérés est un élément important. Il explique notamment qu'en Afrique ou au Brésil l'irrigation soit moins développée. En conséquence, les pays qui irriguent le plus sont ceux situés dans le sud-ouest asiatique, lesquels rassemblent plus de 60 % des terres irriguées de la planète, et certains pays du pourtour méditerranéen. (FAO 2012)

II.3- Importance de l'irrigation :

Jusqu'à présent l'irrigation reste le seul moyen d'augmenter les rendements et de les Régulariser dans bien des régions du monde. En effet, selon les espèces et variétés cultivées, selon les terres, et selon les techniques utilisées, l'irrigation peut permettre d'obtenir de deux à cinq fois plus de production (et même dix en zone aride) (Plauchu, 2004).

L'irrigation n'est pas uniquement un apport d'eau sur une terre cultivée en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et de permettre le plein développement des cultures. Elle est considérée plutôt comme un ensemble d'actions de développement intégré des milieux agricole et rural qui doit se traduire non seulement par l'augmentation de la production et l'amélioration du niveau de vie de l'agriculteur, mais doit se traduire également par la préservation du milieu, notamment des terres agricoles, et par une économie de l'eau d'irrigation qui elle-même se traduit par une économie dans l'utilisation de l'énergie, (Ollier et Poirée, 1983).. (L.Aouata jan 2015).

a-Apport sur le plan économique :

Depuis les années 60, la pratique de l'irrigation est à l'origine d'une augmentation de la production alimentaire globale dans l'ensemble des pays du tiers monde (De Regt, 1990). Répondant ainsi à une demande de produits alimentaires qui a considérablement augmenté par suite de l'essor démographique qui s'est manifesté dans la plupart des pays en voie de développement, où dans certains, la population double tous les 25 ou 30 ans. L'irrigation n'a pas été seulement un atout dans l'augmentation de la production, elle a favorisé l'extension des surfaces agricoles mais également une diversification de produits plus large consommation que dans le passé. Cette évolution explique l'élévation du niveau de vie et les progrès de la diététique. Les changements dans les habitudes alimentaires ont souvent donné la préférence à des produits irrigués légumes et fruits notamment (Ollier et Poirée, 1983).

b-L'auto-suffisance alimentaire :

Tous les pays cherchent à satisfaire la demande nationale, mais ceux qui le peuvent s'efforcent d'exporter leurs surplus agricoles ou la totalité de certaines productions qui ne trouvent pas ou peu de débouchés sur le marché national. Certaines cultures de plantations irriguées, souvent héritage d'une colonisation, donnent des produit qui doivent être

nécessairement exportés, c'est le cas par exemple de l'Algérie ou le Maroc qui doivent trouver des clients pour leurs agrumes (**Conac, 1978**).

c-L'irrigation un rempart à la famine :

L'irrigation bien maîtrisée est un rempart utilisé de longue date pour endiguer la sous-alimentation et renforcer la sécurité alimentaire des sociétés, la preuve en est que: L'intensification de la production agricole mondiale entre 1950 et 1990 doit beaucoup à l'irrigation (**FAO, 1975**). Entre ces deux années le rendement en céréales a plus que doublé et la récolte a presque triplé. Au début des années 50 on a étendu la surface cultivée, mais le boom, sans précédent historique, de la croissance des rendements et de la production est associé au doublement des surfaces irriguées, soutenue à partir des années 60 par la mise au point de nouvelles variétés de riz et de blé réagissant de manière optimale aux engrais et à l'eau (**Tiercelin, 1998**).

En conclusion, nous pouvons dire que l'usage de l'irrigation présente de nombreux avantages : Il permet d'augmenter la superficie des surfaces cultivées, en particulier dans les zones arides, d'assurer parfois deux récoltes (ou plus) au lieu d'une seule dans l'année, notamment dans certaines zones tropicales humides, d'améliorer les rendements, et d'une façon générale d'intensifier et stabiliser la production en se libérant des variations climatiques.

Enfin, les techniques modernes d'irrigation permettent aussi dans le même temps de fertiliser les sols.

Cependant l'irrigation présente deux inconvénients majeurs pour les milieux aquatiques. Elle est grande consommatrice d'eau et peut accélérer la désertification de certaines régions.

-L'agriculture irriguée rencontre de nos jours de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation qui peut être apprécié par la conductivité électrique (CE) et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière, due aux échanges ioniques, concerne surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol; il est évalué par le coefficient d'absorption du sodium (SAR). L'irrigation est l'activité qui consomme le plus d'eau, elle absorbe plus de 85 % de l'eau maîtrisée par l'homme (**Horning, 1973, Plauchu, 2004**).

D'importantes quantités d'eau sont en effet nécessaires pour compenser les pertes des plantes et des sols par évapotranspiration. En outre une majeure partie de l'eau d'irrigation retourne directement dans l'atmosphère, où elle est momentanément perdue pour d'autres usages. Cela est d'autant plus vrai que plus une plante dispose d'eau, plus son évaporation n'est importante. Il existe cependant une limite à ce phénomène au-delà de laquelle un apport

supplémentaire d'eau n'augmentera pas la transpiration végétale. Pour éviter d'utiliser trop d'eau, les quantités justes nécessaires aux cultures doivent donc être soigneusement estimées et l'irrigation contrôlée. Quoi qu'il en soit, pour irriguer les champs, il faut de l'eau et beaucoup d'eau, une eau que l'on doit parfois aller chercher très loin. Au niveau mondial, les prélèvements en eau de l'irrigation représentent aujourd'hui environ 70% des prélèvements totaux, ce qui est énorme (Plauchu, 2004).

À l'échelle locale, la consommation immodérée d'eau d'irrigation peut même parfois conduire à une réduction considérable des volumes disponibles. Ainsi, le lac Tchad, autrefois la plus grande réserve d'eau douce du continent africain, est aujourd'hui 20 fois plus petit qu'il n'était il y a 35 ans. (L.Aouata jan 2015).

II.4-Insuffisance des ressources en eau :

Sur la Terre, il y a l'eau visible : l'eau de mer, l'eau contenue dans les calottes polaires, les lacs, les rivières, les nuages et la pluie ; et l'eau invisible : les eaux souterraines. Si l'eau est très présente sur la Terre, 97 % de la ressource est de l'eau salée et 2 % est bloquée sous forme de glace. Il ne reste environ que 1 % d'eau sous forme d'eau douce liquide.

Les eaux douces exploitées ont une origine continentale :

- les eaux de précipitations : atmosphère .
- les eaux de surface : rivières, plans d'eau .

les eaux souterraines : elles proviennent du sous-sol (aquifères ou roches réservoirs) captées par sources naturelles ou forages.

Elles représentent 0,6 % de la ressource totale en eau.

II.5 Les différentes techniques d'arrosages :

Les techniques d'arrosage peuvent être rangées en trois (03) classes, soit :

- L'irrigation de surface
- L'irrigation par aspersion
- L'irrigation localisée ou micro irrigation (goutte à goutte).

II.5.1 - Etude des techniques d'irrigation :

Le manque d'eau et l'accroissement constant des besoins en eau en agriculture, conjugués aux conflits d'usage avec les autres secteurs, tels que l'industrie et la consommation en eau potable, nous amènent à constamment réfléchir sur les économies d'eau et d'énergie. Ceci passera forcément par une gestion efficace de l'irrigation ainsi que par la maîtrise de l'utilisation et le choix des systèmes d'irrigation.

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

l'irrigation sous pression

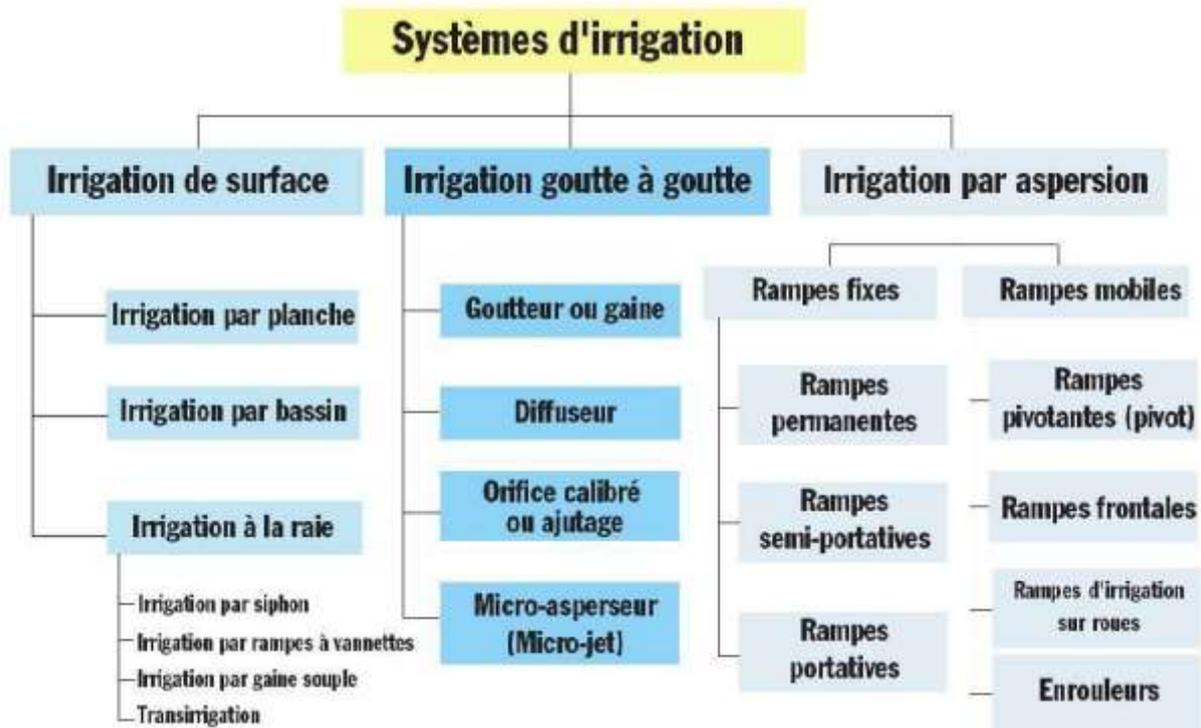


Figure I.3. Les différents systèmes d'irrigation

Dans la pratique, on distingue l'irrigation gravitaire, l'irrigation goutte à goutte et l'irrigation par aspersion. (L.Aouata jan 2015 - p13 - p18)

II.3.1 -l'irrigation gravitaire :

L'irrigation gravitaire ou irrigation de surface consiste à répartir l'eau sur la parcelle cultivée par ruissellement sur le sol dans les sillons (irrigation à la raie) ou en nappe (irrigation par planche ou calant) ou encore par submersion contrôlée (irrigation par bassin). Elle reste le mode le plus répandu dans les périmètres irrigués dans le monde. Au Maroc, on estime que plus de 93% de la superficie de la grande hydraulique est irriguée par une technique traditionnelle appelée „Robta“ qui représente environ 88% des superficies irriguées (Azouggh, 2001). Cette technique trouve sa large utilisation dans le fait qu'elle est adaptée aux parcelles de mauvais état de nivellement.

- **Les types d'irrigation gravitaire :** Dans l'irrigation gravitaire, il y a plusieurs types d'irrigation dont les trois suivants sont les plus connus : l'irrigation à la raie, l'irrigation par planche ainsi que l'irrigation par bassin (Azouggh, 2001) :

o **L'irrigation par planche** (irrigation 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.

o **L'irrigation par bassin** : est la plus connue dans l'irrigation gravitaire. Sa pratique sur un sol nivelé (pente 0,1 à 1%) ainsi que la simplicité de l'opération, qui consiste à remplir le bassin, font que cette technique est fréquemment utilisée. Dans plusieurs régions du Maroc, la taille des bassins est de 40 à 50 m² et cette technique est connue sous le nom "Robta". Cette dernière occasionne une perte importante de superficie, due au nombre important de cloisonnements.

o **L'irrigation à la raie** : ou par rigole convient parfaitement aux sols présentant une pente comprise entre 0,2 et 3%. Les sillons sont séparés par une distance variant entre 0,6 et 1,25 m, selon le type de sol et de la culture. Suivant le débit dont on dispose, on peut irriguer un ou plusieurs sillons à la fois. Les raies peuvent être parallèles ou perpendiculaires à la rigole permanente d'amenée d'eau. D'une manière générale, l'irrigation est réalisée suivant un débit unique ou suivant une succession de deux débits différents : un premier débit important qui est appelé débit d'attaque et un deuxième débit plus faible qui est appelé débit d'entretien. L'irrigation à la raie se prête mieux à la mécanisation : par siphon, par rampe à vannettes, par gaine souple ou par transirrigation.

- Irrigation par siphon :

Ce type d'irrigation est d'un intérêt certain car il permet d'éviter la construction d'une "séguia" d'amenée, et donc tous les travaux liés à la distribution. Il permet également de réduire l'érosion du sol à la tête de la raie. Par ailleurs, l'irrigation par siphon permet une bonne répartition de l'eau et présente un avantage du fait que l'investissement est faible

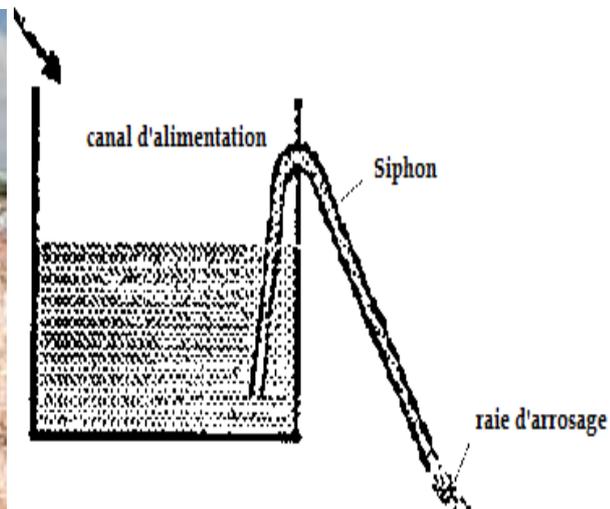


Figure: Schéma et photo de l'irrigation par siphon. (Azougagh, 2001)

- Irrigation par rampe à vannettes :

Ce type de matériel correspond mieux aux cultures irriguées à la raie et qui nécessitent peu d'interventions sur la parcelle. L'avantage réside dans la possibilité de réglage du débit par des vannettes coulissantes; qui offrent des positions d'ouverture de 25, 50, 75 et 100%.

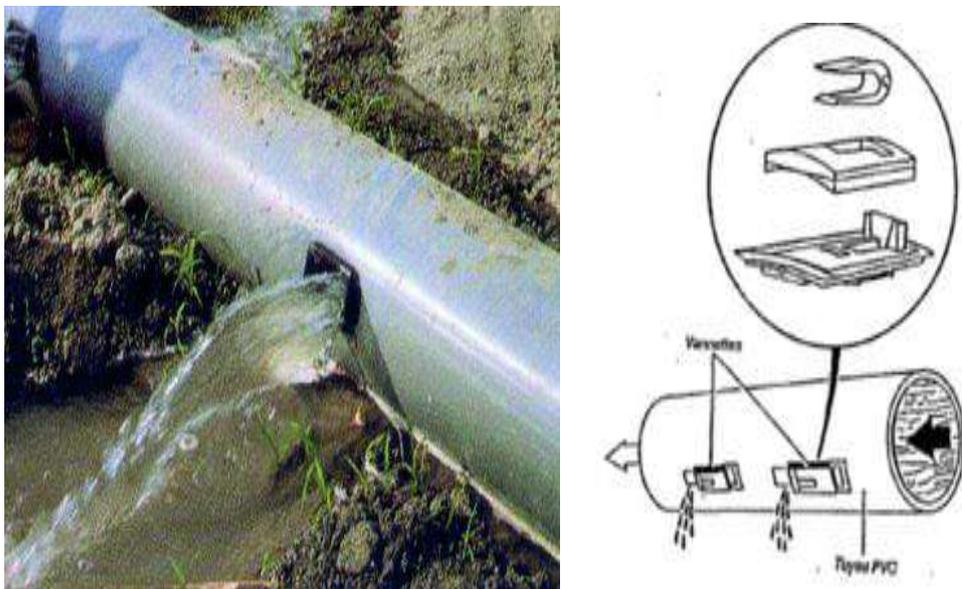


Figure : Photo et schéma de rampe à vannettes (Azougagh, 2001)

- Irrigation par gaine souple :

Ce type d'irrigation, ayant une charge de 0,4 à 1 m, convient mieux pour un sol relativement plat. Les débits de dérivation sont de l'ordre de 2 l/s. Les gaines sont facilement installées sur le terrain et demandent un investissement modeste. Les gaines ne peuvent en aucun cas être utilisées pour élever l'eau et leurs extrémités restent ouvertes sous peine de destruction par une surpression. Les extrémités doivent donc être posées sur des objets d'une hauteur d'environ 1m.

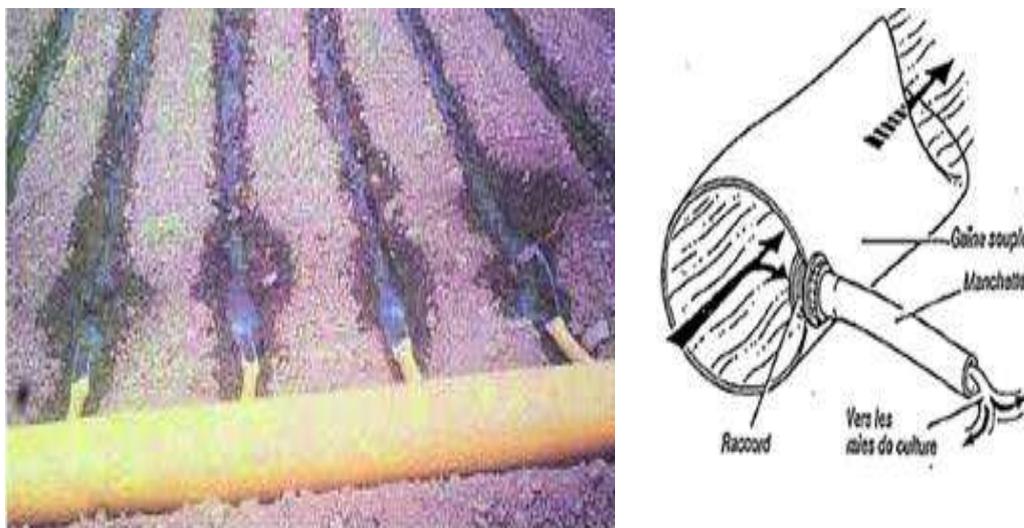


Figure: schéma et photo du gain souple. (Azougagh, 2001)

- Transirrigation :

La transirrigation de surface ou souterraine convient parfaitement à l'irrigation de la raie. La parcelle à irriguer par ce type d'irrigation est relativement grande et peut atteindre 6 26 Mémoire de fin d'études Année universitaire 2014/2015

ha. Une conduite en PVC rigide de diamètre 250 mm et d'épaisseur 4,9 mm est installée suivant une inclinaison régulière variant entre 0,25 et 0,6 % sur laquelle sont percés des orifices bien alignés et formant un angle de 30° par rapport à la verticale. Le diamètre des orifices est fonction du débit. L'ensemble du système n'est pas sous pression mais la charge au niveau de chaque orifice est créée par le déplacement d'un piston placé à l'intérieur de la conduite.

II.6.1-L'irrigation par aspersion :

L'irrigation par aspersion est basée sur le principe d'une utilisation de l'eau aux plantes sous forme de pluie artificielle. Elle est recommandée dans les cas suivants:

-**sols de faible profondeur** ne pouvant être correctement nivelés pour une irrigation de surface;

-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.

Par contre, elle est à écarter dans les régions très régulièrement ventées où les vents supérieurs à 4 ou 5 m/s dégradent considérablement l'homogénéité de l'arrosage. Une installation d'irrigation sous pression est généralement composée d'un équipement fournissant la pression nécessaire à son fonctionnement, d'appareils de mesure et de contrôle de débit, et d'une conduite principale amenant l'eau jusqu'aux conduites secondaires et tertiaires. D'autres éléments peuvent être utilisés, notamment un filtre ou une batterie de filtres et un dispositif d'adjonction d'éléments fertilisants.

La considération des facteurs suivants est nécessaire à la conduite d'un projet de dimensionnement de tout système d'irrigation sous pression: a) la dimension et la forme de la surface à irriguer, sa topographie et le type du sol; b) les sources d'eau disponibles ou potentielles et leurs caractéristiques et c) Les conditions climatiques dans la région, l'accessibilité à la parcelle et la culture à irriguer.

(El. Hali 20/02/2015.).



Figure: l'irrigation par aspersion

a- Les Asperseurs :

L'eau débitée par les dispositifs d'aspersion est projetée en l'air et retombe sur le sol en arrosant un cercle autour de l'asperseur. La plupart des asperseurs agricoles sont dotés d'un mécanisme à rotation lente, avec un battant, ou tournant (battant en forme de coin et ressort, ou battant et balancier à contrepoids) et fonctionnent avec une pression basse à moyenne (2 à 3,5 bars).

Ils sont munis de deux buses de projection de l'eau: la principale de longue portée, de plus gros diamètre, couvre la zone éloignée de l'asperseur, tout en activant le mécanisme de rotation de l'asperseur; la buse secondaire pulvérise l'eau à proximité de l'asperseur. Les buses sont interchangeables pour permettre des variations de performance en fonction des besoins. Les asperseurs sont en laiton ou en plastique à haute résistance; la plupart comportent plusieurs pièces

en laiton et d'autres en plastique. L'axe et le ressort sont faits d'acier inoxydable. Les principales caractéristiques des asperseurs utilisés par les systèmes à tuyaux flexibles sont les suivantes:

- deux buses: 3–6 mm (longue portée) x 2,5–4,2 mm (proximité);
- basse à moyenne pression de fonctionnement: 1,8–3,5 bars;
- débit hydraulique: 1,1–3 m³/h;
- diamètre de couverture (arrosé): 18–35 m;
- angle du jet: 20°–30° (sauf lorsqu'un angle très faible est requis, par 3 exemple en cas de vents forts, ou d'eaux traitées);
- type de raccord: fileté interne ou externe 0,5–1 pouce.

Afin d'assurer une aspersion satisfaisante avec des asperseurs rotatifs conventionnels, la pression minimale de fonctionnement doit être au moins de 2 bars.

b- Avantages :

- Efficience d'irrigation élevée: 75 pour cent.
- Conception simple, installation et fonctionnement simplifiés.
- Adaptabilité à tous les types de sols, à de nombreuses espèces de cultures et à de petites parcelles irrégulières.
- Moindre coût par rapport à bien d'autres systèmes modernes d'irrigation.
- Ne nécessite pas de main-d'oeuvre qualifiée.

c- Inconvénients :

- Pénible et déplaisant labeur de déplacement des asperseurs avec leurs tuyaux flexibles.
- Longue durée du cycle d'irrigation.

Dans l'irrigation par aspersion, on rencontre les installations suivantes:

II.61.1 Aspersion mécanisée :

Les systèmes de rampe pivotante et de rampe frontale sont des installations utilisées essentiellement dans les grandes exploitations. Elles possèdent un mécanisme d'entraînement programmable qui sert à déplacer les éléments. Le système de rampe pivotante est constitué d'une conduite avec arroseurs, supportée à l'une de ses extrémités par une tour à pivot central, une série de tours munies de roues et un moteur électrique (ou hydraulique). La conduite peut mesurer de 100 à 500 m, pouvant irriguer jusqu'à 75 ha. L'ensemble permet d'irriguer une surface circulaire, mais nécessite un capital d'investissement élevé. Les débits sont de l'ordre de 250 à 850 m³/h pour une pression de 6 bars.

Le système de rampe frontale diffère de la rampe pivotante par le fait que tous les tours sont mobiles et le déplacement se fait latéralement. L'alimentation en eau se

Fait soit par un fossé creusé au milieu ou au bord du champ, soit par un tuyau flexible. Il nécessite un investissement aussi important sinon supérieur à celui du système à rampe pivotante. La consommation énergétique de ces deux systèmes est élevée. Les autres types d'installations sont: l'aile traînée ou remorquée, bras tournant ou arroseur géant, et le canon automoteur (machine automotrice d'irrigation à tuyau flexible: enrouleurs).

(El. Hali 20/02/2015).



Figure II-4 Pivots, rampes frontales

II.6.1.2 -Les enrouleurs :

Les enrouleurs sont des machines d'irrigation à tambour et à tuyau flexible. Ils sont actuellement désignés par "enrouleurs" à cause de leur principe de fonctionnement. En effet, le porte asperseur est placé à l'une des extrémités du flexible et l'autre extrémité est fixée sur le tambour sur lequel il s'enroule. Ainsi, l'irrigation s'effectue peu à peu sur une bande en tirant le porte asperseur. L'enrouleur peut également fonctionner avec une rampe. Le débit peut atteindre 50 m³/h et la portée du jet de l'asperseur peut dépasser 100 m de rayon.

(El. Hali 20/02/2015).



Figure II-5 Enrouleurs Utilisation et entretien du système de pompage

II.6.2.L'irrigation localisée :

L'irrigation localisée, ou micro-irrigation, est une méthode qui regroupe plusieurs systèmes de distribution de l'eau à la parcelle. Elle se caractérise par: [16]

- la mise en place sur la parcelle d'un réseau dense de canalisations (rampes) couvrant totalement la surface à irriguer.

- l'apport de l'eau au voisinage de la plante.

Sur le plan international, différents termes sont utilisés pour désigner cette technique d'irrigation:

- **Micro-irrigation:** terme choisi par la Commission Internationale Des Irrigation Et Du Drainage (CIID) en référence aux débits utilisés qui, contrairement aux deux autres techniques plus anciennes, aspersion et irrigation de surface, sont très faibles.

- **Irrigation goutte à goutte:** terme utilisé par certains auteurs en référence à l'utilisation d'un type particulier de distributeur: le goutteur.

- **Irrigation localisée:** terme choisi par l'Organisation mondiale pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) en raison des apports d'eau effectués au voisinage immédiat des plantes. C'est ce terme que nous utiliserons par la suite..

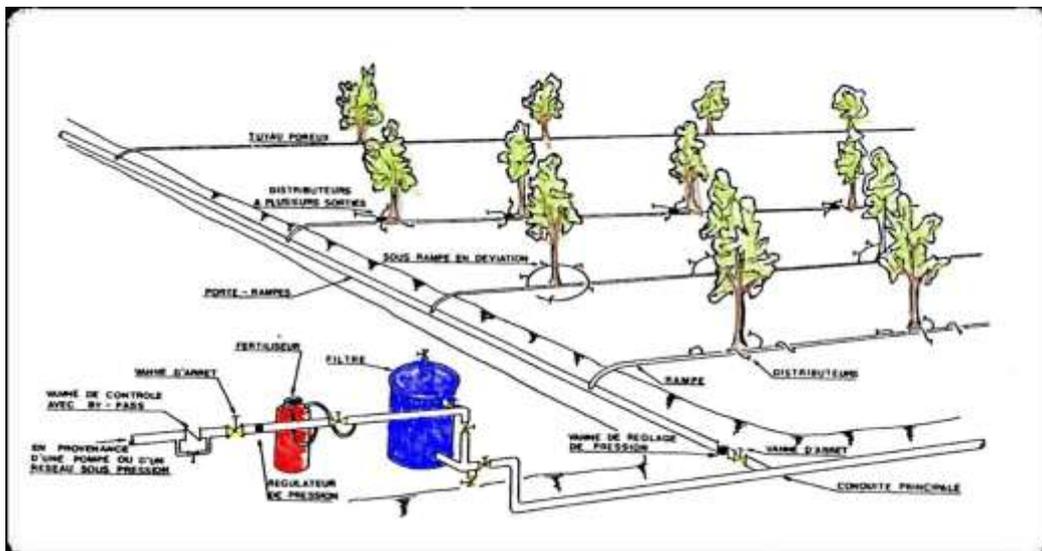


Figure III.1 : partie essentielle d'une installation localisée (El. Hali 20/02/2015. P23-p25)

II.6.2.1 -L'irrigation localisée (goutte à goutte) :

L'irrigation localisée apporte l'eau nécessaire directement au pied des végétaux. Ce sont des systèmes très utilisés en maraichage, en arboriculture et en horticulture. Le plus connu de ces principes est sans doute le «goutte à goutte », d'autres systèmes existent également tels que les tubes poreux alignés sur le sol ou mini-asperseurs. Ces derniers sont utilisés notamment en arboriculture (Messahel, 1988). L'eau est acheminée aux cultures au moyen de tuyaux munis de goutteurs et s'écoule par ceux-ci sous forme de gouttes avec un faible débit.



Figure. III.2 : Système d'irrigation localisée

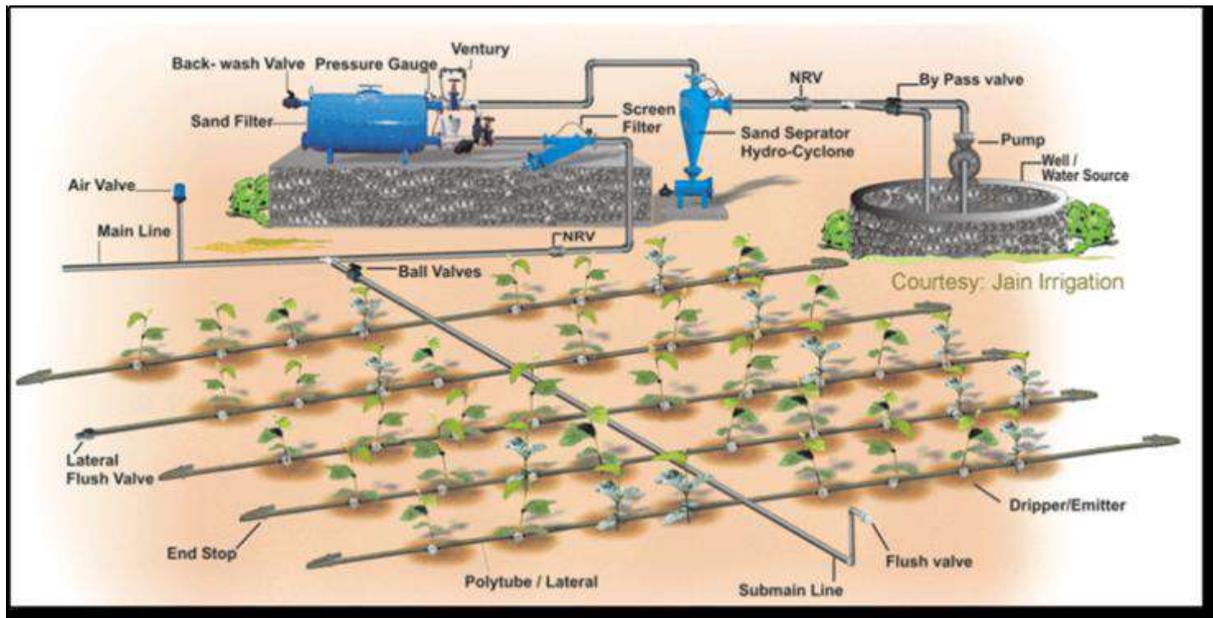


Figure Schéma d'un réseau d'irrigation goutte à goutte
(L.Aouata jan 2015).

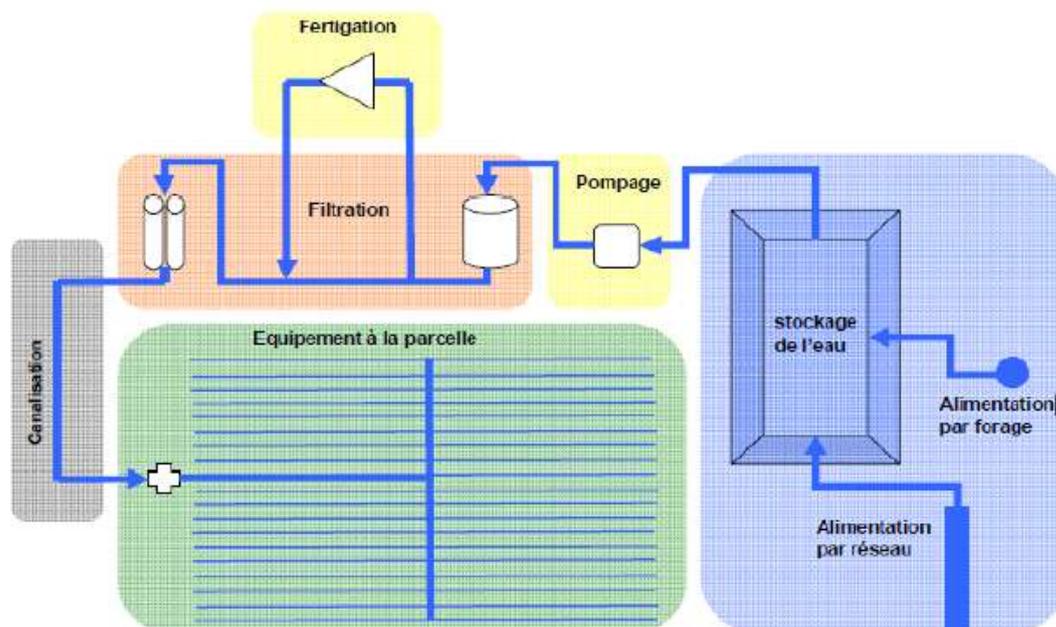


Figure : Schéma générale d'un réseau d'irrigation localisée

A-Composition d'une installation goutte à goutte

-Point de fourniture d'eau :

Une crépine filtrante peut être nécessaire si la ressource en eau, constituée par un petit barrage (lac collinaire) ou un cours d'eau, contient de la matière organique ou des particules en suspension, mais non si elle est relativement propre (Veschambre & Vaysse, 1980).

- L'unité de tête :

Cette unité est reliée au point de fourniture d'eau elle permet de réguler la pression et le débit, de filtrer l'eau et d'y introduire des éléments fertilisants. Parfois, des régulateurs de pression et des filtres secondaires sont placés en tête des portes rampes ou même des rampes. Pour introduire des éléments fertilisants, on utilise le plus souvent un réservoir que l'on remplit d'engrais solubles, azote en particulier : c'est un petit récipient sous pression avec une entrée et une sortie.

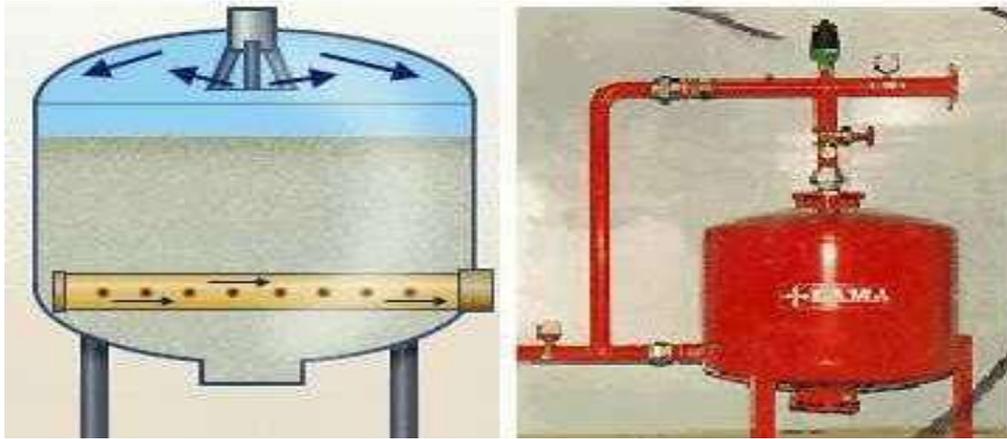


Figure III.3 :Filtre à gravie

- Conduites et rampes

La conduite principale :

C'est la conduite qui relie au point de fourniture d'eau les divers porte-rampes. Elle peut être en amiante ciment, en PVC rigide, en polyéthylène (PE) à haute densité peut également être utilisé.

-Le porte-rampes :

C'est la conduite qui alimente les rampes d'un seul côté ou des deux côtés. Ils peuvent être soit en polyéthylène moyenne densité (PE), soit en chlorure de polyvinyle rigide (PVC).

Les rampes :

Ce sont les conduites qui généralement en PEBD (polyéthylène basse densité), et sont équipés de distributeurs.

Les distributeurs y sont fixés avec un espacement prédéterminé.

Les distributeurs :

Les distributeurs constituent la partie essentielle de l'installation. C'est à partir d'eux que l'eau sort, à la pression atmosphérique, en débits faibles et réguliers (quelques l/h). Il existe de nombreux types différents, des ajutages ou des mini diffuseurs dont le débit est un peu plus important (quelques dizaines de l/h).

(L.Aouata jan 2015 p22-p28)

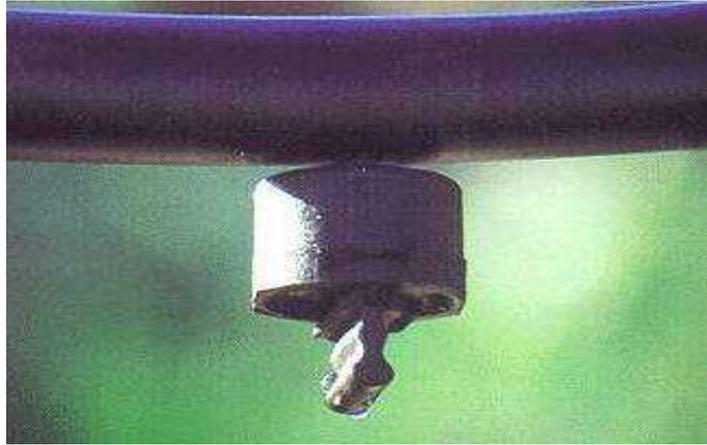


Figure IV.1: Exemple d'un goutteur

B-Différents types de distributeurs :

Goutteurs: les plus utilisés ont des débits de 2 l/h pour les cultures maraîchères et de 4 l/h pour les cultures pérennes. Gains: destinée aux cultures maraîchères, peut être utilisée pour les vergers; elles assurent conjointement un rôle de transport et de distributeur. Tubes poreux: la paroi à structure poreuse laisse passer l'eau, ils sont généralement enterrés. Mini diffuseurs: ils sont toujours placés en dérivation, fixés directement sur la rampe, Fonctionnent comme de petits asperseurs statiques ne couvrant qu'une partie de la surface du sol au voisinage des cultures.

II.7-Nécessité de l'irrigation en goutte à goutte :

L'irrigation améliore l'établissement des arbres, l'utilisation des éléments nutritifs, la surface du feuillage et la santé des arbres. il améliore également la taille et la qualité du fruit. L'irrigation goutte-à-goutte est fondée sur le concept de la prévention plutôt que le soulagement du stress hydrique.

La réponse des cultures à cette approche est positive. Les avantages de l'irrigation au goutte-à-goutte sont :

la technique est facilement automatisée;

l'arrosage peut se faire par temps venteux ou pendant la pulvérisation;

le feuillage n'est pas mouillé, ce qui réduit les problèmes de maladies;

l'eau n'entre pas en contact avec le produit, donc le risque de la salubrité des aliments lié à l'eau de qualité inférieure est réduit;

II.6.3. L'irrigation de surface :

L'irrigation de surface regroupe l'ensemble des techniques d'arrosage dans lesquelles la réparation de l'eau à la parcelle se fait entièrement à l'air libre par simple écoulement à la surface du sol. La répartition de l'eau est assurée grâce à la topographie du terrain, et aux

propriétés hydriques du sol (ruissellement, infiltration, et capillarité).

En irrigation de surface, la distinction entre les différentes techniques est essentiellement fondée sur la méthode d'application de l'eau : ruissellement, submersion ou technique mixte.

II.6.3.1. Irrigation par ruissellement :

a- Les planches de ruissellement :

On divise la surface à irriguer en bandes rectangulaires prise dans le sens de la plus grande pente. En général, la longueur des planches varie de 5 à 30 m. et leur largeur de 50 à 800 m. L'irrigation par planches convient le mieux aux pentes inférieures à 0,5 %. Cependant, les pentes longitudinales maximales des planches peuvent atteindre 4 % à 5 %.

Les sols convenant le mieux à cette technique sont les sols moyennement filtrants.

L'irrigation par planches s'applique aux cultures telles que les prairies, les céréales et les vergers. La préparation des planches est minutieuse et coûteuse et exige une main-d'œuvre qualifiée et des équipements de terrassement performants. Les pertes par percolation profonde et en colature est importante, et font remonter dangereusement le niveau des nappes phréatiques. (L.Aouata jan 2015 p22-p30)

b- L'arrosage à la raie :

Consiste à amener l'eau à la plante, par une série plus au moins dense (espacement d'environ 0,75 à 1 m.) de petits fossés à ciel ouvert à pente faible mais régulière.

Les raies sont tracées suivant la ligne de plus grande pente du terrain pour des pentes < 02 %.

Pour des pentes > 02 % les raies sont orientées obliquement par rapport à la ligne de plus grande pente. La forme des sections des raies peut être triangulaire, trapézoïdale ou parabolique avec : une Largeur de 25 à 40 cm et une Profondeur de 15 à 30 cm.

L'arrosage à la raie se pratique sur les terrains d'environ 0,5 à 4 % de pente et convient à toutes les cultures de céréales et de plantes sarclées (Maïs, Coton, Pomme de terre etc.).

L'arrosage à la raie pose de sérieux problèmes d'application de l'eau lorsque la longueur des raies devient importante (supérieure à 250 m.). Il exige une main d'oeuvre abondante et qualifiée pour la conduite des arrosages. (F.bouchemel 2020/2021 -p29-p30)

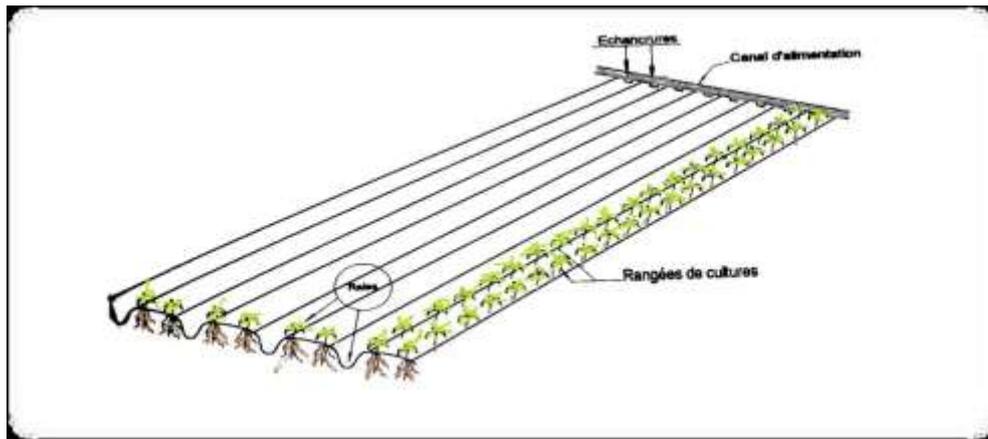


Figure IV.2: irrigation à la raie

II.6.3.2. Irrigation par submersion :

Dans la pratique de la submersion, l'eau est apportée et répandue aussi vite que possible sur l'ensemble de la parcelle à irriguer avant la phase d'infiltration proprement dite. La pratique de la submersion, nécessite l'aménagement du terrain en bassins de submersion, avec des petites digues de 30 à 40 cm. De hauteur et une revanche minimum de 10 cm.

L'irrigation par submersion est une technique d'arrosage appliquée de préférence en terrain presque plat (moins de 0,1 % de pente).

L'uniformité de l'arrosage est directement liée à trois (03) facteurs :

- 1) Faible perméabilité (terrain très peu ou moyennement perméable)
- 2) Qualité du nivellement.
- 3) Fort débit d'apport.

La nécessité du nivellement implique généralement des travaux de terrassement importants et coûteux. Ce système d'irrigation s'emploie dans les rizicultures, les pâturages, les vergers, les prairies, les céréales en ligne, mais en raison du coût du nivellement des parcelles, il est généralement réservé à des terrains plats.

L'efficacité de la technique d'irrigation en submersion se situe entre 45 et 70%, l'application d'une couche d'eau sur la surface de sol à irriguer provoque leur tassement et le rend moins perméable et par conséquent gêne l'aération du sol.

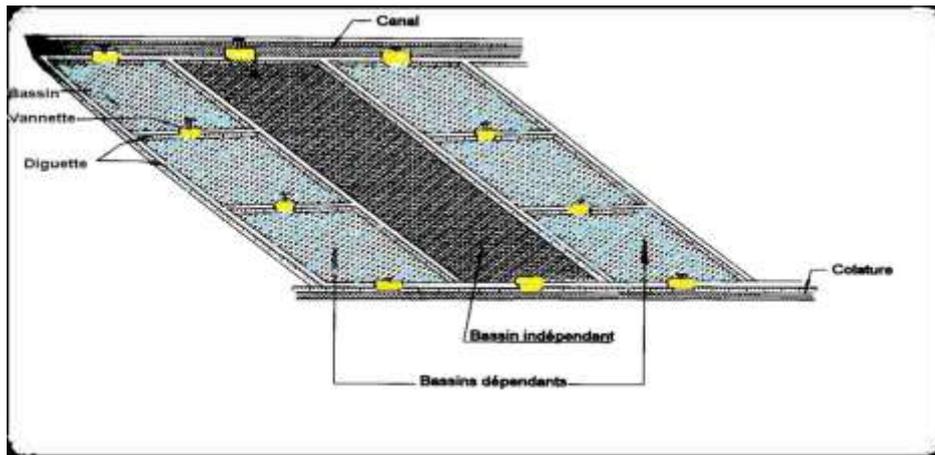


Figure IV.3: irrigation par submersion

II.6.3.3.L'irrigation mixte :

Il s'agit d'un ruissellement suivi d'une submersion. Les dispositions générales de ce mode d'irrigation sont identiques à celles que nous avons vu, mais lorsque l'eau atteint le niveau voulu dans le bassin, on continue à les alimenter en prenant soin d'évacuer les surplus.

A cet effet, les compartiments sont munis d'un déversoir arasé au niveau fixé pour le plan maximal. L'eau en excès est évacuée dans les colatures ou dans un bassin contigu.

L'avantage de ce système est que l'eau est plus aérée apporte plus de matières nutritives et présente une température plus régulière ce qui peut être intéressant pour les cultures.

Ces techniques traditionnelles restent néanmoins très utilisées, et elles ont été modernisées ces dernières années.

La modernisation de ces techniques d'irrigation par planche et par bassin peut consister en plusieurs points:

- Etancher le canal qui distribue l'eau en tête de parcelle.
- L'équiper de vannes de régulation pour irriguer successivement les différents bassins
- Automatiser l'ouverture et la fermeture des différentes vannes
- Recouvrir les canaux de distribution, les remplacer par des canaux préfabriqués ou encore les enterrer sous terre.

Conclusion :

Malgré ces techniques, l'efficacité de l'irrigation est à déplorer. Il est indispensable de pratiquer d'autres techniques plus efficaces et peu consommatrices d'eau, en particulier dans le cas des zones semi-arides et arides, dont le potentiel de ressources en eau mobilisées est faible. La recherche et l'expérimentation de nouvelles techniques d'irrigation économiques en eau est indispensables pour mieux intensifier l'agriculture en zones arides.

Le choix du type du système d'irrigation le mieux adapté sera l'aboutissement d'un compromis raisonné entre plusieurs exigences, d'abord technique puis économique. Par conséquent, il faut que celui qui a la responsabilité de ce choix soit bien informé:

- des besoins en eau à satisfaire.
- des exigences imposées par la nature du sol et par le type de culture.
- des pratiques culturales.
- de la qualité de l'eau d'irrigation.
- de la configuration des parcelles à irriguer.

III .Caractéristiques et classifications des sols :

1.Définition d'un sol :

Le sol provient en général de l'altération de la roche mère sous-jacente, appelée sous-sol. La pédologie décrit les différents types de sols ainsi formés, en distinguant la couche arable et le sol sous-jacent. L'agriculteur travaille la couche arable, plus riche en matières organiques. L'horizon sous-jacent, entre la couche arable et la roche mère, contribue aussi à la nutrition de la plante en éléments minéraux et en eau. L'agronomie s'intéresse à ces deux horizons à travers le profil cultural.(BabaAhmed,2012.

I. Principaux composants du sol

Le sol est un système complexe formé de très nombreux composants minéraux et organique soumis à des phénomènes physique, chimique et biologique en constante interaction. Il comprend :

- Une fraction minérale :

Faite de fragments de roche issus du sous sol comprenant, du plus fins au plus gros, des argiles, des limons, des sables, et d'ions comme les anions phosphate, (PO_4^{3-}), sulfates (SO_4^{2-}) et le nitrate (NO_3^-). Les silicates tels les argiles, constituent 95% des roches de la croûte terrestre ; quant au grain de sable, il s'agit d'un cristal de quartz, forme cristalline de la silice.

- Des organismes vivants :

Racines, champignons, invertébrés, quelques vertébrés et une multitude de micro-organismes qui transforment la matière minérale.

- De l'humus :

Matière organique en cours de minéralisation essentiellement issue de la feuille morte, cadavres, excréments.

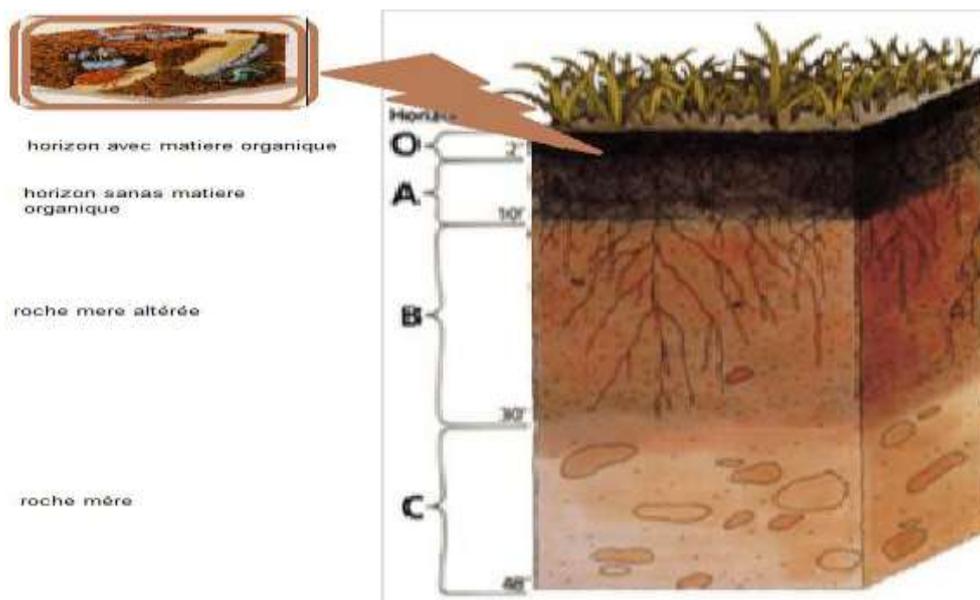


Figure IV.5 : Description d'un sol (F.bouchemel 2020/2021 -p33-p34)

I. Composition du sol :

Le sol est composé de :

1. Végétation:

En surface, la litière constituée des feuilles mortes encore identifiables avec beaucoup d'air, abritent plantes et animaux vivants.

2. L'humus :

Une terre noire et souple, riche en matières organiques. L'humus désigne la matière issue de la décomposition de matières organiques brutes comme les feuilles, les branches et les tontes de gazon qui s'accumulent à la surface du sol. Cette décomposition réalisée par les organismes du sol rend au sol des nutriments vitaux que les végétaux peuvent utiliser.

3. La couche arable : La couche dite arable que l'homme peut travailler : mélange riche en humus et en minéraux.

4. Le sous sol : Généralement pauvre en humus, avec peu de traces de vie.

5. La roche mère :

100% minérale, sans air, sans vie



Figure IV.6 Schéma d'un profil de sol (image Google) (S.Terchi sep 201)

Structure du sol : La structure d'un sol fait référence à la façon dont les particules de sable, de limon et d'argile sont disposées les unes par rapport aux autres. Dans un sol bien structuré, les particules de sable et de limon sont liées en agrégats (petites mottes) par l'argile, l'humus et le calcium. Les grands espaces vides entre les agrégats (micropores) permettent à l'eau et à l'air de circuler et aux racines de s'enfoncer dans le sol. Les petits espaces vides (micropores) retiennent quant à eux l'eau dont les plantes ont besoin. Cette structure « idéale » est appelée structure grumeleuse.

La structure grumeleuse comporte de nombreux avantages :

Une bonne rétention de l'eau et des éléments nutritifs ,

- Une bonne aération.
- Un bon drainage.
- Un travail facile du sol.
- Un bon développement du système racinaire des végétaux.
- Un réchauffement rapide du sol au printemps.
- Une bonne activité biologique du sol.
- Une bonne résistance à l'érosion et à la compaction.

Les sols argileux, sableux et limoneux présentent rarement une structure idéale. On peut toutefois les améliorer en incorporant des amendements.

Différentes :

structures du sol :

1.Sols sableux : On améliore la structure des sols sableux en les amendant régulièrement avec de la matière organique sous forme de engrais . Il est préférable d'incorporer ces amendements au début du printemps, Parce que le travail du sol sablonneux à l'automne favorise l'érosion.

2. Sols argileux :

On améliore la structure des sols argileux par des apports en matières organiques sous forme de compost ou de fumier composté. Ces amendements sont préférablement incorporés à la fin de l'automne. Les sols argileux mal drainés peuvent aussi être amendés avec une terre sableuse. Certains sols argileux sont très riches en sodium, ce qui nuit à l'agrégation des particules minérales. Il est possible d'améliorer la structure de ces argiles sodiques en y incorporant du gypse (si leur pH est neutre ou alcalin) ou de la chaux (si leur pH est acide).

3. Sols limoneux :On améliore le drainage et l'aération des sols limoneux par des apports importants de matières organiques, sous forme de compost ou de fumier composté. Il est préférable d'incorporer ces amendements à la fin de l'automne.

I.5-Macro pore : Les pores quison trop grands pour avoir une force capillaire significative. Ces pores sont remplis d'air à la capacité au champ. Les macro-pores peuvent être causés par la fissuration, division de pieds et des agrégats, ainsi que les racines des plantes, et l'exploration zoologique, Leur est taille est supérieure à 75 um.

I.7- L'eau dans le sol :

Sous un climat, l'apport d'eau au sol se fait sous forme de pluie, neige, rosée et brouillard Toute l'eau des précipitations n'atteint pas le sol: une part est évaporée directement pendant et après la pluie; les gouttes peuvent être interceptées en partie par le feuillage. L'eau qui atteint le sol ruisselle, s'infiltré et ré humecte le sol. Les racines absorbent cette eau que la tige et les feuilles évaporent par transpiration. Une fraction réduite finalement gagne la profondeur et

atteint la nappe. Un profil habituel de la quantité d'eau contenu dans une coupe du sol et du sous-sol montre une augmentation de la teneur en eau avec la profondeur (Hillel, 1988).

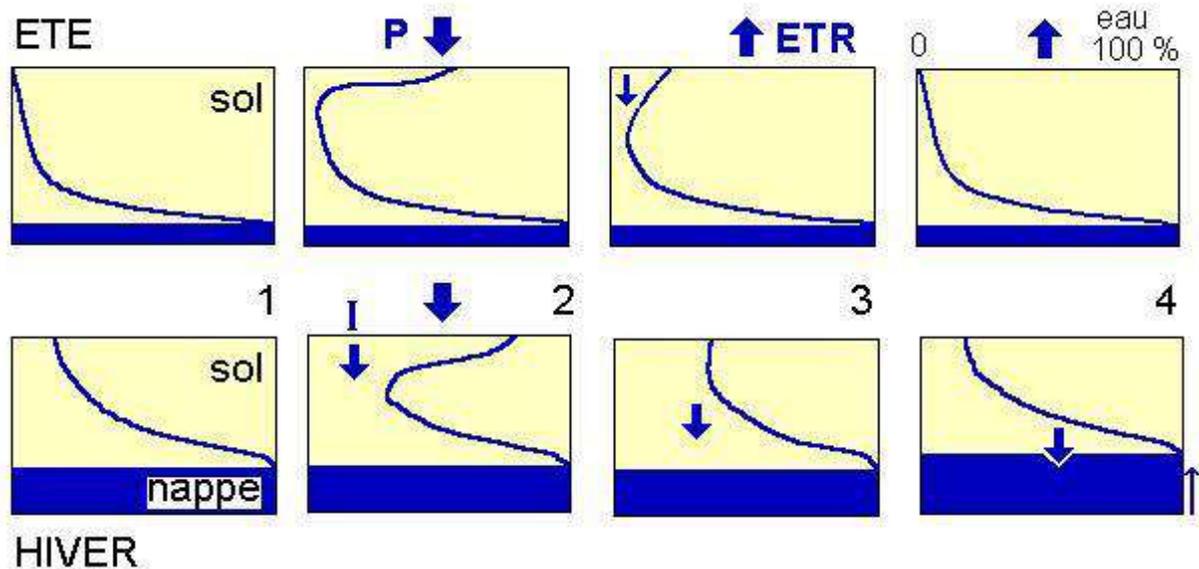


Figure IV.7: teneur en eau dans le sol et le sous-sol. Jacques Beauchamp

La teneur en eau est fonction de la porosité et de la perméabilité du sol. Le volume maximal d'eau qu'un sol peut retenir est la "capacité au champ" qui dépend essentiellement de la granulométrie du sol. Près de la surface, le sol n'est pas saturé, les espaces vides contiennent de l'eau et de l'air; l'eau est soumise aux forces de gravité et de capillarité. A partir d'une certaine profondeur, la teneur en eau n'augmente plus: le sol est saturé, tous les pores du sol sont remplis d'eau: cette zone saturée forme une nappe; les forces de gravité sont prédominantes. L'eau du sol ne représente que 0,064% de l'eau douce totale; son rôle est cependant essentiel puisque c'est l'eau qu'utilisent les racines des plantes. La réserve en eau assure la quasi-totalité des besoins en eau de la plante. L'eau dissout les éléments nutritifs pour constituer la solution du sol qui est absorbée par les racines. Plus la texture d'un sol est fine, plus sa réserve en eau est élevée. La part de l'eau qui s'infiltré dans le sol est d'autant plus importante que la surface offre plus d'obstacles au ruissellement et que la structure du sol est plus grossière. L'eau d'infiltration se charge sur son passage en oxygène, gaz carbonique et sels minéraux. Une partie de l'eau du sol est prélevée par la plante pour son alimentation mais aussi pour compenser les pertes par évapotranspiration au niveau des feuilles. Une autre partie de l'eau d'infiltration peut être perdue par drainage, durant les périodes humides ou en cas d'irrigation mal conduite, entraînant des pertes d'éléments minéraux. Une autre partie de l'eau du sol peut être perdue par transpiration par les feuilles ou par évaporation à la surface du sol, qui peut être réduite par paillage ou brise-vent. (UNIFA,2005).

I.7.1-Définition du potentiel de l'eau :

Le potentiel de l'eau se définit comme la quantité d'énergie contenue dans une quantité unitaire d'eau. L'état énergétique, ou potentiel total, de l'eau dans le sol se décompose en énergie potentielle de position dans un champ de force et en énergie cinétique due à la vitesse de déplacement du liquide. Cette dernière, généralement faible dans les sols, est négligeable devant le terme d'énergie potentielle. On considère donc que le terme "énergie potentielle", ou "potentiel", suffit à décrire l'état énergétique de l'eau dans le sol.

I.7.2- Le bilan hydrique du sol :

Le suivi du bilan hydrique des sols est une opération complexe car il n'existe pas actuellement d'appareil simple pour mesurer le volume d'eau du sol. Il y a bien la sonde à neutrons, appareil précis mais d'une manipulation délicate. Son principe repose sur l'émission de neutrons par une source radio l'émission de neutrons par une source radioactive et la réception des particules par les molécules d'eau (Hillel, 1988). La quantité d'eau contenue est fonction du rapport neutrons reçus sur neutrons émis. En étude de routine, on préfère calculer la réserve d'eau du sol à partir des données élémentaires fournies par les stations météorologiques: pluviométrie, température et humidité de l'atmosphère, vitesse du vent, insolation. Le régime des précipitations au cours de l'année est exprimé conjointement avec la température moyenne mensuelle sous forme de diagrammes ombrothermiques. Par convention, l'échelle des températures en °C est doublée par rapport à celle des précipitations exprimée en mm.

II. caractéristiques du sol ;

Le sol comporte trois phases : une phase solide (qui est minérale et organique) , une phase liquide ou solution du sol (qui correspond à l'eau et aux éléments dissous), et une phase gazeuse (composé principalement de l'oxygène, de méthane , de d'ioxyde de carbone) . Le

sol est d'abord caractérisé par une texture et une structure qui va fortement conditionner ses propriétés physiques et chimique, notamment celle liées à l'eau.

II.1 La texture :

La texture du sol est caractérisée par la taille et la distribution des particules. La composition granulométrique du sol permet de déterminer sa texture. La composition s'exprime en

pourcentage des trois principales fractions minérales 2 mm de diamètre. La texture du sol est une propriété constante dans le temps et peu variable spatialement (Baize et Jabiol, 1995).

Tableau II.1 : Echelle granulométrique de la texture du sol

Terre fine						Terre grossière
argile	Limons fins	Limons grossiers	Sable fins	Sable grossiers	Graviers	Cailloux
	2µm à 20 µm	20 µm à 50 µm	50µm à 200µm	200µm à 2mm	2mm à 20mm	

Source: (U.S.D.A., 1996).

Certains spécialistes, notamment agronomes et pédologues, savent déterminer approximativement, après humidification, si le sol est plutôt argileux, limoneux ou sableux.

En effet, l'argile colle aux doigts au toucher, le limon est doux et le sable rugueux.

Pour déterminer plus finement la texture on évalue au laboratoire pour un échantillon de sol la teneur en sable, en argile et limon. En suite on utilise un diagramme qui permet de déterminer la classe texturale du sol. (fig II.2)

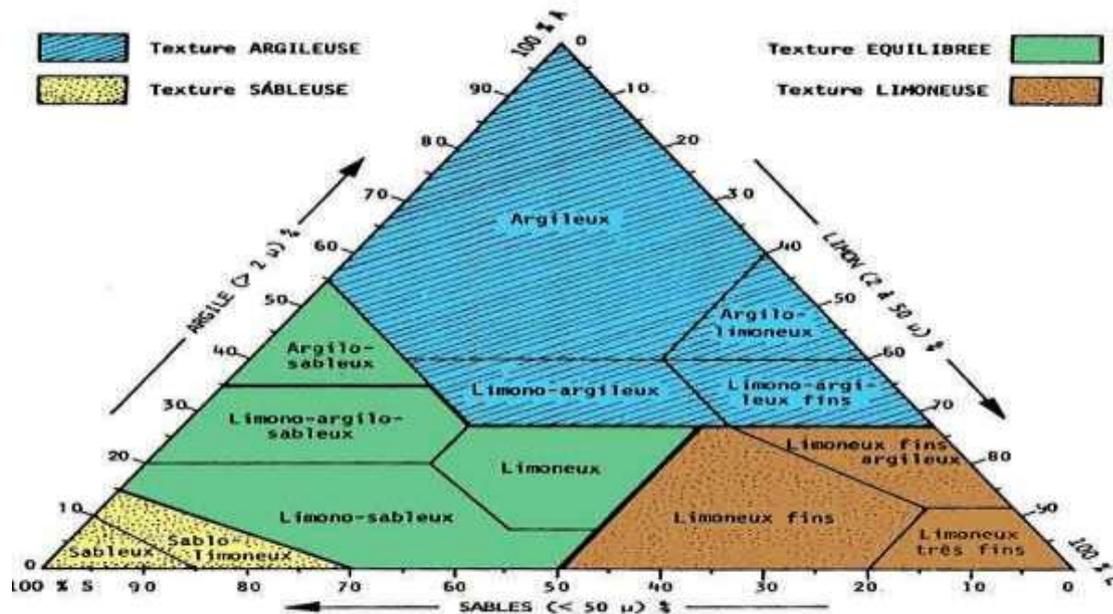


Figure IV.8: le triangle textural

La texture joue un rôle essentiel dans la rétention de l'eau du sol et des échanges avec les racines des plantes.

II.2 la structure :

La structure du sol est déterminée par l'organisation des agrégats des éléments minéraux et organiques, qui donnent lieu à la matrice poreuse du sol, au sein de laquelle ont lieu les écoulements d'eau (Carrillo-Avila, 1995).

La structure résulte de processus biologiques, chimiques et physiques, est donc une propriété variable temporellement et spatialement, et peut changer avec la teneur en eau ou d'autres paramètres (Oades, 1993). Parmi les agrégats du sol, on peut distinguer les particules primaires libres (sable, limon ou argile), les micro-agrégats (diamètre < 250 μm) et les macroagregats (diamètre > 250 μm). Le mode d'assemblage des constituants du sol à un moment donné résulte une structure qui influe sur la fertilité du sol, elle peut conditionner la circulation de l'air et l'eau et l'enracinement dans les vides (porosité) qu'elle délimite.

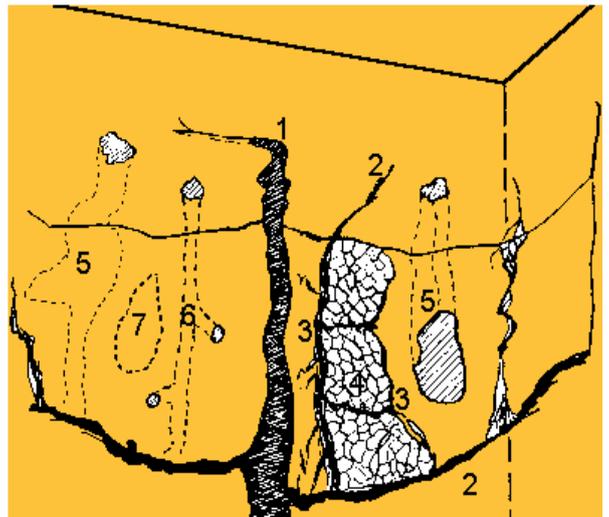
Tableau II.2 : Les différentes structures du sol et leurs propriétés

Structure	Texture	Complexe argilo-humique	Propriétés
Particulaire	Eléments grossiers (sable)	Peu nombreux	faible rétention d'eau. - porosité élevée. - faible rétention d'ions.
Compacte	Eléments fins (argiles, limons fins)	Peu nombreux	- forte rétention d'eau. - porosité faible, résistance à la pénétration des racines. - faible rétention
Fragmentaire	Mixte	Très nombreux	- forte rétention d'eau. - bonne porosité, bonne pénétration des racines. - forte rétention d'ions.

II.2.1 Porosité :

La teneur en eau est fonction de la porosité et de la perméabilité du sol. Le volume maximal d'eau qu'un sol peut retenir est la "capacité au champ" ou capacité de rétention du sol qui dépend essentiellement de la granulométrie du sol. Près de la surface, le sol n'est pas saturé, les espaces vides contiennent de l'eau et de l'air; l'eau est soumise aux forces de gravité et de capillarité. A partir d'une certaine profondeur, la teneur en eau n'augmente plus: le sol est saturé, tous les pores du sol sont remplis d'eau: cette zone saturée forme une nappe; les forces de gravité sont prédominantes; son rôle est cependant essentiel puisque c'est l'eau qu'utilisent les racines des plantes.

- (1) grosse crevasse déterminant la structure.
- (2) crevasse de 2ème ordre délimitant les agrégats
- (3) fissures fines déterminant la sous-structure
- (4) canalicules de faible diamètre
- (5) grosse lacune traversant les agrégats
- (6) lacune tubulaire creusée par un lombric
- (7) lacune aveugle.



III. L'eau dans le sol :

III.1 Etats de l'eau :

Sous nos climats, l'apport d'eau au sol se fait sous forme de pluie, neige, rosée et brouillard. Toute l'eau des précipitations n'atteint pas le sol: une part est évaporée directement pendant et après la pluie; les gouttes peuvent être interceptées en partie par le feuillage. L'eau qui atteint le sol ruisselle, s'infiltré et ré-humecte le sol. Les racines absorbent cette eau que la tige et les feuilles évaporent par transpiration. Une fraction réduite finalement gagne la profondeur et atteint la nappe. Un profil habituel de la quantité d'eau contenu dans une coupe du sol et du sous-sol habituel de la quantité d'eau contenu dans une coupe du sol et du sous-sol montre une augmentation de la teneur en eau avec la profondeur.

L'eau peut se trouver dans plusieurs états à l'intérieur d'un sol, suivant l'intensité des forces liant ses molécules aux particules solides (Fig.II.4). On distingue [9], [10], [11] :

- Eau de constitution, qui entre dans la composition chimique des minéraux dont les particules de sol sont formées.
- Eau liée ou absorbée, à la surface des grains très fins, qui est orientée par les forces d'attraction moléculaire et les forces électrostatiques ; elle a une viscosité élevée et ne transmet pas les pressions.
- Eau libre, qui circule librement dans les pores du sol sous l'effet des forces de pesanteur.
- Eau capillaire, qui est, dans les sols non saturés, en présence d'air ou d'autres gaz, est retenue dans les canaux les plus fins du sol par les forces capillaires.

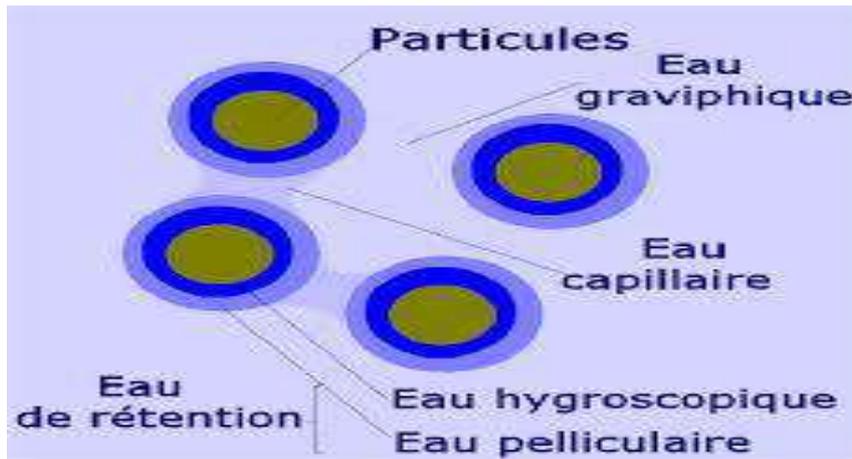


Figure IV.9: Etats de l'eau dans le sol

III.1.1.2 Transport de l'eau dans le sol : (hydrodynamique du sol)

a. Les équations particulières du transport d'eau :

Le transport de l'eau dans le sol et dans les substrats géologiques, d'une façon générale dans les milieux poreux naturels, est décrit par plusieurs équations qui sont des applications des lois générales. Elles reposent sur des hypothèses simplificatrices qui néanmoins de décrire le transport de l'eau avec une approximation suffisante pour beaucoup d'utilisation pratiques. ces équations sont :

L'équation de Darcy qui relie le flux de liquide qui traverse un milieu poreux saturé en eau au gradient de pression hydrostatique appliqué au milieu.

L'équation de Darcy-Buckingham qui est la généralisation de l'équation de Darcy aux milieux non saturés en eau.

b. la conductivité hydraulique :

Les équations précédentes contiennent une grandeur fondamentale pour la description du transport de l'eau, la conductivité hydraulique (k). c'est un coefficient qui dépend des propriétés du milieu poreux ou l'écoulement a lieu (granulométrie, forme des grain, répartition et forme des pores, porosité intergranulaire). Elle s'exprime en fonction des propriétés intrinsèques du milieu poreux et du fluide :

$$K = \frac{k \cdot \rho \cdot g}{\mu}$$

Avec :

K : la perméabilité intrinsèque du milieu poreux (m^3),

μ : la masse volumique du fluide (kg/m^3),

g : l'accélération de la pesanteur (m/s),

μ : la viscosité dynamique du fluide

Notons que Darcy a exprimé la conductivité hydraulique K à partir d'un perméamètre rempli avec du sable, dans lequel seul la perméabilité verticale a été examinée. Or, dans les sols, l'eau se déplace dans trois directions de l'espace et cette conductivité hydraulique K n'est pas la même dans toutes les directions de l'espace : l'anisotropie comme hétérogénéité sont des propriétés incontournables qu'il faut prendre en compte.

Les variations de potentiel de l'eau dans le sol sont le moteur des écoulements, leur intensité est aussi déterminée par la capacité du sol à se laisser traverser par l'eau, c'est-à-dire par sa conductivité hydraulique k . Elle est fortement dépendante du taux de saturation en eau de sa porosité, c'est-à-dire de sa teneur en eau .

1. La fertilité physique :

Elle est essentiellement déterminée par trois caractères :

Sa porosité qui détermine les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère et la circulation de l'eau. On distingue la macroporosité, qui doit être suffisante pour éviter les engorgements, et la microporosité qui doit être assez importante pour assurer une réserve d'eau facilement mobilisable.

Sa structure un horizon sera d'autant mieux colonisé par les racines et la faune du sol que sa structure est fine et peu consistante. Cette structure est favorisée par la présence de matière organique, un milieu neutre ou légèrement basique et une bonne structuration du complexe adsorbant du sol par le calcium.

Sa stabilité structurale : c'est-à-dire sa résistance à la destruction par l'eau. Une bonne stabilité permet de réduire la dégradation de la structure. Une mauvaise stabilisation structurale se traduit souvent par l'apparition des zones tassées, qui pénalisent la prospection du sol par les racines. On parle alors des risques importants de prise en masse et d'apparition de semelles et croûtes de battance.

Sa texture, résultant de la composition granulométrique, est également une composante déterminante de la fertilité physique du sol.

Ainsi, par exemple, la prédominance des limons par rapport aux sables et argiles augmente les risques d'instabilité structurale.

2.La fertilité chimique :

Le sol est une réserve de substances nutritives qui proviennent de l'altération de la roche mère, de la décomposition de la matière organiques et de l'atmosphère.les racines puisent dans la solution du sol les éléments majeurs (Ca, N, P, K, Mg....) et les oligoéléments, la composition de la solution étant régulée par le complexe Argilo-humique (CAH) du sol. C'est un effet le CAH du sol, dont l'importance varie en fonction des teneurs en argile et en matière organique, qui va permettre la mise en réserve ou la libération des éléments nutritifs pour les racines.

Tous les raisonnements d'apport éventuels d'élément nutritifs doivent donc être raisonnés en fonction des besoins de la culture bien sur, mais aussi en fonction de la taille du CAH du sol, en général mesurée par la capacité d'échange cationique (CEC).

3 La fertilité biologique :

Le sol est un milieu vivant. Il abrite partiellement de nombreuses espèces animales et végétales ; de nombreux cycles biologiques passent par le sol. La plupart des réactions ayant lieu dans le sol ne sont pas purement chimique mais biochimique.

L'activité biologique du sol permet :

La formation des pores (galerie créés par les racines, vers de terre....) et d'agrégats (dépôts de déjection dans le sol et la surface du sol).

La dissolution des minéraux issus de roche (ca, Mg, Fe, P) et la fraction de nombreux minéraux.

Conclusion :

Au terme de ce chapitre, on vient de souligner l'importance de la qualité d'un sol dans le cas d'une éventuelle exploitation hydro-agricole.

En effet, un bon sol est dit sol fertile d'une part, et même avec sa fertilité le rendement d'une parcelle peut être différent selon le type de la récolte. Et afin d'améliorer ce rendement agricole il faudrait se pencher à l'étude des caractéristiques du sol et de ses principaux composants. Chose que nous avons traité au cours de ce chapitre.

Chapitre II

Matériel et méthodes

1. Description de la zone d'étude :

La plaine en question est située dans la partie Nord-Est de l'Algérie et elle fait partie de la zone Est de la wilaya de Guelma. Cette région est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes :

L'une humide et l'autre sèche. Cette plaine est drainée par l'oued Seybouse et son effluent principal l'oued Mellah. La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 623.9 mm et la température moyenne est de 18.6°C. D'après le bilan de Thornthwaite, l'évapotranspiration réelle est de l'ordre de 460.2 mm/an représentant 73.75% des précipitations, ce qui fait une valeur du déficit agricole de 496 mm/an. Le ruissellement (**eq.1**) et l'infiltration (**eq.2**) sont calculés par la relation de **Tixeront-Berkalof** et celle du bilan global respectivement:

$$R = \frac{1}{3} P_3 \quad (1)$$

$$I = P - ETR - R \quad (2)$$

Le ruissellement est de l'ordre de 80.9 mm/an (13%) d'où l'infiltration est égale à 82.8 mm/an (13.2%) [10].

La géologie de la région est représentée par trois formations principales, les dépôts alluvionnaires du Quaternaire qui ont une importance capitale pour l'hydrogéologie de la région avec leur perméabilité et les deux formations imperméables ou semi-perméables restantes constituent les frontières des réservoirs naturels. Ces formations sont représentées par les grès Numidiens et les formations Triasique [11]. Les dépôts alluvionnaires constituent des réservoirs d'eau souterraine qui sont drainés par l'oued Seybouse et son affluent oued Mellah.

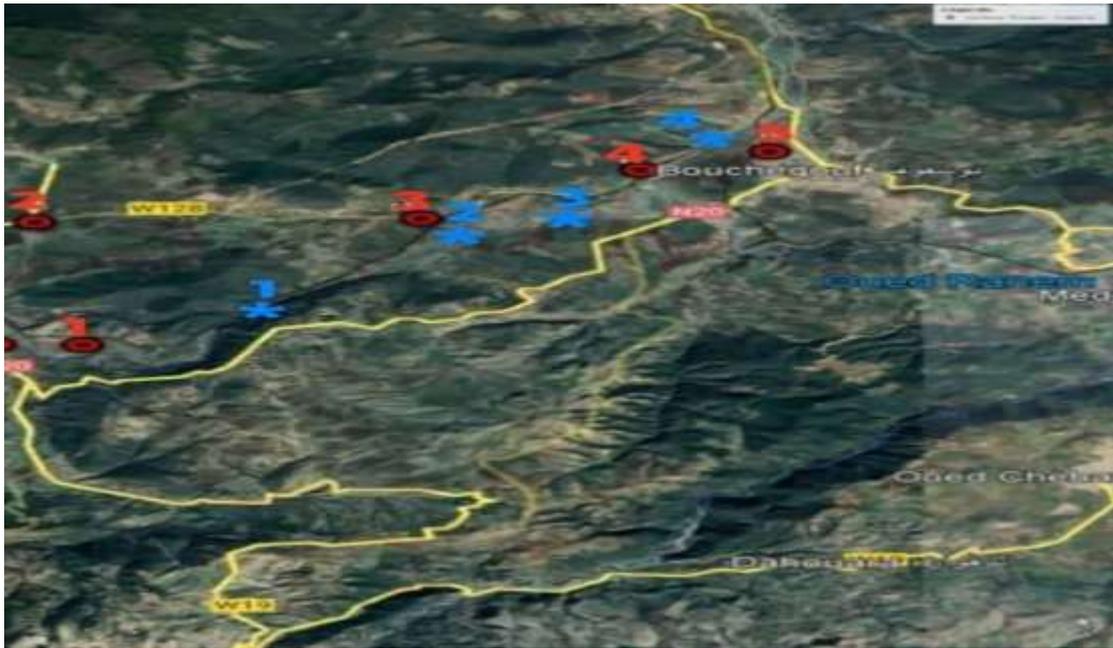


Figure01 : site d'étude des prélèvements d'eau et du sol (les points en bleu pour l'eau et les points en rouge pour le sol)

1. Étude géomorphologique :

L'étude des différentes caractéristiques morphologiques et l'analyse hydrologique constituent une plateforme pour une meilleure compréhension du comportement hydraulique des bassins.

Cette région présente des différentes formes géomorphologiques qui dépendent à leur tour des conditions géologiques et de la tectonique.

2. L'Orographie et Hydrographie:

2.1. Zone de montagnes :

La région de Boucheqouf est montagneuse, d'altitude moyenne d'environ 500m, son aspect correspondant à la monotonie des formations géologiques qui le constituent. Les 9/10e du territoire sont formés par les argiles et grès du Numidien ; ce sont eux qui donnent les immenses étendus forestières des Béni Salah et des Ouled Bechia. Sur le bord occidental, l'oued Seybouse traverse en cluse ces formations numidiennes. L'altitude du fond de sa vallée varie entre 29 et 107 m, en amont du confluent de l'oued Mellah. On trouve une série de terrasses alluviales étagées jusque vers 150 m. Celles-ci sont particulièrement développées entre Boucheqouf et Boudaroua. Dans le coin Sud-ouest, à l'intérieur de l'angle formé par l'oued Seybouse et l'oued Mellah se trouve l'extrémité septentrionale du grand dôme triasique du djebel Nador Hammam N'bails (**Nouacer, 2004**).

2.2. Présentation du bassin de la Seybouse (au niveau de Bouchegouf):

La Seybouse, sur son parcours de 160 km à la mer, draine une superficie globale de 6471km² (A.Ghachi, 1982).

2.2.1. Plaine de Bouchegouf :

La plaine de Bouchegouf est séparée du bassin de Guelma par les gorges du Nador, la perméabilité importante des terrasses alluvionnaires est soutenue surtout par les apports induits des Oueds Mellah et Seybouse.

Avant de se jeter dans la Seybouse, l'Oued Mellah draine une superficie de 552 km², caractérisée par une morphologie très accidentée et une lithologie diversifiée de terrains avec une prédominance de Trias gypsifères qui se développe en diapir de Hammam N'bails au Sud à Nador et Bouchegouf au Nord.

2.2.2. Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique de la zone d'étude est caractérisé par la Seybouse et l'oued Malleh.

Présentation du périmètre d'irrigation :

Le périmètre d'irrigation de Guelma-Bouchegouf dispose d'une superficie équipée de 9940 ha et d'une superficie irrigable de 9250 ha. Il a été conçu de manière à utiliser au maximum la ressource en eau dont dispose la wilaya de Guelma. Celle-ci est sillonnée par un réseau hydrographique très important pour valoriser les terres des plaines de Guelma et de Bouchegouf.

Le périmètre s'étend sur 80 Km environ depuis la confluence des oueds Bouhamdane et charef. Donnant naissance à l'oued Seybouse jusqu'au nord de Drean.

Ressources en eau :

L'alimentation en eau de ce périmètre est assurée par :

Le barrage de Hammam Debagh : 55 millions m³.

Les apports non régularisés de l'oued Seybouse : 16 millions m³.

Mode d'irrigation :

Les réseaux du périmètre sont conçus pour assurer une irrigation par aspersion à la demande, mais actuellement le secteur de Guelma objet de notre diagnostic est irrigué au tour d'eau.

➤ L'objectif du travail :

Notre travail consiste à déterminer la qualité des eaux d'irrigation prélevés de l'oued Seybouse et leurs impact sur la qualité du sol agricole et sa fertilité.

3. Echantillonnage :**-Prélèvement des échantillons d'eau**

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate, l'échantillon d'eau doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Les échantillons d'eau destinés aux analyses physico-chimiques ont été prélevés dans des bouteilles en plastique de 1,5 l. Les échantillons d'eau sont transportés sous froid dans une glacière iso thermique dans le but de ne pas modifier les caractéristiques physico-chimiques de cette eau. Les échantillons d'eau sont acheminés au laboratoire pédagogique de microbiologie, ou ils feront l'objet de suivi les analyses physico-chimiques.



Figure02 : échantillon d'eau utilisé en irrigation.

-Prélèvement des échantillons de sol

Et les échantillons de sol ont été prélevés dans des boites en plastiques pour les premiers cinq échantillons et les autres cinq échantillons prélevés par le cylindre on les met dans le papier aluminium. Les échantillons de sol sont transportés dans des sacs en plastique. Par contre les paramètres physico-chimiques des échantillons de sol ont été effectués au sein du laboratoire d'animalerie de notre faculté.



Figure03 : échantillon de sol



Figure04 : échantillon de sol
prélevé par le cylindre de Burger

.1.1 - Le dispositif de prélèvement :

Les prélèvements manuels sont effectués à l'aide d'une tarière (coût faible, profondeur très réduite, rapidité)



Figure 2: Outil de prélèvement des échantillons de sol-Tarière

I.1.2 - Le protocole d'échantillonnage :

Il n'existe pas de mode opératoire valable en toute circonstance. Toutefois les étapes fondamentales de tout protocole sont les suivantes :

- Enregistrement des données susceptibles d'influencer le prélèvement (Conditions climatiques, température, localisation, description du site ...),
- Collecte de l'échantillon dans un récipient de collecte en adéquation avec les analyses prévues et la description de l'échantillon.



Les prélèvements portent sur trois horizons : 0-30cm ;30-60cm ;60-90cm



Figure 3: les trois horizons des prélèvements des échantillons de sol

- conservation idoine de l'échantillon,
- stockage et transport





Figure4: la conservation et le stockage des échantillons de sol.



Figure 5: Numérotation des échantillons de sol

- Préparation des échantillons pour le séchage ;
- Séchage des échantillons à l'air ambiant ou dans une étuve à 37 °C jusqu'à ce qu'ils soient secs (2 à 5 jours)



Figure 6: Séchage des échantillons de sol à l'air ambiant

- □ Enlèvement des échantillons sec, les roches et les débris végétaux, puis broyage et tamisage de ces derniers à 2 mm;



Figure 7: broyage et tamisage des échantillons de sol à 2 mm

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

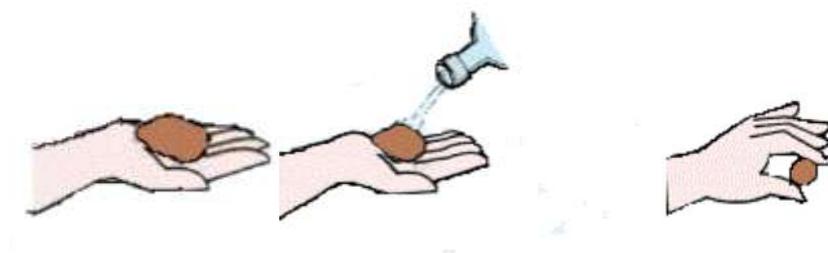


Figure 8: les sous-échantillons des sols

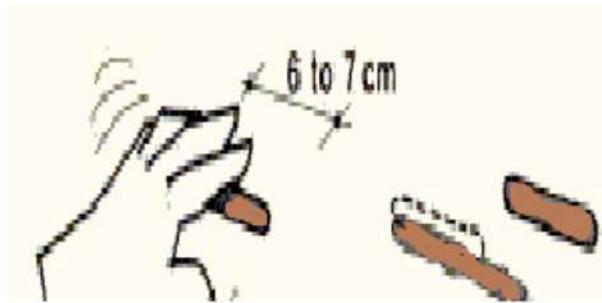
I.2 - La Texture des sols :

La texture indique l'abondance relative, dans le sol, de particules de dimensions variées: sable, limon ou argile. De la texture dépendent la facilité avec laquelle le sol pourra être travaillé, la quantité d'eau et d'air qu'il retient et la vitesse à laquelle l'eau peut entrer et circuler dans le sol.

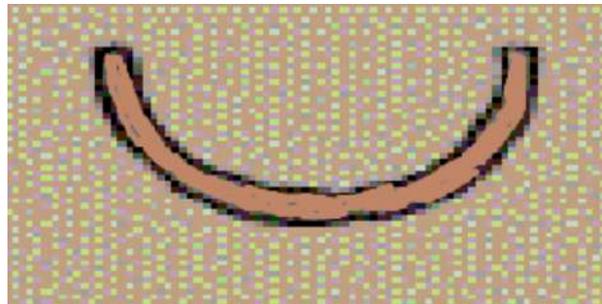
- On prend une poignée de sol à l'état plastique "pâte à modeler" en y ajoutant si besoin un peu d'eau et bien malaxer cette pâte pour y détruire toute agrégation naturelle des particules du sol ;



- On prend un volume de l'ordre d'un haricot de cette pâte et on le serre fermement entre pouce et index en faisant glisser nos deux doigts l'un contre l'autre. On observe le comportement de cet échantillon au fur et à mesure de son dessèchement entre les doigts
- On roule la boulette et on lui donne la forme d'une saucisse de 6 à 7 cm de long ;



- Si elle ne garde pas cette forme, c'est un sable limoneux ;
- On essaye de courber « la saucisse » en demi-cercle ;
- Si on n'y parvient pas, c'est un limon ;



- Si on y parvient, sans que « la saucisse » se fissure, c'est une argile

I.3 - Salinité des sols par conductivité électrique :

La mesure de la conductivité électrique traduit la concentration de sels solubles contenus dans le milieu. Elle donne une estimation de la salinité du sol. Une conductivité électrique élevée indique une forte concentration en sels dans la solution du sol, ce qui augmente la pression osmotique dans la zone racinaire et entraîne une incapacité des racines à absorber l'eau. Certains sels sont nocifs ou toxiques pour les plantes quand ils sont en grande quantité dans la solution du sol (Bore, sodium chlorures). La détermination de la salinité d'un sol est fondée sur le principe de l'extraction d'un électrolyte dont on mesure la concentration en éléments dissous par diverses méthodes (résidus sec, bilan ionique) : On pèse 10g de terre. On les verse dans un flacon d'agitation puis on ajoute 50ml d'eau distillée et on agite pendant 20min.



Figure 9: la balance électronique



Figure 10 :la balance électronique

On étalonne l'appareil (conductimètre) par une solution de KCL 0,01 N avant de faire la mesure suivant un tableau de calibration.



Figure11: le conductimètre

I.4 - pH des sols :

- On pèse 10g de terre tamisée à 2 mm dans des béchers de 30ml. On y ajoute 25ml d'eau distillée ;
- A l'aide d'une baguette en verre on malaxe de temps en temps pendant 4h ;
- On étalonne l'appareil (pH mètre) par des solutions tampons de pH 7 et pH 9 ;

- A l'aide d'un agitateur magnétique, on agite quelques minutes et au même moment on prend les mesures ;
- Après chaque mesure, on rince soigneusement l'électrode.

I.5 - Taux de potasse assimilable dans les sols :

La mesure de potasse assimilable est réalisée selon les étapes suivantes :

- On pèse 5g de la terre tamisée à 2mm dans des flacons d'agitation ;



Figure 12: les flacons d'agitation

- On ajoute 50ml d'acétate d'ammonium ;
- On agite pendant 2h ;
- On filtre la solution à travers le papier filtre Whatman ;
- On étalonne le photomètre à flamme par une gamme étalon de concentration connue de KCL (5 ; 10 ; 15 ; 20ppm) ;



Figure 13: le photomètre a flamme (K)

Figure 14: la gamme d'étalonnage



Figure 15: filtration des échantillons

- Après on dose les différents filtrats des échantillons.

I.6 - Taux de phosphore assimilable dans les sols :

La mesure de phosphore assimilable est réalisée selon les étapes suivantes :

- On pèse 5g de la terre tamisée à 2mm dans un flacon d'agitation ;
- On ajoute 100ml de bicarbonate de sodium (NaHCO_3) et environ 1 cuillère de charbon actif ;



- On agite pendant 30min ;
- On filtre la solution à travers le papier filtre Whatman



- Gamme étalon : dans des tubes à essai distribués (0,2 - 7,5 - 10 – 15 à 20 ml de la solution fille de KH_2PO_4).

On ajoute 1ml d'acide ascorbique et on complète à 10ml avec H_2O . Cette gamme correspond à des concentrations en P de : 0 – 0,05 - 0,01 – 0,15 – 0,20 – 0,30 – 0,40 ppm ;

- On prélève 1ml du filtrat dans des tubes à essai ;
- On ajoute 1ml d'acide ascorbique ;



Figure 16: l'acide ascorbique

- On ajoute 8ml d'eau distillée ;



Figure 17: le spectromètre a flamme On lit l'intensité de la couleur à une longueur d'onde de la gamme et des échantillons à 820nm après 15 à 30mn.

4. les analyses physico-chimiques :

4.1. Mesure in situ :

➤ L'eau :

La mesure de la température (T c°), du potentiel d'hydrogène (PH), de l'oxygène dissous (O_2 %) (O_2 mg/l), de l'ORP, de la conductivité électrique, de la minéralisation total (TDS), de la salinité a été réalisé à l'aide d'un multi paramètre de type HANNA (HI 9829), en plongeant directement les sondes dans l'eau.

Ces paramètres sont très variables aux conditions du milieu et ils permettent une estimation de la qualité générale de l'eau. En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions du milieu et sont susceptibles de changer dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur site (Sayad, 2008).



Figure05 : Multi paramètre (HI 9829) (Prise personnelle).



Figure 22: les échantillons de l'eau prélevée.

4.2. Mesure au laboratoire :

La dureté de l'eau ou titre hydrotimétrique (TH), les ions calcium (Ca^{++}), les ions magnésium (Mg^{++}), le titre alcalimétrique complet (TAC), les ions bicarbonates (HCO_3^-), et les ions chlorures (Cl^-), ces paramètres ont été dosés par la méthode colorimétriques ou par titrimétrie sur colonne d'EDTA, AgNO_3 , H_2SO_4 qui mis en évidence les réactions chimiques.



Figure06 : colonne d'EDTA, AgNO_3 , H_2SO_4 (prise personnelle).

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 phénolphtaléine dans la solution des carbonates



Figure23: l'ajout de l'indicateur coloré (Bromocrésol

TH, Ca^{++} , Mg^{++} , HCO_3^- , Cl^- , ces paramètres ont été dosés par la méthode volumétrique par titrage sur colonne d'EDTA, HNO_3 , H_2SO_4 .

Les paramètres SO_4^{--} , NO_3^- , ont été dosés par la méthode spectrophotométrique à l'aide d'un spectrophotomètre à UV de type (JENWAY 7305)

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



Figure25 :l'indicateur coloré (le NET).

Les Sulfates : Après l'ébullition et en présence des chlorures de baryum (BaCl_2), les ions SO_4^{2-} sont titrés par une complexion (E.D.T.A).



Figure26: l'ajout des chlorures de baryum

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.



Figure27: le dosage du sodium et potassium par le photomètre a flamme

Les chlorures : Le dosage des ions Cl^- se fait par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3 , 0.02N) en présence de chromate de potassium (KCrO_7), les chlorures vont se précipiter sous forme de chlorure d'Argent (AgCl).



Figure28 :Chromate de potassium

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.).



Figure29 éthylène diamine tétra acétique (E.D.T.A.).



Figure07 : spectrophotomètre a UV (prise personnelle).

Les ions nitrites (NO_2^-), fluor (F), ammonium (NH_4^+), phosphate (PO_4^{3-}), ont été dosés par la méthode spectrophotométrique à l'aide d'un spectrophotomètre de type (WTW A5/25). Les valeurs de concentrations sont lues directement sur l'écran de l'appareil.



Figure08 : spectrophotomètre wtw (prise personnelle).

Les ions sodium (Na^+) et potassium (K^+), ces deux paramètres ont été dosés par un spectrophotomètre à flamme de type (JENWAY PFP7), les concentrations sont obtenues sur

la base des courbes étalons.



Figure09 : spectrophotomètre à flamme (prise personnelle).

La DBO₅ est mesurée à l'aide d'un DBO mètre de type (WTW OXITOP IS 12)



Figure10 : incubateur contient des bouteilles du DBO (prise personnelle).

La DCO est mesurée à l'aide d'un DCO mètre (photomètre) par la méthode du tube à DCO un oxydant fort s'agissant du dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$.



Figure11 : DCO mètre (prise personnelle).

Indice de la qualité de l'eau (IQE)

L'IQE est un outil important pour évaluer l'aptitude de l'eau à la consommation humaine. Il indique le rôle de chaque paramètre sur la qualité globale de l'eau. L'IQE a été estimé sur la base de 9 paramètres sélectionnés avec un poids (W_i) attribué à chaque paramètre dans l'ordre de 1 à 5. Le SO_4^{2-} et le Cl^- ont reçu 5 car les deux paramètres sont très importants pour l'évaluation de la qualité de l'eau tandis que le magnésium (Mg^{2+}) étant moins nocif, un poids minimum a été attribué. Le poids relatif (W_i) est calculé pour chaque paramètre en utilisant l'équation suivante (1).

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

(1)

Où,

W_i : poids relatif,

w_i : poids attribué,

n : nombre de paramètres

Un autre Q_i (échelle d'évaluation de la qualité) de chaque paramètre est calculé comme standard donné par BIS et a été multiplié par 100 comme indiqué dans l'équation (2).

$$Q_i = \left(C_i / S_i \right) \times 100 \quad (2)$$

Où,

C_i : concentration du paramètre particulier en mg L⁻¹, et S_i : concentration standard telle que donnée par BIS en mg L⁻¹ (BIS2012) pour le paramètre spécifique

WQI (4), a été estimée en calculant le premier sous-indice (SI_i) par l'équation (3) pour le nombre de paramètres chimiques (n)

$$SI_i = W_i \times Q_i \quad (3)$$

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i \quad (4)$$

Où,

- W_i : poids relatif du ième paramètre, Q_i : échelle d'évaluation de la qualité du ième paramètre,
- **Dureté totale**
- Les sels dissous de Ca²⁺ et de Mg²⁺ étaient à l'origine de la dureté totale (TH) de l'eau. Les TH des échantillons d'eau ont été calculés à l'aide de l'équation (5) suivante et sont exprimés en mg L⁻¹ :

$$TH = 2.5 \times Ca^{2+} + 4.2 \times Mg^{2+} \quad (5)$$

- **Evaluation de l'eau à des fins d'irrigation**
- Comme les eaux souterraines sont la principale source d'irrigation, il est nécessaire de calculer six indices d'irrigation comme 1: SSP, 2: SAR, 3: RSC, 4: risque de magnésium (MH), 5: indice de perméabilité (PI) , 6 : rapport de Kelly (KR).
- **Pourcentage de sodium soluble (SSP)**
- Todd (1995) a proposé l'équation (6) pour le calcul du SSP qui est utilisée dans cette étude.

$$\%Na = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100 \quad (\text{Todd (1995); meq L}^{-1})$$

- **Taux d'adsorption de sodium (SAR)**
- L'équation (7) a été utilisée pour le calcul du SAR.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (\text{Raghunath (1987); meq L}^{-1})$$

- **Carbonate de sodium résiduel (RSC)**
- Les RSC ont été calculés à l'aide de l'équation (8)

$$RSC = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad (\text{given by Eaton (1950)})$$

- **Risque de magnésium (MH)**
- L'estimation MH a été faite en utilisant l'équation (9)

$$MH = \frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \times 100 \quad (\text{Szabolcs & Darab (1964); meq L}^{-1})$$

- **Indice de perméabilité (IP)**
- Pour catégoriser la qualité de l'eau d'irrigation, l'indice de perméabilité (IP) a été estimé à l'aide de l'équation (10)

$$PI = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \times 100 \quad (\text{Doneen, (1964); meq L}^{-1})$$

- **Rapport de Kelly (KR)**
- C'est le rapport du sodium mesuré par rapport au magnésium et au calcium. Il est calculé en utilisant l'équation suivante (11).

$$KI = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \quad (\text{given by Kelly, 1951}).$$

➤ **Le sol :**

Le sol est un corps poreux. Les espaces vides entre les particules de la phase solide constituent la porosité du sol. Ces vides remplis d'eau et d'air. La porosité du sol définit la structure du sol.

- **La porosité :**

La porosité du sol peut être calculée en fonction de la densité réelle et la densité apparente du sol.

La densité du sol :**a) Densité apparente (d_a) :**

On appelle densité apparente d'un sol le poids d'une unité de volume de ce sol.

Celle-ci dépend à la fois de la nature du matériau (texture) et de son degré de compacité (structure de sol).

Elle se mesure en pesant un volume donné de sol frais. L'unité est de gramme par centimètre cube.

La méthode du cylindre de Burger:

On prend un volume connu de sol au moyen du cylindre de Burger en tassant le sol le moins possible on évitant les endroits trop caillouteux.

-les cylindres peuvent être enfoncées verticalement (couche supérieur) ou horizontalement (dans un profil) toute on évitant de modifier la structure du sol. On coupe le sol à ras du cylindre.

-on pose le cylindre plein sur une boîte de pétri préalablement tarée et laisser sécher son contenu à 105°C.

-après 24 à 48h. On laisse l'échantillon se refroidir une bonne demi-heure en dessiccateur et pèse le tout. On retranche les poids du cylindre et de la boîte de pétri et on rapporte le poids ainsi obtenu au volume prélevé.

Si le nombre de cylindres à disposition est trop faible par rapport au nombre de prélèvements envisagés il est possible une fois le prélèvement effectuée de récupérer l'échantillon de terre dans un sachet en plastique. On fera alors sécher l'échantillon dans un bécher taré de 250ml.

$$D_a = \frac{m_{sec}}{v_{tot}}$$

Avec : d_a = densité apparente

M_{sec} = masse du sol séché à 105°C (g).

V_{tot} = volume du sol et des pores (ml) = volume du cylindre.

b) Densité réelle (D_r) :

1) introduire 20g de sol séché et tamisé à 2mm dans un ballon jaugé de 50ml.

2) remplir une burette de 50ml de méthanol.

3) laisser couler environ 20-25ml de méthanol dans le ballon jaugé.

Secouer énergiquement ce dernier plusieurs fois, jusqu'à disparition des bulles d'air. Tous les pores sont alors remplis de méthanol.

4) compléter le ballon jusqu'au trait de jauge (50ml).

5) le volume de l'échantillon correspond au volume du méthanol restant dans la burette.

c) La porosité :

On peut relier la densité réelle, la densité apparente et la porosité par la formule :

$$P(\%) = \frac{d_r - d_a}{d_r} * 100$$

Avec : porosité totale (P%). D_a = densité apparente. D_r = densité réelle.

Pour l'interprétation il est nécessaire de tenir compte également du % des grosses des grosses fissures à drainage rapide.

La porosité totale varie de 30 à 35% dans les sols à texture très fine et très tassés à 70% dans les sols riches en calcium et en humus et à texture équilibrée. Pour les tourbes. La porosité peut atteindre 80%.

Les eaux à écoulement rapide dans le sol. Après une averse, sont retenues au niveau de la macroporosité alors que l'eau utilisable est retenue au niveau de la microporosité.

- **La matière organique (MO) :**

Les classes d'appréciation de la teneur du sol en matière organique sont réalisées en fonction du taux d'argile.

En effet, la matière organique améliore la structure et diminue l'érosion du sol, a un effet régulateur sur sa température, permet au sol de stocker davantage d'eau et représente aussi un milieu de culture pour les organismes vivants, contribuant ainsi à améliorer significativement la fertilité du sol (Mirsal, 2004).

Dosage de la matière organique :

La teneur en MO peut s'obtenir par la méthode de la perte au feu. Cette méthode est déconseillée pour les échantillons possédants beaucoup de calcaire. Le domaine d'étalonnage de cette méthode varie de 1 à 50% de MO.

Mode opératoire :

1. le dosage de la matière organique s'effectue sur un échantillon de la terre fine « préalablement pilée et tamisée sur un tamis à maille de 2mm, pour éliminer les éléments grossiers, et les fragments de la matière organique particulaire ».
2. sécher l'échantillon pendant 16 h à 150°C.
3. nettoyer les nacelles de porcelaines, les chauffer au rouge et les laisser dans un dessiccateur.
4. Peser la nacelle à vide.
5. Ajouter l'échantillon (max 10g) et peser à nouveau la nacelle remplie.
6. Calciner pendant 16 h dans un four à moufle à 375°C.
7. Laisser refroidir dans un dessiccateur et peser la nacelle avec les cendres.

Calcul de la teneur en MO

Les résultats sont calculés à l'aide des équations suivantes :

$$\%MO = \frac{\text{poids sec (g)} - \text{poids incinéré (g)}}{\text{poids sec (g)}} * 100$$

$$\%MO = \frac{(p1 - p0) - (p2 - p0)}{(p1 - p0)} * 100$$

Avec p0, la masse de la nacelle vide, p1 masse final, p2 la masse de la nacelle contenant les cendres.

- **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).

- **Conductivité électrique (CE) :**

Elle a été mesurée au conductimètre avec un rapport sol/eau distillée de 1/5 où la conductivité électrique de l'eau distillée est inférieure à 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elle a été corrigée ensuite à une température de 25°C.

Les classes de la salinité du sol de l'extrait aqueux (1/5) à 25°C ont été déterminées en utilisant la classification établie par (**MATHIEU et PIELTAIN 2003**).

Chapitre 3

Résultat et discussion

Résultats et Discussion (Etude hydro-chimique) :**I. Présentations des analyses hydro-chimiques :****1. Classification par le Diagramme de faciès chimique des eaux :**

1.1. Diagramme de Piper : Le diagramme de Piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eau. Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global.

Son intérêt : Il permet de voir l'évolution d'une eau, passant d'un faciès à un autre, grâce à des analyses espacées dans le temps ou des analyses d'échantillons pris à des endroits différents (cad dans l'espace.)

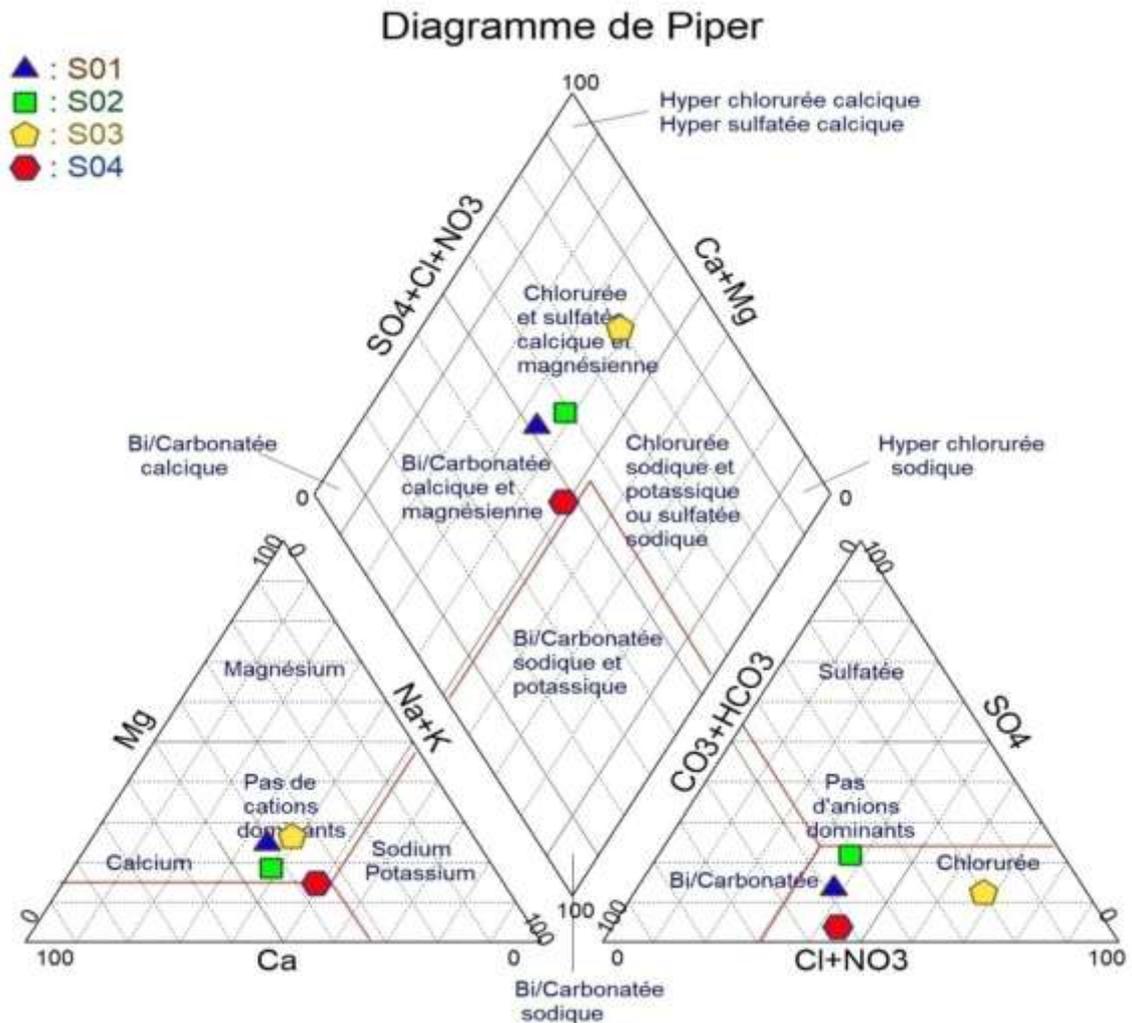


Figure 1 : diagramme de piper

Ce diagramme met en évidence les faciès des quatre grandes stations d'eau de notre étude (S1, S2, S3, S4). On observe que les eaux de la station S1 et S4 sont principalement de faciès bicarbonaté calcique et magnésienne, alors que la S2 et S3 sont de faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésienne.

L'ensemble des stations présentent globalement un faciès bicarbonaté chloruré avec des variabilités de concentrations de sodium décroissantes de la station 4 la plus concentrée en sodium (234,41 mg/L) localité Saad, ensuite la S3 juste à côté, il s'agit de Laniniba, viennent après la ferme Moualkia et la ferme Charef avec (138,62 et 98,7mg/l respectivement)

Interprétation

Les stations S3 et S4 sont situées à Bouchegouf proches de la bordure littorale par rapport à la wilaya d'Annaba, ce qui les rend vulnérables aux intrusions salines. Cela dit la forte proportion de population et d'infrastructures dans cette zone peut également expliquer l'hypothèse d'une influence des nitrates qui sont considérablement élevés par rapport aux deux autres stations.

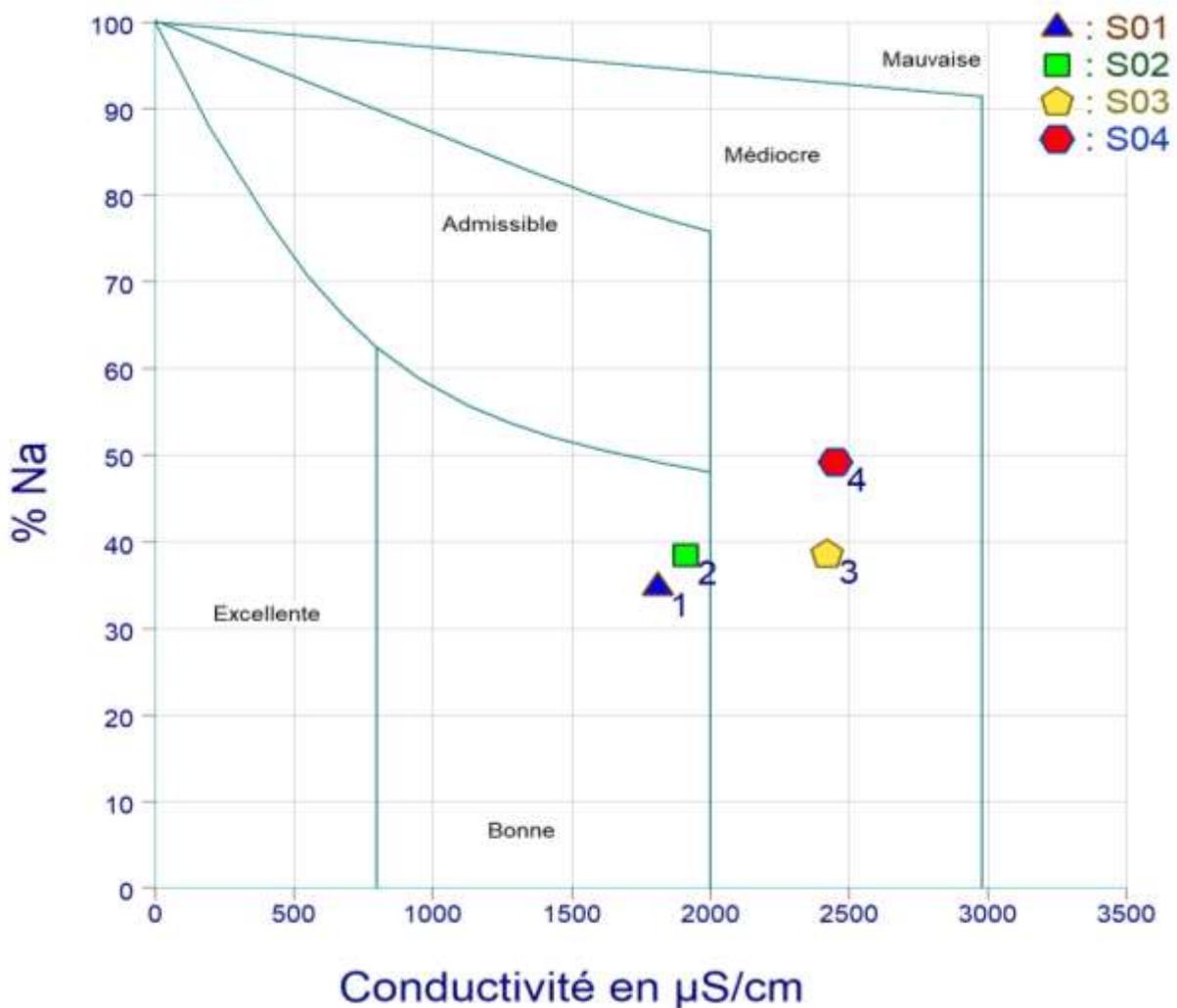


Figure 2 : Diagramme de Wilcox

Diagramme de Richards ou Wilcox :

est essentiellement utilisé pour évaluer le risque de salinisation des sols. Il utilise la (CE) ou la charge totale dissoute, toutes deux relative à la salinité de l'eau, et l'indice d'adsorption du sodium (SAR en anglais) aussi appelé "pouvoir alcalisant" qui est une mesure du risque de la sodisation du sol du fait de l'irrigation.

Le diagramme est découpé en quatre classes de salinité (axe des abscisses) et quatre classes de risques de sodisation (axe des ordonnées)

Interprétation :

Ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif est de représenter nos échantillons sur le diagramme de Wilcox pour caractériser les eaux de surface de nos sites sur leur aptitude à l'irrigation.

On constate que nos quatre échantillons représentés sur le diagramme de Wilcox se répartissent en 2 groupes, ainsi les eaux des stations S4 et S3 sont fortement chargées en sodium correspondant à des CE très élevées (2451 et 2419 respectivement) ; se localisant ainsi dans la classe d'une eau médiocre non convenante à l'irrigation, contrairement à celles des stations S1 et S2 avec une salinité modérée exprimée en CE comprise entre (1800 et 2000 $\mu\text{S/cm}$) correspondant à l'intervalle admissible d'une eau convenable à l'irrigation (peut être utilisée en irrigation si le lessivage est modéré).

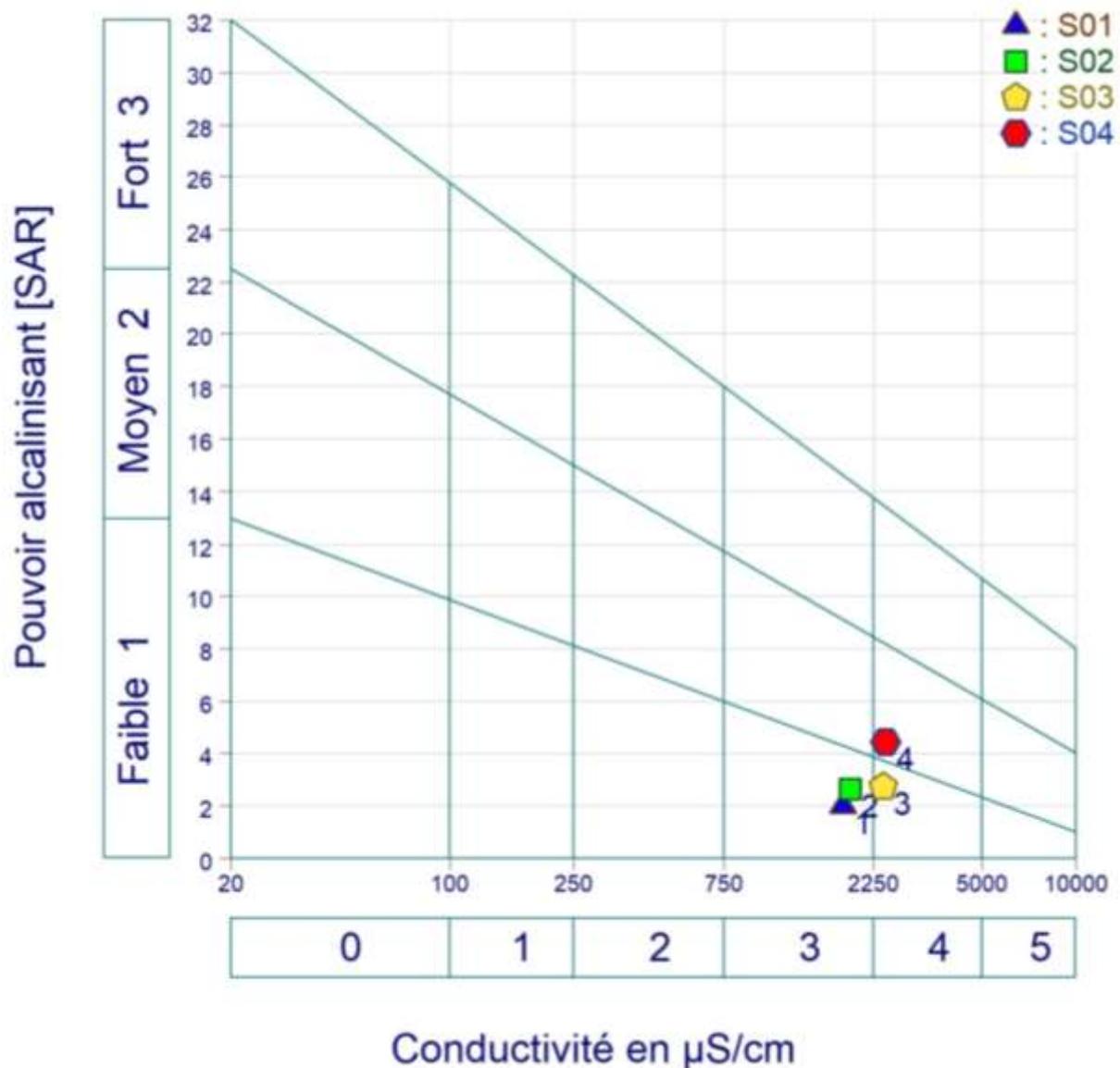


Figure 3 : Diagramme de Richard

Diagramme de Richards :

Les eaux de la station S3 se situent dans la classe C4S1 correspondant à un degré de salinité très élevé avec un rapport d'adsorption du sodium (SAR) faible, celles de la station S4 se situent dans la classe C4S2 (Salinité très forte et SAR modéré) et enfin les stations S1 et S2 situées dans la classe C3S1 (Salinité très élevée et SAR réduit) (figure 3).

Interprétation : En conclusion les quatre échantillons sont caractérisés par un risque de salinisation forte et un degré d'alcalinité faible à modéré, ce qui explique que ces eaux peuvent être utilisées en irrigation sans craindre un risque d'alcalinisation.

Tableau I.4 : la teneur en sodium (SAR)

Classe	SAR	Définition
S1	$SAR < 10$	L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.
S2	$10 < SAR < 18$	L'eau contenant une quantité moyenne de sodium peuvent présenter quelques difficultés dans les sols a texture fine .Ces eaux peuvent être utilisées sur des sols a texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.
S3	$18 < SAR < 26$	Les eaux contenant une quantité élevée de sodium peuvent provoquer des difficultés dans la plus part des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques .S'il n'y a pas de gypse, il faut en ajouter un amendement chimique exerçant le même effet.
S4	$SAR > 26$	L'eau contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropre à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité moyen ou faible, lorsque l'usage du gypse ou amendements analogues permettent l'utilisation.

SAR/ Na et RSC :

Dans la figure (4a) le rapport d'adsorption du sodium (SAR) est inférieur à 10 pour les eaux des quatre stations, ce qui traduit par une qualité d'eau très convenable à l'irrigation. L'histogramme de la (figure 4b) indique que les eaux des stations (S1, S2 et S3) ont une teneur de sodium inférieur ou égal à 40% expliquant une qualité d'eau bonne à excellente en matière d'irrigation, un peu moins pour les eaux de la station S4 qui franchissent la limite des 50% en sodium restant tout de même dans l'intervalle admissible à l'irrigation.

Dans notre étude on a suspecté une teneur importante en carbonates et bicarbonates dans les eaux des 4 stations vu que leurs PH respectifs sont plus ou moins élevés (7,75/7,67/ 7,68/ 7,67).

Dans l'objectif d'approfondir l'analyse de nos résultats on a procédé par la mesure du carbonate de sodium résiduel (RSC) (figure 4 c) qui était bien inférieur à 1,25meq/l pour les quatre stations situant ainsi nos échantillons dans la catégorie d'une eau convenable à l'irrigation.

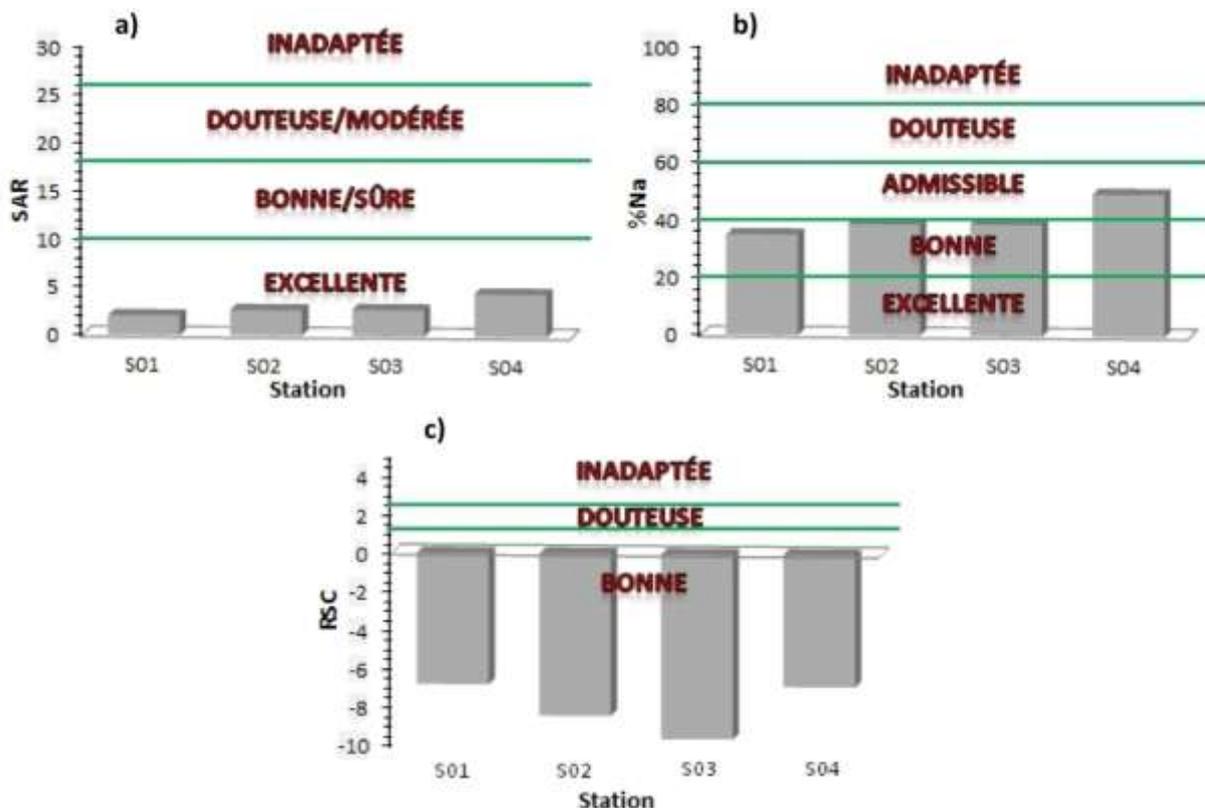


Figure 4 : a : rapport d'adsorption du sodium (SAR), b : pourcentage de sodium (%Na),

c : carbonate de sodium résiduel (RSC)

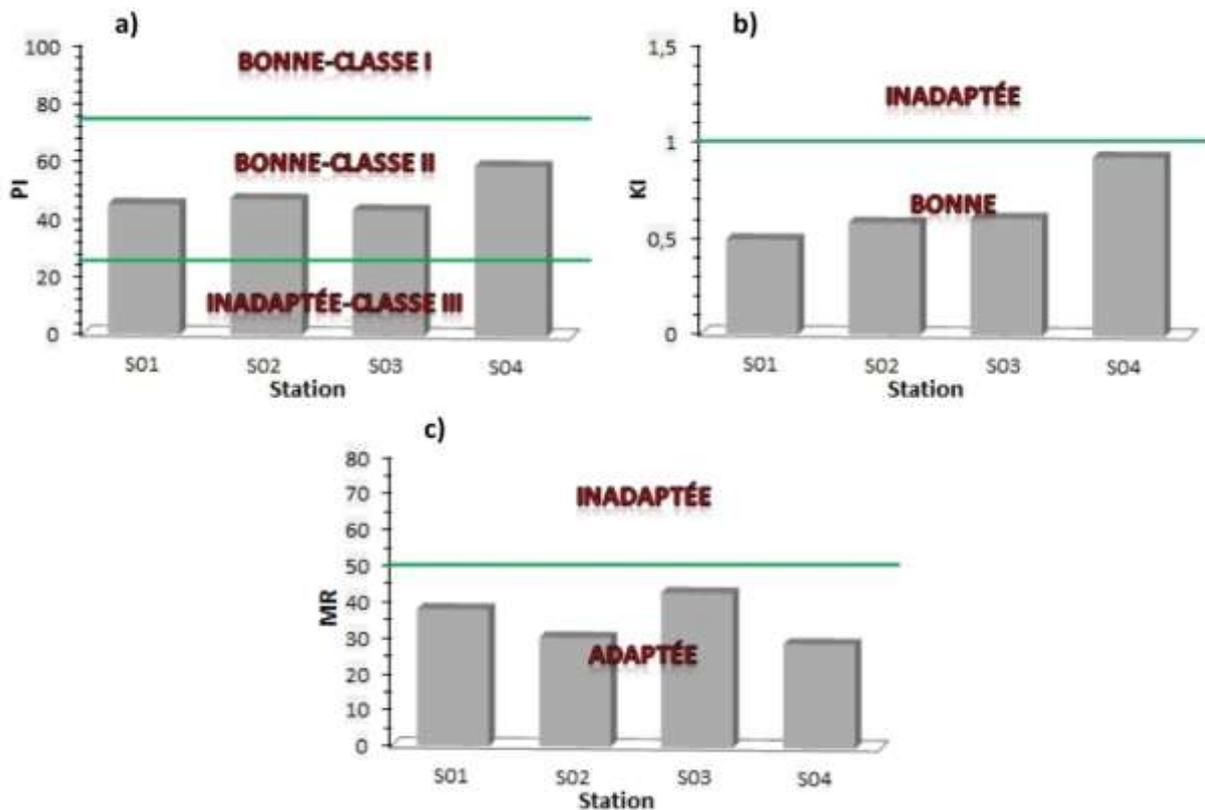


Figure 5 : a : indice de perméabilité (PI), b : indice de Kelly (KI), c : magnésium ratio(MR)

PI, KI et MR :

Indice de perméabilité (PI) : La perméabilité du sol est souvent affectée par la qualité des eaux d'irrigation et leurs utilisations à long terme, cet indice est étroitement lié à la charge de sodium, calcium, magnésium et bicarbonate dans le sol. En 196 Doneen a classé les eaux d'irrigation en se basant sur l'indice de perméabilité (PI) Dans notre étude les 4 stations se situent dans la classe intermédiaire d'une eau bonne à l'irrigation (PI entre 25-75) (**figure 5a**).

Indice de Kelly (KI) : l'utilisation de l'indice de Kelly dans notre étude est capitale pour la détermination de l'aptitude des eaux à l'irrigation. Cet indice exprime le rapport des concentrations de sodium à la somme des ions de calcium et magnésium car de grandes concentrations en Na^+ dans l'eau la rend inappropriée pour l'irrigation.

Dans la (**figure 5b**) les eaux de nos 4 échantillons expriment un (KI inférieur à 1) les gardant dans un intervalle de qualité adaptées à l'irrigation.

Magnésium ratio (MR) : la mesure de cet indice nous a permis d'avoir des valeurs de MR en dessous de 50 ; ce qui explique que les eaux de l'ensemble de nos échantillons conviennent largement à l'irrigation (**figure 5c**).

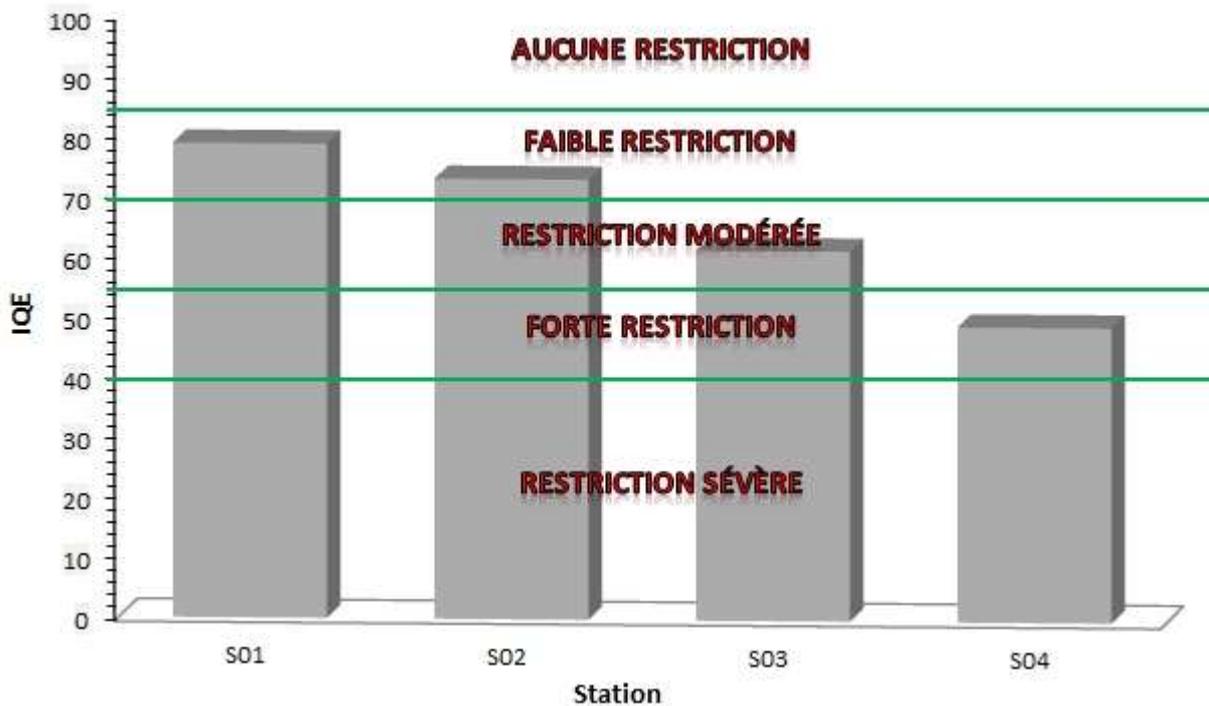


Figure 6 : Indice de qualité de l'eau d'irrigation

L'indice de qualité de leau (IQE) : est un paramètre numérique utilisé pour évaluer la qualité globale de leau à partir d'une étude minutieuse des données physicochimiques fournissant des informations décisives aux autorités pour prendre des décisions d'urgence quand il le faut.

Dans notre étude on a calculé l'IQE à cinq paramètres physico-chimiques (pH, T°, CE, O dissous, salinité) pour évaluer la qualité globale des eaux de surface de l'Oued Seybouse dans la région de Guelma.

La qualité des eaux reste bonne sans restriction sévère excepté les sites au niveau des communes Moualkia, Charef et Aniniba où la qualité est respectivement mauvaise (IQE 75, 80 et 65) (figure 6).

La dégradation de la qualité des eaux au niveau des localités Moualkia et Charef et Aniniba peut être due aux activités agricoles et aux rejets des eaux usées urbaines de ces communes situées le long de l'oued.

Classification de la qualité de leau de l'oued Seybouse :

Indice	Station	Valeur	Classe d'aptitude
SAR	S01	2,03	Excellent
	S02	2,64	Excellent
	S03	2,73	Excellent
	S04	4,43	Excellent
RSC	S01	-6,79	Good
	S02	-8,40	Good
	S03	-9,56	Good
	S04	-6,83	Good
%Na	S01	34,68	Good
	S02	38,42	Good
	S03	38,59	Good
	S04	49,15	Permissible
PI	S01	44,89	Good-Class II
	S02	46,80	Good-Class II
	S03	43,28	Good-Class II
	S04	58,70	Good-Class II
KI	S01	0,49	Good
	S02	0,58	Good
	S03	0,61	Good
	S04	0,93	Good
MR	S01	37,71	Suitable
	S02	30,12	Suitable
	S03	42,62	Suitable
	S04	28,73	Suitable
IWQI	S01	78,95	LR
	S02	73,27	LR
	S03	61,60	MR
	S04	49,12	HR

Tableau 1 : Classification de la qualité de l'eau de l'oued Seybouse selon la pertinence de leau à des fins d irrigation agricole

Conclusion :

Il ressort de cette étude faite sur l'eau d'irrigation des quatre périmètres de la plaine de Seybouse que l'eau d'irrigation de la station Charef où sa source principale est celle du barrage Bouhamdane, ainsi que l'eau de la station Moualkia sont moins chargées en sodium, les 2 autres proches des frontières littorales ont une forte salinité avec un risque d'alcalinisation faible à modéré. Le faciès chimique des eaux (Charef et Saad) la caractérise en type bicarbonaté calcique, alors que celles de (Moualkia et Aniniba) sont de faciès chloruré et sulfaté calcique.

Magnesium Ratio (MR)	Paliwal (1972)	Paliwal, K. V. (1972). Irrigation with saline water. Monogram No. 2, new series (p. 198). New Delhi: IARI.
Sodium percentage (%Na)	Wilcox (1955)	Wilcox LV (1955) Classification and use of irrigation waters. USDA, Circular 969, Washington
Residual Sodium Carbonate (RSC)	Eaton (1950)	EATON, Frank M. Significance of carbonates in irrigation waters. Soil science, 1950, vol. 69, no 2, p. 123-134.
Permeability Index (PI)	Doneen (1964)	DONEEN, Lloyd David. Notes on water quality in agriculture. Department of Water Science and Engineering, University of California, Davis, 1964.
Sodium Adsorption Ratio (SAR)	Richards (1954)	Richards L.A. (1954) Diagnosis and improvement of saline alkali and alkaline soils : Agriculture, vol 160. Handbook 60, US Department of Agriculture hand book.
Kelly's Index (KI)	Kelly (1940)	KELLEY, W. P., et al. Permissible composition and concentration of irrigation water. In : Proceedings of the American society of civil engineers. 1940. p. 607-613.
Irrigation Water Quality Index (IWQI)	Meireles (2010)	MEIRELES, Ana Célia Maia, ANDRADE, Eunice Maia de, CHAVES, Luiz Carlos Guerreiro, et al. A new proposal of the classification of irrigation water. RevistaCiênciaAgronômica, 2010, vol. 41, no 3, p. 349-357.

N° de site	Nom du site	GPS
S1	Ferme CHAREF	N 36° 26. 066' E 007° 39. 283'
S2	Ferme MOUALKIA	N 36° 27. 463' E 007° 41. 423'
S3	Ferme ANINBA	N 36° 28. 415' E 007° 42. 372'
S4	Localité SAAD	N 36° 29. 069' E 007°42. 020'
MAX		
MIN		
Variance		
MOYENNE		
ECARTYPE		

Elevation	Précision	°C	PH	OD mg/l
360,1	27,7	17,89	7,75	1,03
320,7	14,3	17,25	7,67	0,89
305,8	14,7	17,38	7,68	1
294,5	15	17,07	7,67	0,96
		17,38	7,68	1
		17,07	7,67	0,89
		0,024233333	3,33333E-05	0,0031
		17,23333333	7,673333333	0,95
		0,155670592	0,005773503	0,055677644

OD %	ORP Mv	CE $\mu\text{S/cm}$	Rés $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$	TDS mg/l	Salinité PSU	Pres. Ath. Ps
11,4	116,1	1810	0,0006	905	0,92	14,128
9,6	81,2	1908	0,0005	954	0,98	14,298
10,5	98	2419	0,0004	1211	1,26	986,4
10,3	107,3	2451	0,0004	1227	1,27	986,8
1	107,3	2451	0,0005	1227	1,27	986,8
0,89	81,2	1908	0,0004	954	0,98	14,298
0,0031	174,99	92832,33333	3,33333E-09	23472,33333	0,0271	315123,7664
10,13333333	95,5	2259,333333	0,000433333	1130,666667	1,17	662,4993333
0,055677644	13,22837859	304,6839893	5,7735E-05	153,2068319	0,164620776	561,3588571

DBO5 mg/l	DCO mg/l	Turb. NTU	NO_2^- mg/l	NO_3^- mg/l	NH_4^+ mg/l	PO_4^+ mg/l	F mg/l
29	1170	98,8	0,198	0,032	3,445	15,043	3,5
46	209	58,9	0,264	0,026	0,455	19,034	6,6
48	381	428	0,363	0,684	1,144	10,438	6,4
29	117	47,9	0,396	0,895	5,46	10,745	9,2
48	381	428	0,396	0,895	5,46	19,034	9,2
29	117	47,9	0,264	0,026	0,455	10,438	6,4
109	17957,33333	46805,30333	0,004719	0,205441	7,358767	23,78216433	2,44
41	235,6666667	178,26666	0,341	0,535	2,353	13,40566667	7,4
10,44030651	134,004975	216,3453335	0,068694978	0,453255998	2,712704739	4,876696047	1,562049935

SO ₄ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	TH méq/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ méq/l	Mg ⁺⁺ méq/l	Mg ⁺⁺ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l
23,7	50,25	2,08	107,2	5,36	3,28	39,36	109,8	96,7	13,86
50,27	63,9	4,108	145,6	7,28	3,172	38,064	122	138,62	17,94
17,64	71	1,456	116,8	5,84	4,384	52,608	36,6	141,61	8,77
15,62	134,9	4,836	163,2	8,16	3,324	39,888	280,6	243,41	17,94
50,27	134,9	4,836	163,2	8,16	4,384	52,608	280,6	243,41	17,94
15,62	63,9	1,456	116,8	5,84	3,172	38,064	36,6	138,62	8,77
378,2366333	1529,103333	3,164581333	548,6933333	1,371733333	0,435941333	62,775552	15330,52	3558,854033	28,02963333
27,84333333	89,93333333	3,466666667	141,8666667	7,093333333	3,626666667	43,52	146,4	174,5466667	14,88333333
19,4483067	39,10375089	1,778927017	23,42420401	1,1712102	0,660258535	7,923102423	123,8164771	59,65613157	5,294301968

Tableau :différents paramètres physico-chimiques des eaux de surface de l'oued-seyhouse (partie aval)utilisées a des fins d'irrigation

Tous les paramètres sont exprimés en mg/l sauf pH par unité CE us/cm

Analyses statistiques des paramètres physico-chimiques (In Situ) :

le pH : Les valeurs de pH mesurées soit pour les eaux brutes ou pour les eaux traitées sont comprises entre 7.68 et 7.67. Ces valeurs sont conformes aux normes des rejets algérienne (6.5<pH<8.5).

QUALITE DES EAUX USEES ET SA POSSIBILITE D'UTILISEE EN AGRICULTURE DE LA STATION DE KOUININE EL OUED (SE ALGERIE).

PH : le potentiel d'hydrogène est un paramètre qui définit l'acidité ou l'alcalinité d'une eau.

Les valeurs de PH de nos quatre stations sont assez proches, même si elles sont assez éloignées géographiquement (de Charef à Bouchegouf). Elles fluctuent entre (7,67 et 7,68) restant dans l'intervalle des valeurs naturelles et correspondant aux normes de potabilité (figure7).

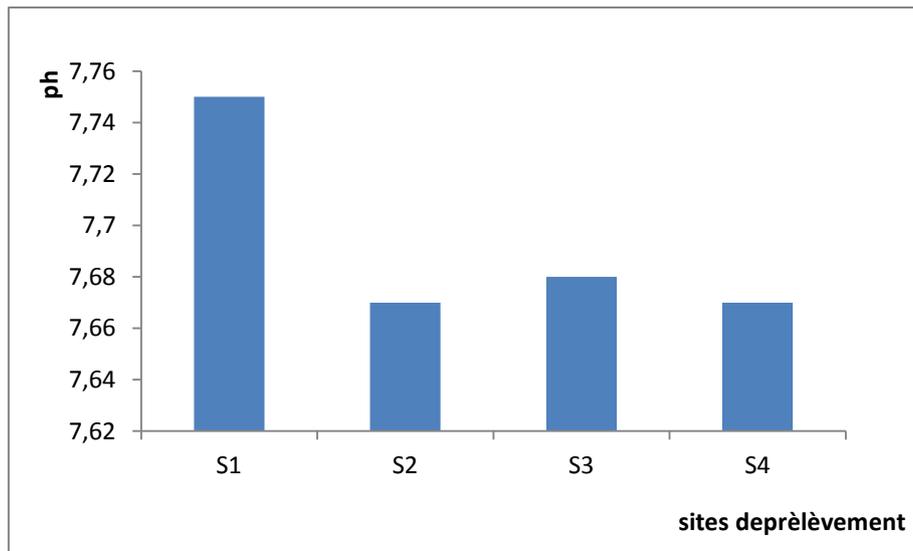


Figure 7 : Evolution spatiale du PH des eaux

Température : La température optimale pour que les racines puissent absorber l'eau et les nutriments se situe aux environs de 20°C. À cette température, l'eau présente dans le substrat contient encore une grande quantité d'oxygène.

La (figure8) affiche une variation de température des 4 échantillons suivant le jour et l'heure du prélèvement qui s'est effectué tôt le matin, car ce paramètre est en relation directe avec les conditions climatiques et l'air ambiant extérieur.

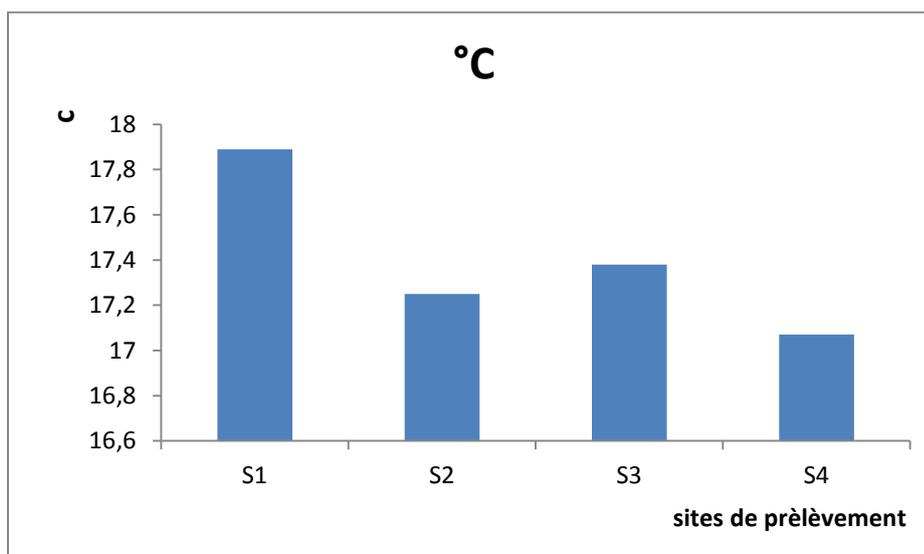


Figure 8 : Évolution spatiale de la température des eaux de surfaces de l'Oued Seybouse
Partie aval utilisées à es fins d'irrigation

En ce qui concerne la température de l'eau, qui régit la majorité des paramètres physicochimiques, on constate une certaine stabilité entre les différents sites de prélèvement. Cela peut s'expliquer par l'influence directe de la température de l'air. Les teneurs demeurent de toutes les façons en dessous de la norme algérienne pour les eaux d'irrigation.

Potentiel Redox :

Le potentiel d'oxydoréduction (ORP) exprimé en (mv) mesure l'équilibre entre les formes

oxydées et réduites des différents éléments chimiques dans l'eau ; indiquant la capacité d'une eau à se nettoyer ou à décomposer les déchets. Quand ce taux est élevé, ça indique qu'il y a beaucoup d'oxygène dans l'eau favorisant l'activité des bactéries qui décomposent les tissus morts et les contaminants plus efficacement.

Dans notre étude les valeurs ORP observées des 4 stations prélevées sont élevées avec une prédominance de la S4 celle de la localité Saad (**figure 9**).

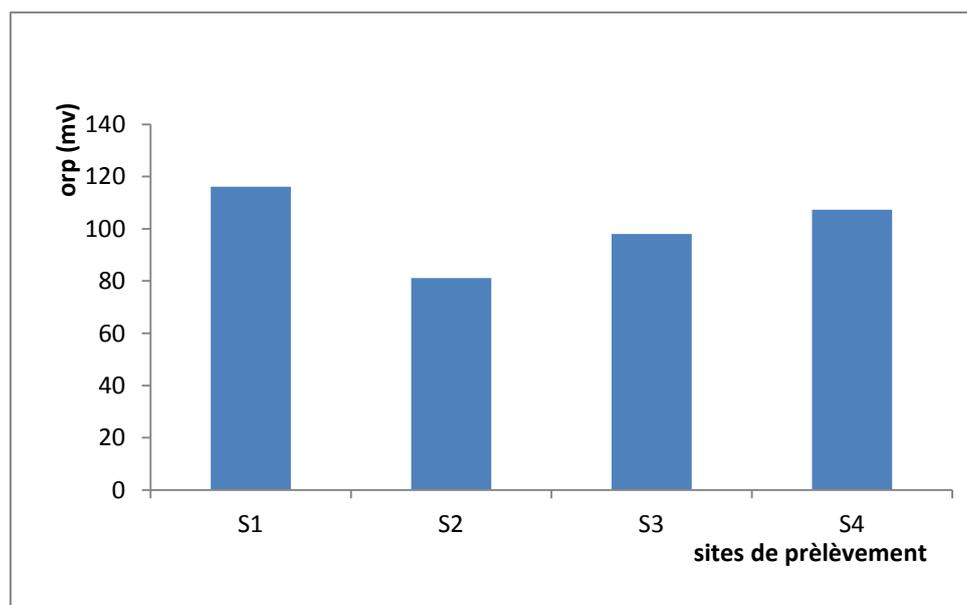


Figure 9. : Evolution spatiale ORP (mv) des eaux de surfaces de l'Oued Seybouse
Partie aval utilisées à es fins d'irrigation

La salinité : Les principaux éléments responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}) de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-) les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut être mesurée de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimé en mg/L ou, plus couramment, par la conductivité électrique exprimée en millisiemens/centimètre (mS/cm).

On voit bien dans la (**figure 11**) que la charge en sel minéraux dans l'eau des localités Aniniba et Saad est considérablement élevée par rapport aux deux autres sites, ainsi les eaux des stations S4 et S3 sont fortement chargées en sodium se localisant ainsi dans la classe d'une eau médiocre non convenante à l'irrigation

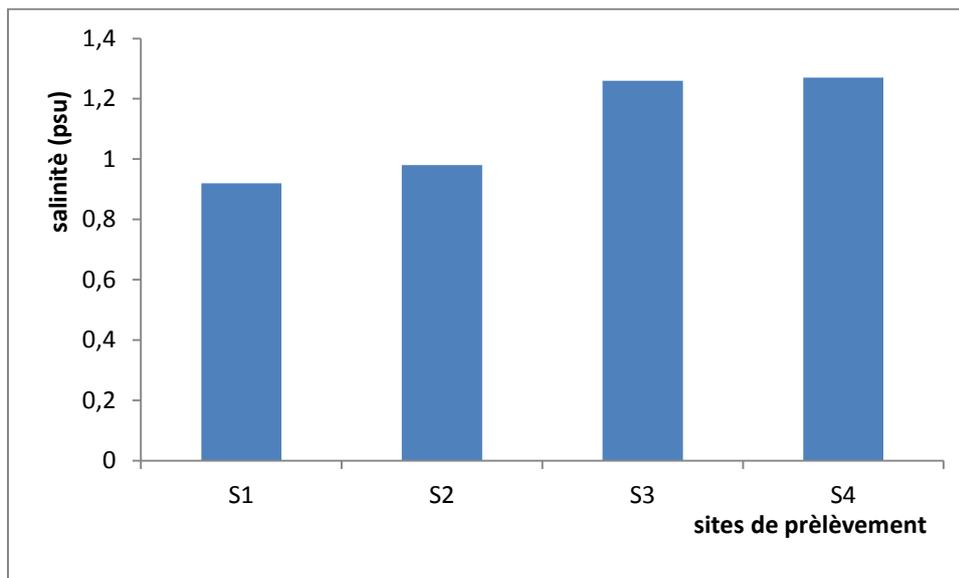


Figure 11 : Évolution spatiale de salinité (psu) des eaux de surfaces de l'Oued Seybouse
Partie aval utilisées à es fins d'irrigation

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. (M.R.E., 2007).

La salinité peut être mesurée de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimé en mg/L ou, plus couramment, par la conductivité électrique exprimée en millisiemens/centimètre (mS/cm).

On voit bien dans la (figure 11) que la charge en sel minéraux dans l'eau des localités Aniniba et Saad est considérablement élevée par rapport aux deux autres sites, ainsi les eaux des stations S4 et S3 sont fortement chargées en sodium se localisant ainsi dans la classe d'une eau médiocre non convenante à l'irrigation

Les valeurs de salinité enregistrées au niveau des sites de prélèvement s'échelonnent entre un minimum de 0.9 au site s1 et un maximum de 1.3 au niveau du site s3. En tous les cas les valeurs de salinité sont limitées dans la plage de variations qui concorde bien avec les normes algériennes décrites pour l'irrigation.

L'oxygène dissous :

L'oxygène de l'atmosphère se dissout dans l'eau jusqu'à un certain degré pour laquelle l'eau sera saturée. L'oxygène dissous est un élément indispensable souvent mesuré en parallèle avec l'ORP, car ces 2 paramètres sont à évolution identique servant tous deux à fournir des informations supplémentaires sur la qualité de l'eau et le degré de la pollution.

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des stations S1(Charef), S2 et S4 (Aniniba et Saad), ce qui signifie que les eaux de ces localités sont assez saines (**figure 10**).

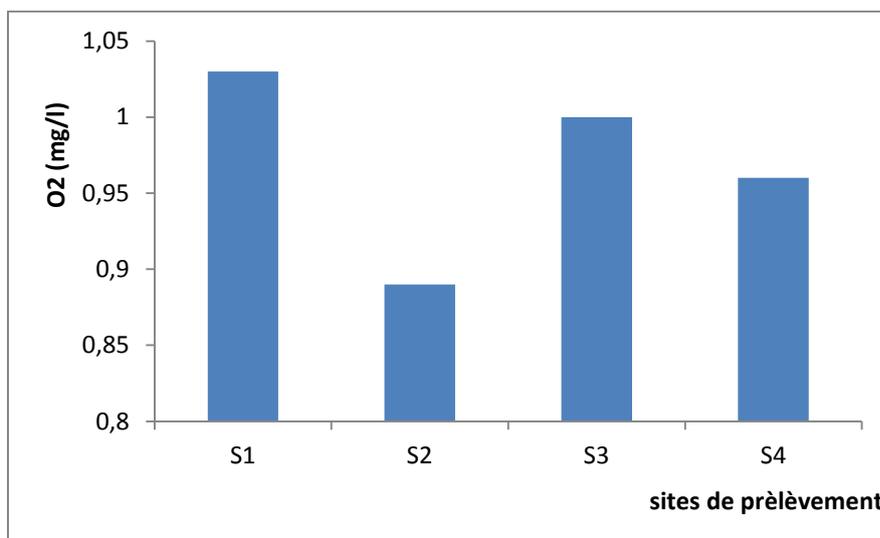


Figure 10 : Évolution spatiale de l'oxygène des eaux de surfaces de l'Oued Seybouse Partie aval utilisées à des fins d'irrigation

La teneur de l'oxygène dissous dans l'eau dépend de l'activité respiratoire des organismes vivants aquatiques, de l'activité photosynthétique et du contact direct air-eau. Les résultats obtenus pour ce paramètre paraissent être assez faibles et fluctuent entre 0.87 au niveau de la station s2 et 1.03 mg/l au niveau de la station s1. Cela peut s'expliquer par une forte charge de matière organique qui nécessite une quantité importante d'oxygène pour être biodégradée par les bactéries aérobiques.

Les matières dissoutes totales (TDS) : L'information des concentrations en sel est donnée par le TDS (qualité totale de matière dissoute) exprimé en mg de sel par litre d'eau (mg/l) ou en gramme de sel par mètre cube d'eau (g/m³).

Dans notre étude l'évolution de la quantité des matières dissoutes dans les localités Aniniba et Saad rejoint parfaitement l'évolution de leurs taux de salinités (**figure 12**)

En conclusion, l'ensemble des échantillons prélevés présentent un risque de salinité ; beaucoup trop prononcé dans les localités (Aniniba et Saad) et un peu moins dans les fermes (Moualikia et Charef).

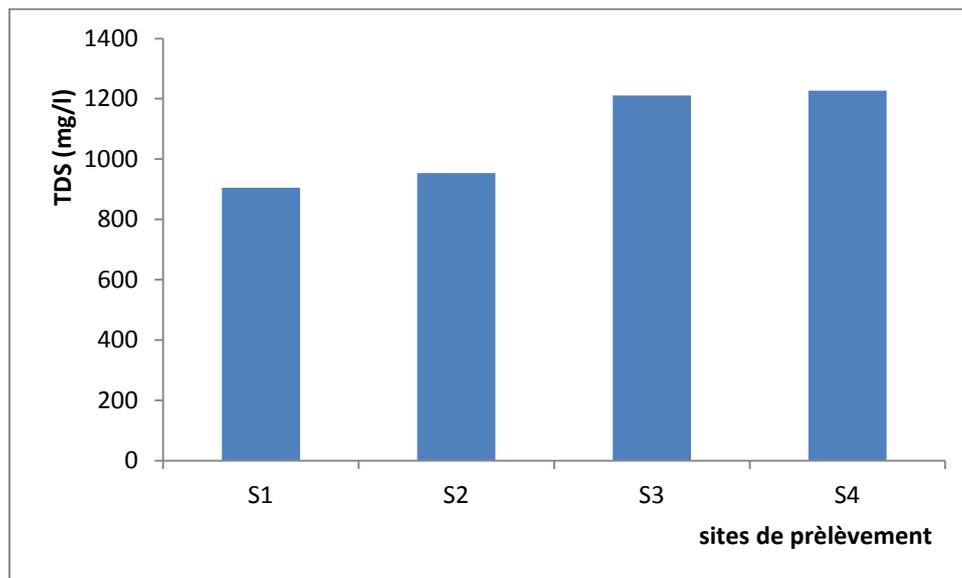


Figure 12 : Evolution spatiale du TDS des eaux

Le TDS ou encore Total des Solides Dissous dans l'eau reflète la quantité des sels dissous issus soit de la roche, des activités agricoles et des rejets domestiques et industriels. Les teneurs obtenues au niveau de nos sites de prélèvement varient entre 900 au niveau du site S1 et 1200 mg/l au niveau du site S4.

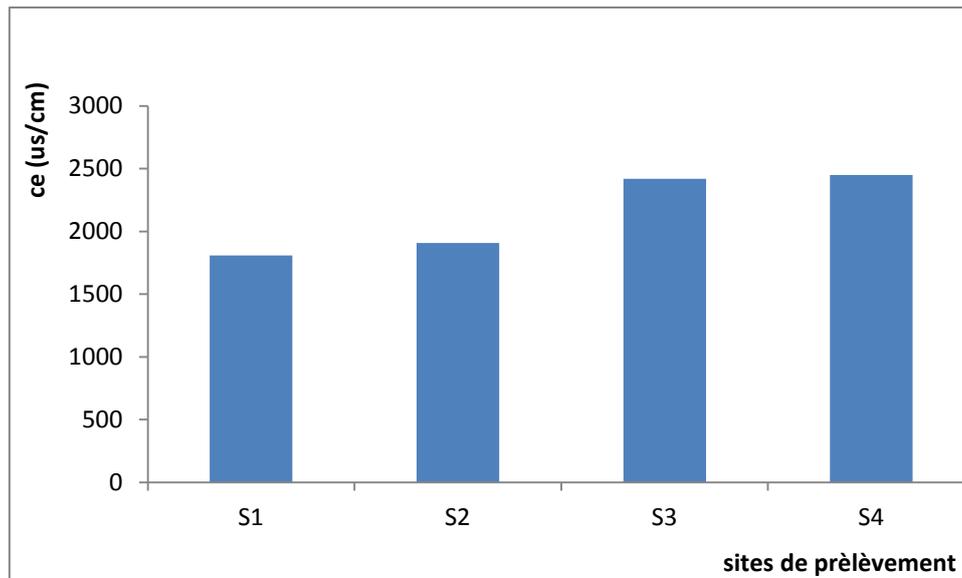


FIGURE 13. : Évolution spatiale de ce des eaux de surfaces de l'Oued Seybouse
Partie aval utilisées à es fins d'irrigation

La conductivité électrique (CE) : La conductivité électrique des eaux brutes varie entre un minimum de 1800mS/cm et un maximum de 2450mS/cm, tandis que celle des eaux épurées varie entre un minimum de 18500mS/cm et maximum de 2500mS/cm. La conductivité des eaux usées épurées est très forte et dépasse les normes internationale des eaux d'irrigation de la FAO (<3 mS/cm).

Conclusion :

D'après cette analyse, on peut voir qu'il y a une différence entre les eaux des communes (Moualkia, Charef) et les autres types deau (Anininba et Saad). Les écartypes importants en matière de (CE, TDS et Potentiel Redox) confirment cette différence.

Cependant la différence n'est pas flagrante pour les paramètres (PH, O dissous et salinité). Les eaux de Moualkia sont plus proches de Charef et les particularités se trouvent surtout au niveau de Charef à un extrême et Saad à l'autre extrême (concernant la conductivité et les (TDS) dus aux activités agricoles intenses et aux intrusions marines de la région. Cela dit les fermes Charef et Aniniba montrent des moyennes et écartypes bien forts.

Présentations statistiques de l'étude Pédologique :**3. Résultats et Discussions :****3.1- PH du sol :**

Le pH est un paramètre important de la dynamique du sol, c'est un clé en agronomie car leur degré d'acidité ou de basicité joue un rôle très important sur l'assimilation des éléments nutritifs par la plante, il a une influence sur trois composantes importantes de la fertilité d'un sol : la biodisponibilité des nutriments, l'activité biologique et la stabilité structurale, La variation de pH dépend à les variations saisonniers et le pouvoir tampon de sol (le nombre d'ions en réserve sur le complexe argilo-humique) ,l'état hydrique du sol, sa température et la présence ou non d'une culture en période de croissance active [11,12].

Les résultats de l'analyse du pH se sont présentés dans la **figure 14**, montrant que la majorité sols étudiés d'Issen, ont des pH à : 'Faiblement basique'. Ils varient de 7,7 à 7,8 avec une moyenne de 7,5. Les valeurs de pH semblent être en accord avec le niveau d'alcalinité rencontré dans les sols étudiés qui est généralement faible.

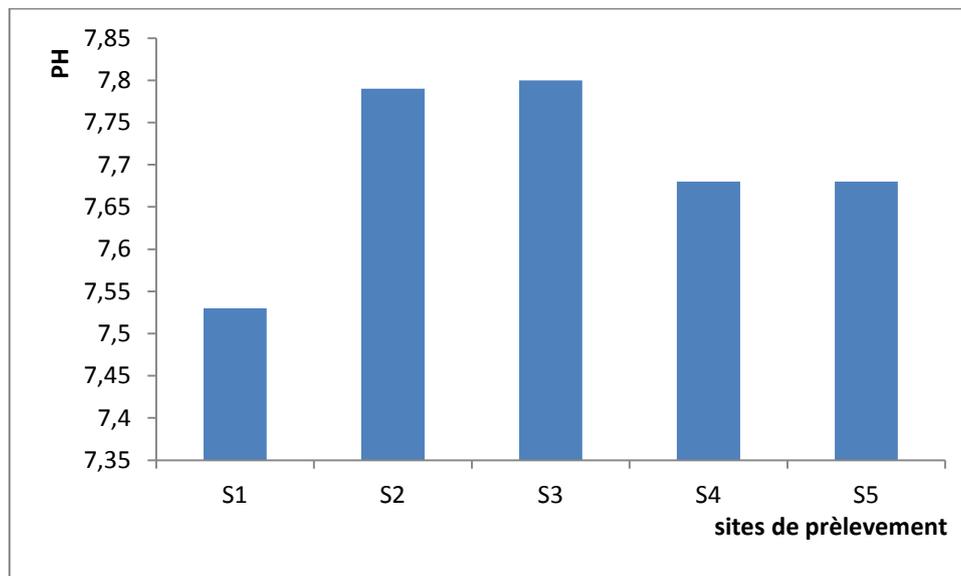


Figure 14 : Evolution spatiale du PH du sol des eaux de surfaces de l'Oued Seybouse
Partie aval utilisées à es fins d'irrigation

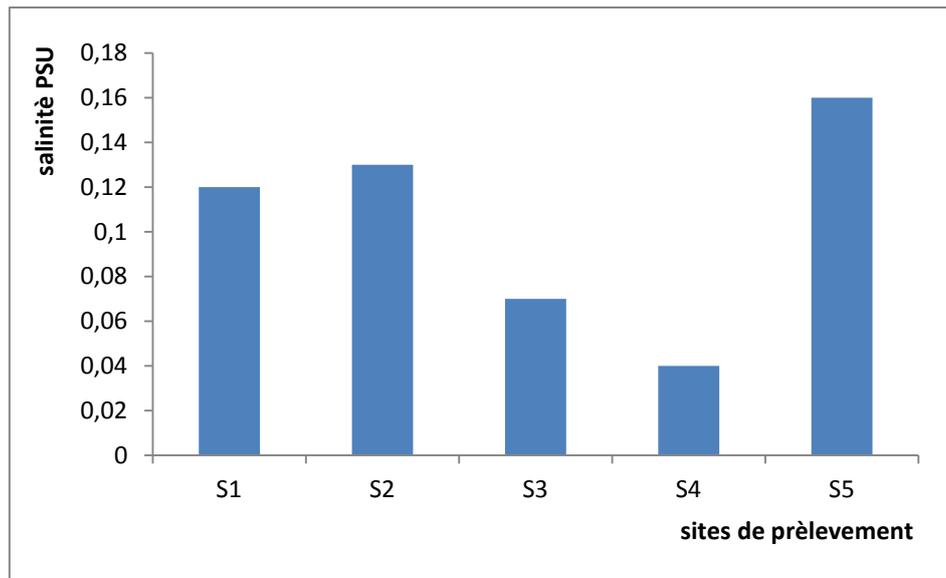


Figure 15 : Evolution spatiale de la salinité du sol

3.2.La salinité : Les principaux éléments responsables de la salinité de sol sont : les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}) de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-) les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande

quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut être mesurée de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimé en mg/L ou, plus couramment, par la conductivité électrique exprimée en millisiemens/centimètre (mS/cm).

Les valeurs de salinité enregistrées au niveau des sites de prélèvement s'échelonnent entre un minimum de 0.04 au site s4 et un maximum de 0.16 au niveau du site s5. En tous les cas les valeurs de salinité sont limitées dans la plage de variations qui concorde bien avec les normes algériennes décrites pour les sol .

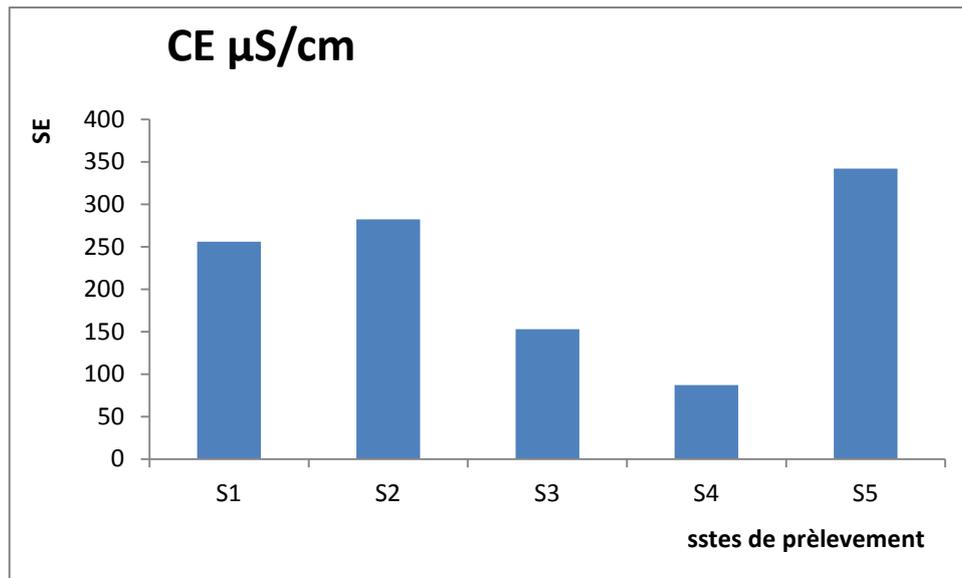


Figure 16 : Evolution spatiale de la CE du sol

3.3.La conductivité électrique (CE) : La conductivité électrique des sol brutes varie entre un minimum de 80 mS/cm et un maximum de 280mS/cm, tandis que celle des eaux épurées varie entre un minimum de 150 mS/cm et maximum de 330 mS/cm. La conductivité des sol épurées est très forte et dépasse les normes internationale des sol de la FAO (<3 mS/cm).

3.4.La porosité :

Dans un sol la matière solide n'occupe qu'une partie du volume total, les « vides » sont occupés soit par de l'eau soit par l'air. Donc, le sol est un corps poreux, il présente deux densités :

La densité réelle : correspondant à celle de ses éléments constitutants, et qui est constante.

La densité apparente : elle tient compte des vides existant entre ces éléments et qui change selon le degré de fissuration ou de tassement. Les densités apparente et réelle permettent de déduire la proportion des vides ou porosité.

La porosité : le sol est un milieu discontinu plus ou moins poreux. La porosité est le volume du sol qui n'est pas occupé par la matière solide. La microporosité et la macroporosité forment la porosité totale :

Porosité totale = microporosité + macroporosité

À titre indicatif, la porosité totale d'une roche comme le granite est de 1%, les horizons de surface dans les milieux naturels ont des porosités totales de l'ordre de 40-50 %,

La porosité totale est le premier facteur de fertilité des sols. Elle favorise l'enracinement, le stockage de l'eau pour la plante et la circulation de l'air nécessaire au bon fonctionnement des racines. Le travail du sol comme le labour, a pour principal but d'augmenter la porosité du

sol. Cependant, au niveau de la profondeur maximum des labours, on assiste à un brusque abaissement de la porosité du à un tassement par la pression qu'exerce les roues des tracteurs après plusieurs passages. Il constitue un horizon d'étranglement qu'on appelle semelle de labour. La présence de la semelle de labour, affecte la perméabilité et l'accumulation des réserves d'eau.

Préparé par : Lotfi M. KAZI-TANI 'TD'.

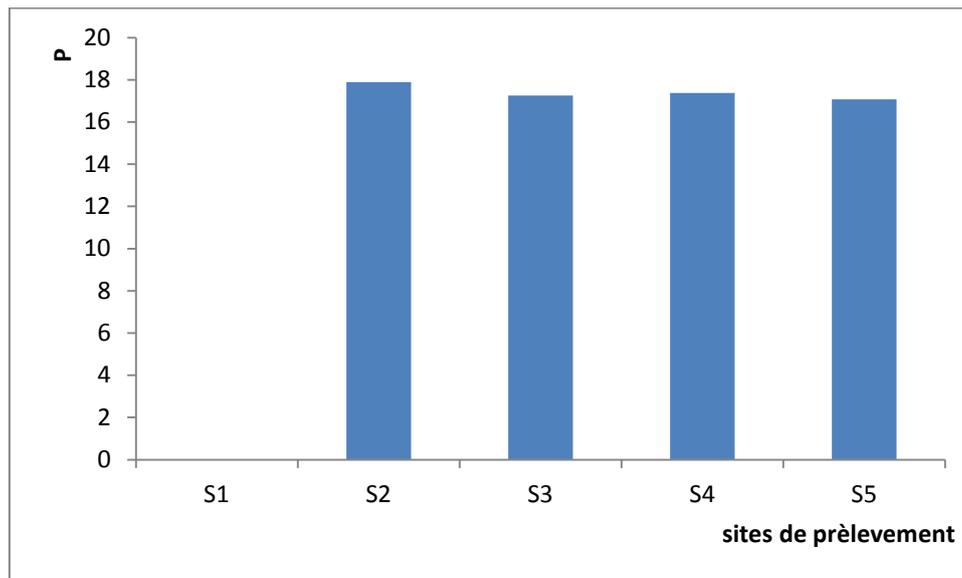


Figure 17 : Evolution spatiale de la p du sol

On remarque sur cette figure que pour chaque échantillon les cinq valeurs de la porosité sont quasiment identiques. Les valeurs moyennes obtenues sur les porosités expérimentales ainsi que les mesures d'incertitude correspondantes sont consignées dans le figure 17.

On peut remarquer que les résultats expérimentaux sur la porosité sont, dans l'ensemble, en bon accord avec les valeurs théoriques. On note tout de même que les valeurs expérimentales sont légèrement supérieures aux valeurs théoriques. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ces résultats :

- Des phénomènes de retrait ont pu contribuer à augmenter légèrement la porosité du milieu.
- Le volume mort ne serait pas exactement le même selon que l'on utilise le matériau continu ou l'échantillon de sol.
- Le système hydraulique qui assure le compactage n'a pas réussi à donner à l'échantillon la compacité théorique escomptée,

- Il y a eu probablement une perte de masse de sol lors du processus de préparation des échantillons. Toutefois, l'ensemble des résultats montrent que la méthode proposée permet de déterminer, avec une bonne approximation, la porosité totale d'un sol.

3.5. Matière organique :

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. Les résultats des sols étudiés montrent que 3% des sols analysés sont 'tres riche' en matière organique et ça peut être expliqué par l'influence de le climat humide et tres humide de notre région d'étude (**figure 18**). De ce fait, l'utilisation des apports organiques comme amendement améliore la situation stable de ces sols.

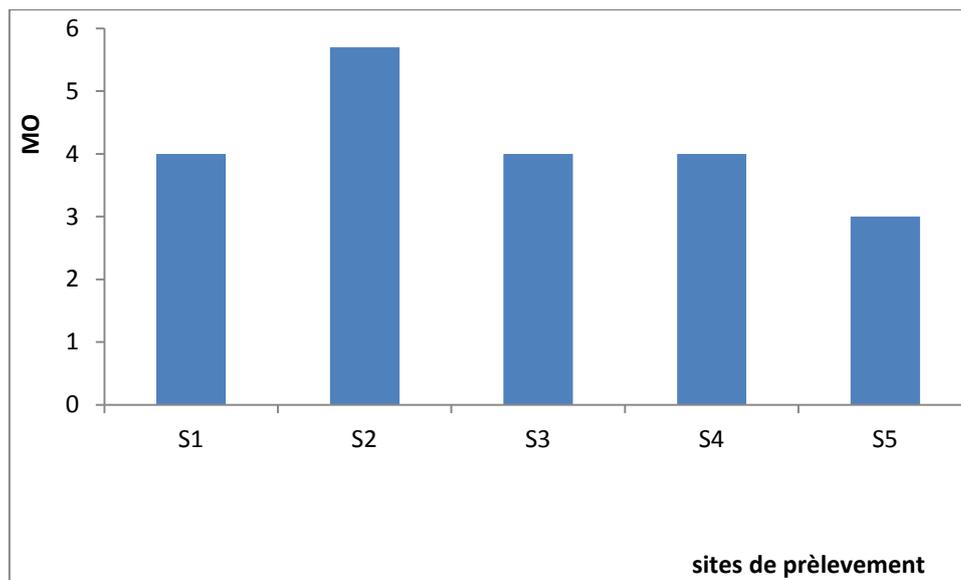


Figure 18 : Evolution spatiale de la M.O du sol

Matière organique : Une teneur en matière organique (DBO) peut entraîner la formation d'une couche de la boue biologique dans les canalisations et les ajustages d'arrosage.

Conclusion :

La situation actuelle de la qualité des eaux et des sols du périmètre l oude –seybouse ont montré que :

- Les sols étudiés ne sont pas affectés par les problèmes de salinité et juste 5% qui présentent le problème d'alcalinité.
- Les sols sont, en général, tres riche en matière organique et on phosphore mais riche en potassium et le ph faiblement basique et la conductivité des sol est très forte et dépasse les normes internationale des solde la FAO (<3 mS/cm) ,et les valeurs de salinité sont limitées dans la plage de variations qui concorde bien avec les normes algériennes décries pour les sol

Un suivi régulier et une rationalisation de l'utilisation des eaux et des sols est nécessaire pour une exploitation durable de ces terres agricoles.

CONCLUSION GENERALE :

Au cours de ce travail de synthèse, nous avons traité la problématique de la variation de la qualité de l'eau d'irrigation et son influence que ça soit sur le sol ou sur le fonctionnement des réseaux d'irrigation en général.

En effet, nous avons abordé en détail les différentes qualités de l'eau d'irrigation ainsi que leurs provenances tout en spécifiant leur aptitude à être utilisée dans le domaine agricole.

Un domaine qui nécessite d'avantage d'attention vu les risques auxquels est exposé, non seulement la plante, mais aussi le sol dans le cas d'un usage non rationnel de cette ressource que ça soit en termes de quantité ou bien en qualité.

Une attention particulière a été portée sur l'importance de la qualité d'un sol dans le cas d'une éventuelle exploitation hydro-agricole. Ceci afin d'assurer un bon rendement agricole.

Celui-ci ne peut être assuré, qu'en faisant un bon choix de la technique d'irrigation qui sera L'aboutissement d'un compromis raisonné entre plusieurs exigences, d'abord technique puis économique. Ce choix est conditionné par la maîtrise des informations suivantes :

- des besoins en eau à satisfaire.
- des exigences imposées par la nature du sol et par le type de culture.
- des pratiques culturales.
- de la qualité de l'eau d'irrigation.
- de la configuration des parcelles à irriguer.

Raison pour laquelle nous avons traité au cours de ce travail, les différentes techniques d'irrigation, afin d'en connaître les avantages et les inconvénients de chacune d'entre-elles et d'en ressortir selon le cas du projet, la technique la plus convenable.

Pour pouvoir reprendre à la problématique posée, nous avons du évoquer l'incidence des eaux d'irrigation de différentes provenances à savoir les eaux souterraines, superficielles, ainsi que les eaux usées brutes et épurées, et ce, à travers une exposition succincte de quelques études expérimentales traitant la même problématique.

Il s'avère d'après ce travail de synthèse que les eaux d'irrigation en général, peuvent en effet affecter plusieurs propriétés du sol à savoir :

- la densité apparente du sol
- la porosité du sol
- la teneur en eau des sols
- la perméabilité du sol
- la conductivité électrique du sol

- le pH du sol

L'incidence de la qualité des eaux d'irrigation sur le bon fonctionnement des réseaux d'irrigation sous pression est caractérisée par le phénomène du colmatage que nous avons pu évoquer en détail. Celle-ci a pu être caractérisée à travers une étude expérimentale que nous avons exposée au cours de ce travail

Références bibliographiques :

1. Camuzard j. P., 2005. Le sol, un milieu complexe au pouvoir epurateur limite engref paris.
2. El hali , l'impact de l'irrigation sous pression sur le sol et sur l'eau dans le secteur n°4 -région de l'oudaya- , université cadi ayyad faculté des sciences et techniques marrakech ; 20/02/2015,p23-p26.
3. El hali , l'impact de l'irrigation sous pression sur le sol et sur l'eau dans le secteur n°4 -région de l'oudaya- , université cadi ayyad faculté des sciences et techniques marrakech ; 20/02/2015.
4. Etude de la qualité physico-chimique des eaux et des sols de la région souss massa, (cas de périmètre issen), maroc (study of physic-chemical quality of water and soil in the region souss massa (case perimeter issen), morocco).
5. F.bouchemal , la réutilisation des eaux usées en agriculture a partir de la station d'épuration (step 2) de la wilaya el- oued, université echahid hamma lakhdar el oued, 2020/2021,p29-p31.
6. F.bouchemal , la réutilisation des eaux usées en agriculture a partir de la station d'épuration (step 2) de la wilaya el- oued, université echahid hamma lakhdar el oued, 2020/2021,p33,34.
7. F.bouchemal , la réutilisation des eaux usées en agriculture a partir de la station d'épuration (step 2) de la wilaya el- oued, université echahid hamma lakhdar el oued, 2020/2021.
8. horning h m., 1973. Rôle de l'aménagement rationnel de l'eau d'irrigation au niveau des exploitations. Séminaire régional fao/pnud damas. 7-13 décembre 1971. 10-21p.
9. Laouata , étude et developpement de l'irrigation souterraine en algerie, memoire de master, ecole nationale superieure d'hydraulique -arbaoui abdallah-, jan – 2015,p1.
10. Laouata , étude et developpement del'irrigation souterraine en algerie, memoire de master, ecole nationale superieure d'hydraulique -arbaoui abdallah-, jan – 2015,p13-p18.
11. Laouata , étude et developpement de l'irrigation souterraine en algerie, memoire de master, ecole nationale superieure d'hydraulique -arbaoui abdallah-, jan – 2015,p22-p30.
12. Laouata , étude et developpement de l'irrigation souterraine en algerie, memoire de master, ecole nationale superieure d'hydraulique -arbaoui abdallah-, jan – 2015,p3-p8

13. Laouata , étude et developpement de l'irrigation souterraine en algerie, memoire de master, ecole nationale superieure d'hydraulique -arbaoui abdallah-, jan – 2015.
14. Mirsal a., 2004. Soil pollution. Origine, monitoring and remediation. Springer verlag berlin heidelberg.
15. Qualite des eaux usees et sa possibilite d'utilisee en Agriculture de la station de kouinine el oued (se algerie). Bouselsal boualem¹, medjani fethi², fenazi bilal³ et belksier Mohammed salah⁴.
16. Sayad I., (2008) qualité physicochimique et bactériologique des eaux. Mémoire de magister. Université badji mokhtar annaba. 120p.
17. S.terchi ,d'irrigation sur la fertilité du sol, la plante et le rendement des systemes d'irrigation . Memoire de master.ecole nationale superieure d'hydraulique –arbaoui abdallah-.septembre – 201 p1-p8.
18. S.terchi ,d'irrigation sur s. Fertilité du sol, la plante et le rendement des systemes d'irrigation . Memoire de master.ecole nationale superieure d'hydraulique –arbaoui abdallah-.septembre – 2014 ,p16.
19. S.terchi ,d'irrigation sur la fertilité du sol, la plante et le rendement des systemes d'irrigation . Memoire de master.ecole nationale superieure d'hydraulique –arbaoui abdallah-.septembre – 2014.
20. Une méthode mécanique pour déterminer la porosité totale d'un sol a mechanical method to determine the total porosity of soil samuel ouoba 1 ; 1université de ouagadougou, laboratoire de physique et de chimie de l'environnement, ufr-sea, 03 bp ; 7021, burkina faso , 2université montpellier 2, laboratoire de mécanique et génie civil, cc048, place eugène bataillon, 34095, ;montpellier cedex 5, france.
21. Xanthoulis d. (1993)., valorisation agronomique des eaux usées des industries agro-alimentaires. Tribune de l'eau n° :563/3. Ed. Cebedoc, pp: 27-32.
22. Wingardner duane l., 1995, an introduction to soils for environmental professionals, ed. Lewis publishers, etats unis d'amerique .