

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT D'IRRIGATION ET DRAINAGE

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option: IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME DU PROJET :

**ETUDE DE L'IMPACT DE LA QUALITE DES EAUX
D'IRRIGATION SUR LA FERTILITE DU SOL, LA PLANTE
ET LE RENDEMENT DES SYSTEMES D'IRRIGATION**

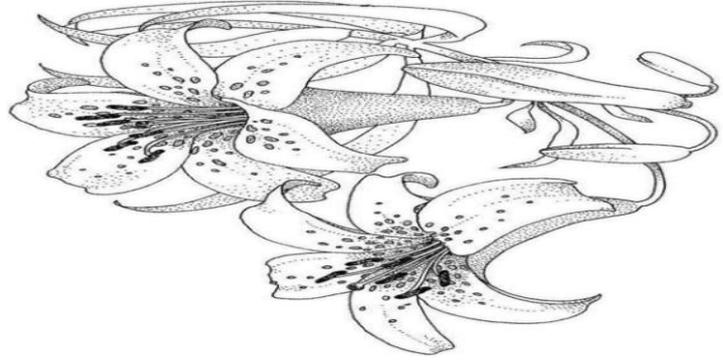
PRESENTE PAR :

M^{elle} TERCHI Sara

Devant les membres du jury

Noms et Prénoms	Grade	Qualité
M ^r MESSAHEL Mekki	Professeur	Président
M ^r BENKACI ALI Tarek	M.C.B	Examineur
M ^{me} MEDJDOUB Sonia	M.A.A	Examinatrice
M ^{me} MAZOUZI Sabra	M.A.B	Examinatrice
M ^r YAHIAOUI Samir	M .A.B	Promoteur

Septembre - 2014



Dédicace:

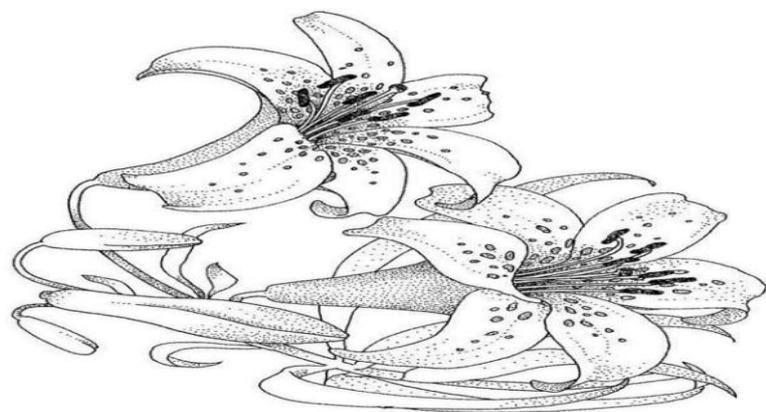
Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance, et bien au-delà, je le dois à mon cher père ABD-EL AZIZ et à ma douce mère HASNA qui m'ont fourni au quotidien un soutien et une confiance sans faille et de ce fait, je ne saurais exprimer ma gratitude seulement par des mots.

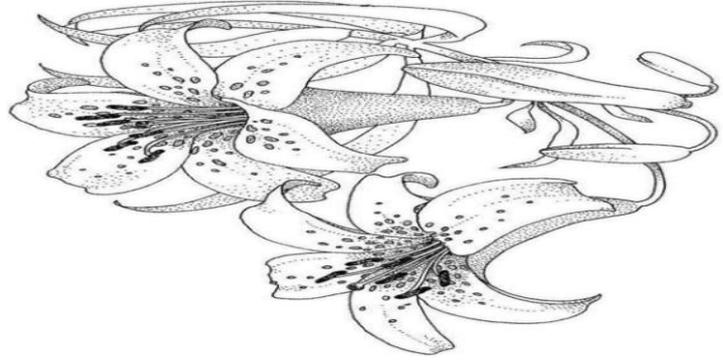
Que dieu vous protège et vous garde pour nous.

A ma précieuse sœur FATIMA.

A mes chères copines SAFIA, KHAYRA, MERIEM, LEILA.

A mes meilleurs amis: NACIM FM, TAK, HAMZA.





Remerciment

Avant tout, je remerci DIEU qui a alluminé mon chemin et qui m'a armé de courage pour achever mes études.

Je remercie fortement mon promoteur : Mr YAHIAOUI SAMIR de m'avoir orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.

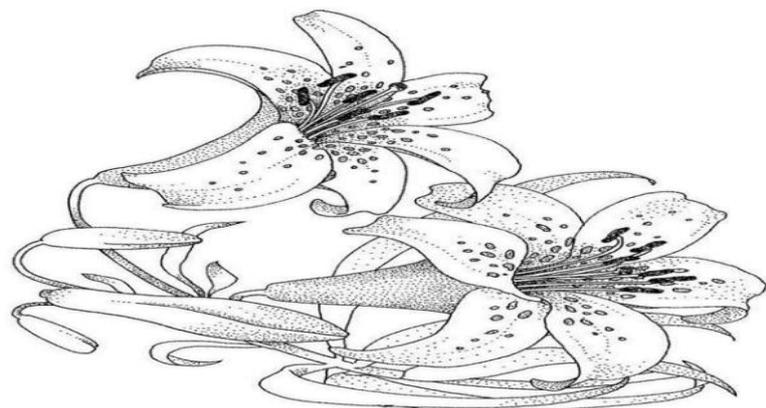
Je remercie Mr MESSAHAL Mekki de son encouragement

Je remercie mes parents pour leur soutien

Je tien a remercier aussi :

Les membres de jury pour avoir accepté d'évaluer mon travail

Le directeur, le corps de l'enseignement et les étudiant de l'ENSH.



ملخص:

ان ندرة الموارد المائية في المجال الزراعي ادى الى البحث عن طرق تهدف الى الرفع والصيانة. من المردود الزراعي. الاستثمار في مجال بناء السدود التي تعاني من مشاكل التوحد ونظرا الى الاستعمال الغير عقلاني للمياه الجوفية في الزراعة، والتي هي في اغلب الاوقات، بدون مراقبة من حيث النوعية و قابلية استعمالها في المجال الزراعي .

انطلاقا من هذا ، اصبحت اعادة استعمال مياه الصرف المطهرة في المجال الزراعي اكثر اهمية من حيث الاقتصاد.

ولهذا ارتأينا في الاخير القيام بحصر هذا الموضوع حول تأثير نوعية المياه المستعملة في السقي على نوعية التربة المسقية ومردود شبكات السقي.

Résumé :

La rareté de la ressource en eau dans le domaine agricole a mené à mettre au point des moyens à fin d'augmenter le rendement agricole. Parmi ces moyens : la construction des barrages qui n'ont pas pu être réchappé des problèmes d'envasement et d'entretien.

Il convient aussi d'évoquer l'usage abusif des eaux souterraines pour des fins agricoles dans la plus part du temps la vérification de la qualité de cette eau et son aptitude à l'irrigation n'est pas toujours respectée.

Dans le même ordre d'idées, le recours à la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture s'est avérée une des solutions les plus prometteuses et les plus économiques.

Dans ce contexte nous allons essayer d'aborder au cours de ce travail, les effets et les problèmes qui peuvent être engendrés par les eaux d'irrigation sur la qualité du sol irrigué et sur le rendement et le bon fonctionnement des réseaux d'irrigation.

Abstract :

The scarcity of water resources in agriculture developing ways to increase agricultural yield. The investment in the construction of dams could not escape problems of silting and maintenance. It should also be mentioned the misuse of groundwater for agricultural purposes. Most of the time checking the quality of water and its suitability for irrigation is not always respected. In the same way, the use of reuse of purified wastewater in agriculture has proved one of the most economical solutions. In this context we will try to address in this work, the effects and problems that can be caused by irrigation water quality of irrigated soil and performance and proper operation of irrigation systems.

SOMMAIRE

Introduction générale

Chapitre I : Revue bibliographique sur la qualité des eaux d'irrigation

Introduction

I. Les ressources en eau pour l'irrigation	01
I.1 Les eaux de surface	01
I. 1.1 Origine et définition.....	01
I.1 2 Types d'eau de surface.....	01
a. <i>Eaux courantes</i>	01
b. <i>Eaux stagnantes</i>	01
I.2 Les eaux souterraines	02
I.2.1 Origine et définition	02
I.2.2 Types d'eau souterraine	02
I.2.2.1 nappes d'eaux	02
a. Les nappes libres	03
b. Les nappes captives	03
I.3 Les eaux usées épurées	03
I.3.1 Origine et composition des eaux usées	03
I.3.1.1 les eaux usées domestiques	03
I.3.1.2 Les eaux usées industrielles	04
I.3.1.3 Les eaux pluviales	04
I.3.1.4 Les eaux usées agricoles drainées	04
I.3.1.5 les eaux usées issues des matières de vidanges	04
II. Méthode d'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation	05
II.1 Risque de salinité	05
II.1 Risque d'alcalinité (excès en sodium)	05
II.2 Risque lié aux carbonates et aux bicarbonates.....	06
II.2.1 Carbonate de sodium résiduel (RSC).....	06
II.3 Risque liée aux éléments toxiques.....	07
II.4 Les nutriments.....	07
II.5 Les métaux lourds.....	07
III.4 Classification des eaux d'irrigation.....	09
III.4.1 La classification de l'U.S.S.L.....	09
III.4.1.1 Teneur en sel.....	10
III.4.2 Classification de Christiansen (1977)	11
III.4.3 La classification de ayers et westcot (1985).....	12
III.4.4 Classification par le Diagramme de facies chimique des eaux	13
III.4.4.1 Diagramme de piper.....	13
III.4.4.2 Diagramme de Schoeller Berkloff.....	13
Conclusion.....	14

Chapitre II : Caractéristiques et classifications des sols

Introduction.....	16
I. Principaux composants du sol	17
II. caractéristiques du sol	17
II.1 La texture	17
II.2 la structure	18
II.2.1 Porosité	19
II.2.2 Microporosité, mésoporosité et macroporosité	20
III. L'eau dans le sol	21
III.1 Etats de l'eau.....	21
III.1.1 Stockage et circulation de l'eau dans le sol	22
III.1.1.1 Rétention de l'eau dans le sol :(hydrostatique du sol).....	22
a. la teneur en eau pondérale	22
b. La teneur en eau volumique	22
III.1.1.2 Transport de l'eau dans le sol : (hydrodynamique du sol)	22
a. Les équations particulières du transport d'eau	22
b. la conductivité hydraulique	23
III.1.1.3 Conductivité hydraulique des milieux saturés en eau.....	23
III.1.1.4 Conductivité hydraulique des milieux non saturés.....	23
IV. Les bases de la fertilité du sol.....	24
IV.1 La fertilité physique	25
IV.2 La fertilité chimique.....	25
IV.3 La fertilité organique.....	26
Conclusion.....	26

Chapitre III : Techniques et modes d'irrigation

Introduction	27
III.1 Les différentes techniques d'arrosages.....	27
III.1.1 L'irrigation de surface.....	27
III.1.1.1 Irrigation par ruissellement.....	27
a- Les planches de ruissellement ..	27
b- L'arrosage à la raie	28
III.1.1.2 Irrigation par submersion.....	29
III.1.1.3 L'irrigation mixte.....	30
III.1.2 L'irrigation par aspersion.....	30
III.1.2.1 Les différents dispositifs de l'irrigation par aspersion.....	31
a- Les couvertures d'asperseur.....	31
III.1.3 L'irrigation localisée.....	32
III.2 Choix des techniques d'irrigation	34
Conclusion	34

Chapitre IV : Impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol, la culture et le rendement des systèmes d'irrigation

Introduction.....	36
I. IMPACT DE LA QUALITE DE L'EAU SUR LE SOL ET LA PLANTE	36
I.1 Impact sur le sol	36
I.1.1 Problème de salinité et sodicité des sols.....	37
I.1.1.1 La dégradation des sols par salinisations.....	37
I.1.1.2 La dégradation des sols par alcalinisation.....	38
a. Taux de sodium échangeable	39
b. La conductivité électrique du sol	39
I.1.2 Problème de perméabilité.....	40
I.1.3 Problème de toxicité	40
I.2 Impact de l'utilisation des eaux souterraine en irrigation sur le sol et plante.....	40
I.3 Impact de l'utilisation des eaux usées épurées sur le sol et la plante	41
I.3.1 Risques associés à la réutilisation des eaux usées sur le sol.....	41
I.3.1.1 risques sanitaires.....	41
I.3.1.2 Risques environnementaux.....	41
a- La salinisation du sol irrigué par les EUT	41
b- Accumulation de métaux dans le sol	42
I.3.2 Effet de l'irrigation par les EU sur les plantes cultivées.....	42
I.3.3 Mise en évidence de l'influence des eaux usées épurées sur le sol à travers deux études expérimentales réalisées à l'ENSH.....	43
I.3.3.1 Présentation de l'expérimentation faite à l'ENSH traitant l'impact de la réutilisation des eaux usées sur les propriétés physicochimiques et physico-hydriques du sol.....	43
a- Objectif	43
b- protocole expérimental	43
c- Résultats de l'étude	44
I.3.3.2 Présentation de l'expérimentation Faite à l'ENSH traitant l'incidence de l'irrigation des sols avec les eaux usées brutes.....	45
a- Objectif	45
b- Présentation du dispositif expérimental	45
c- Résultats de l'étude	47
I.4 Impact de la qualité des eaux superficielles sur le sol.....	47
I.4.1 Exemple de l'étude expérimentale traitant l'impact des eaux du lac de Réghaia....	47
II. IMPACT DE LA QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION SUR LE RENDEMENT DES SYSTEMES ET DES RESEAUX D'IRRIGATION.....	48
II.1 Contribution de la qualité de l'eau d'irrigation au colmatage des réseaux d'irrigation sous pression.....	49
II.1.1 Le colmatage biologique.....	49
II.1.2 Le colmatage chimique.....	51
II.1.3 Le colmatage minéral.....	51
II.2 Exemple d'une étude expérimentale faite à l'ENSH traitant le colmatage des	

gouteurs alimentés par des eaux usées épurées.....	52
II.2.1 Objectif de l'étude.....	52
II.2.2 Description du site expérimental au niveau de l'école nationale supérieure de l'hydraulique.....	53
II.2.3 Résultats de l'étude.....	54
Conclusion.....	54

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Caractéristiques générales de la zone d'étude

Tableau I.1 : niveau du risque dû au carbonate de sodium résiduel	06
Tableau I.2 limites recommandées(1) en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées a l'irrigation	09
Tableau I.3 :la conductivité électrique	10
Tableau I.4 : la teneur en sodium (SAR)	10
Tableau. I.5 : Classification de Christiansen	11

Chapitre II : Etude hydrologique

Tableau II.1 : échelle granulométrique de la texture du sol	17
Tableau II.2 : Les différentes structures du sol et leurs propriétés	19

Chapitre IV : Calcul des besoins en eaux des cultures

Tableau IV.1 : catégories de sol salés et sodique	39
--	----

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie est caractérisée, dans la plupart de ses régions, par son climat semi-aride à aride. Le pays souffre autant de l'insuffisance des pluies que de leur mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace. Les contraintes du climat, la croissance démographique et les transformations économiques et sociales sont à l'origine d'une demande qui ne cesse pas d'augmenter. Parallèlement, le recours à l'irrigation est devenu une nécessité, étant donné l'importance du déficit hydrique et l'intensification de l'agriculture.

Or, face à ces demandes, les ressources en eau sont rares et insuffisantes pour combler ce manque.

Par conséquent la recherche des moyens plus efficaces pour aller de l'avant et améliorer le rendement agricole par le gouvernement à partir de la construction des retenues collinaires et des barrages dans les régions les plus déficitaires. Et vu que les eaux souterraines sont usées d'une manière abusive dont la plupart des fois la qualité de cette eau n'est pas toujours vérifiée juste pour satisfaire l'ensemble des besoins en eau des cultures on est contraint d'utiliser des eaux de qualité marginale en agriculture.

Dans ce contexte, l'utilisation des eaux usées traitées en irrigation est devenue une nécessité et fait partie intégrante de la stratégie actuelle de mobilisation de toutes les ressources disponibles.

En effet, l'usage de ces eaux non conventionnelles est conditionné par des normes et des réglementations strictes qui sont souvent non respectées en Algérie.

Dans ce travail nous allons essayer d'aborder, les effets et les problèmes qui peuvent être engendrés par les eaux d'irrigation et leur qualité sur les caractéristiques physicochimique et hydro chimique des sols irrigués et sur le rendement et le bon fonctionnement des réseaux d'irrigation, et afin de renforcer l'idée on s'est appuyé sur les résultats des études déjà faites et qui traitent la même problématique.

Pour bien mener cette recherche, nous avons réparti notre travail en quatre chapitres comme suit:

- Revue bibliographique sur la qualité des eaux d'irrigations.

- Classifications des sols
- Technique et mode d'irrigations
- Impacte de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol et sur le rendement des systèmes d'irrigation.

Chapitre I :

Revue bibliographique sur la qualité des eaux d'irrigation

Introduction

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

➤ **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 résiduelles 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 de saturation 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.

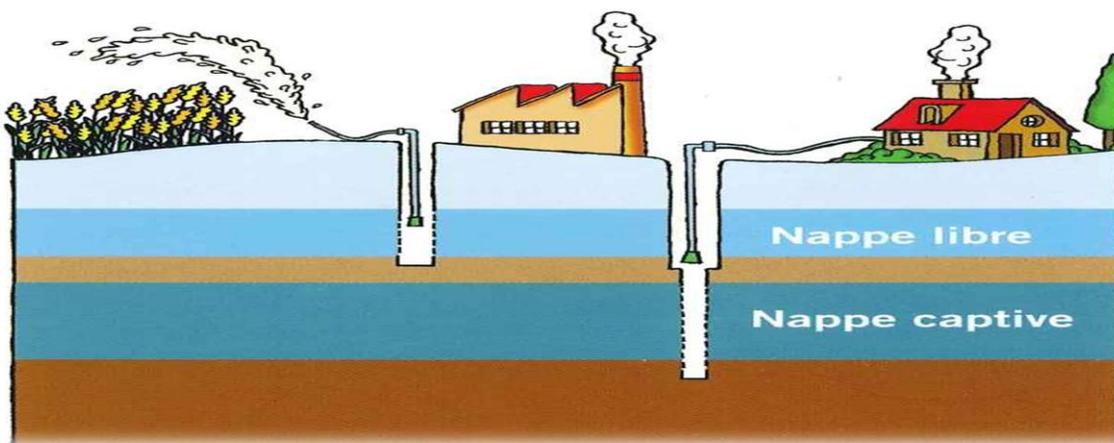


Figure I-1 : Schéma distinctif d'une nappe libre ou captive

I.3 Les eaux usées épurées

I.3.1 Origine et composition des eaux usées

On distingue plusieurs grandes catégories d'eaux usées :

I.3.1.1 les eaux usées domestiques

Sont issues des habitations, elles comprennent :

- Les eaux ménagère ou eaux grise d'évacuation des cuisines et salle de bain. Elles sont polluées par des détergents, les lessives et les graisses, les eaux de vaisselle.
- Les eaux de vanne d'évacuation des toilettes. Les déchets présentent dans ces eaux souillées sont constitués de matière organique dégradables et de matières minérales.ces substances sont sous forme dissoute et en suspension.

La composition des eaux usées d'origine domestique peut être extrêmement variable et dépend de trois facteurs :

1. La composition originelle de l'eau potable, de la qualité de traitement de cette eau, des normes sanitaires du pays concerné, de la nature de canalisation...etc.
2. Les diverses utilisations par les particuliers qui peuvent apporter un nombre quasi-infini de polluants : tous les produits d'entretien, lessives mais aussi, solvants, peinture, mercure de thermomètre, colle...etc.
3. Le rejet de la matière organique dans les égouts (urines et fèces) ; sachant que la matière organique est le polluant majoritaire des eaux domestiques.

I.3.1.2 Les eaux usées industrielles

Ces rejets résultent des usines : laiteries, industries de textile, commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc.

Les rejets industriels peuvent suivre trois voies d'assainissement :

- Soit ils sont directement rejetés dans le réseau domestique ;
- Soit ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique ;
- Soit ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel.

I.3.1.3 Les eaux pluviales

Les eaux pluviales peuvent être fortement polluées en particulier en début de pluie du fait du lessivage des fumées dans l'atmosphère des lavages des chaussées grasses et des toitures chargées de poussière, du lessivage des zones agricoles traitées (écoulement de purin, épandage d'engrais et de désherbants) et des zones de terrassements (écoulement de boues). Les polluants présents dans ces eaux peuvent être des matières organiques biodégradables ou non, des matières en suspension ou dissoutes, des toxiques.

I.3.1.4 Les eaux usées agricoles drainées

Issues des élevages, elles sont polluées notamment par les déjections des animaux et les eaux excédentaires des champs agricoles ; elles sont généralement riches en sels.

I.3.1.5 Les eaux usées issues des matières de vidanges

Les matières de vidanges correspondent aux matières extraites de l'entretien des systèmes épuratoires individuels. Elles constituent un concentré de pollution domestique, leur évacuation et collecte font partie intégrante de l'assainissement.

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/m^3).

Elle peut être aussi mesurée grâce à la conductivité électrique de l'eau d'irrigation(CE_w), qui est exprimée en millimhos par centimètre (mmhos/cm) ou decisiemens par mètre (ds/m) ou microsiemenspar mètre (ds/m) ou microsiemens par centimètre, sachant que $1\text{ds}/\text{m}=1000\mu\text{s}/\text{cm}$.

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 :

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

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 (MgCO) 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 peu apparaitre dans certains rapport 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

Source: [3]

- 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) :

$$SAR_{ajusté} = SAR * [1 + (8,4 - PH_C)]$$

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

$$PH_c = (PK'_2 - PK'_c) + P(Ca + Mg) + p(Alk)$$

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 $CaCO_3$

$P(Ca + Mg)$: 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.

Avec :

$PH_C > 8,4$	$SAR_{ajusté} < SAR$	L'eau a tendance de dissoudre le $CaCO_3$ du sol
$PH_C < 8,4$	$SAR_{ajusté} > SAR$	L'eau a tendance à précipité le $CaCO_3$

Source : [3]

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 à 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) [4].

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, à 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 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.

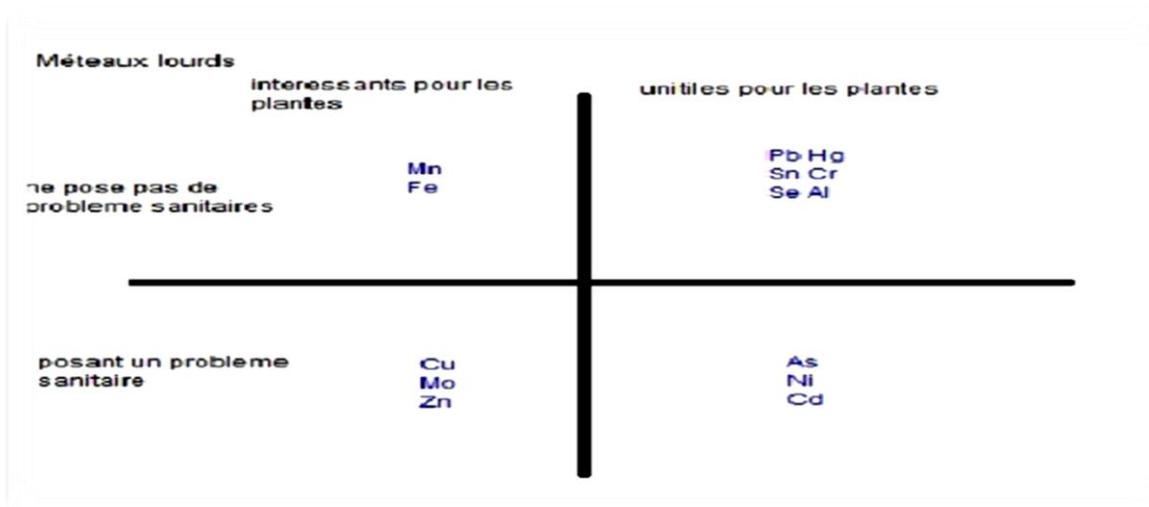


Figure I.2 : classification des métaux en fonction de leur dangerosité et de leur intérêt agronomique

Cette classification a été réalisée à partir des recommandations du conseil supérieur de l'hygiène publique de France (CSHPF) de 1991.

Le manganèse(Mn), le fer (Fe), le plomb (Pb), le sélénium (Se), l'étain(Sn), le mercure (Hg), le chrome(Cr) est sous forme ionique (Cr^{3+}), l'aluminium (Al), du cuivre (Cu), du molybdène (Mo), du Zinc(Zn), de l'arsenic (As), du nickel (Ni), du cadmium(Cd).

Les concentrations maximales en éléments traces recommandées dans les eaux d'irrigation sont dans le **tableau I.2**. Il faut toutefois garder en mémoire que, sauf exception (établissements industriels très polluants raccordés directement au réseau d'assainissement)

Les concentrations en métaux lourds dans les eaux résiduaires sont faibles et ne constituent pas un facteur limitant la réutilisation des eaux usées en irrigation. L'essentiel de ces métaux est retenu dans les boues des stations d'épurations. Il reste cependant prudent, afin d'éviter tout risqué, de suivre la qualité des eaux recyclées et de tenir compte de leur composition dans le risque des cultures arrosée (*Jean-Antoine FABY, 1997*)

Tableau I.2 limites recommandées⁽¹⁾ en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2000)

Elément (symbole)	Eaux utilisées en permanence tous types de sol (mg/l)	Utilisation allant jusqu'à 20 ans sur des sols à texture fine ayant un PH de 6 à 8,5 mg/l
Aluminium (Al)	5,0	20,0
Arsenic(As)	0,1	2,0
Béryllium(Be)	0,1	0,5
Bore(B)	0	2,0
Cadmium(Cd)	0,01	0,05
Chrome (Cr)	0,1	1,0
Cobalt(Co)	0,05	5,0
Cuivre (Cu)	0,2	5,0
Fluorure (F)	1,0	15,0
Fer (Fe)	5,0	20,0
Plomb (Pb)	5,0	10,0
Lithium (Li)	2,5	2,5
Manganèse (Mn)	0,2	10,0
Molybdène (Mo)	0,01	0,05
Nickel (Ni)	0,2	2,0
Sélénium (Se)	0,02	0,02
Vanadium (V)	0,2	1,0
Zinc (Zn)	2,0	10,0

Source: (national academy of Engineering, 1973)

⁽¹⁾Ayers et westcoc, 1985.

III.4 Classification des eaux d'irrigation

III.4.1 La classification de l'U.S.S.L

C'est classification la plus utilisé en ce qui concerne l'irrigation proposé par laboratoire de Riverside (RICHARD 1954), elle est basée sur :

Selon la salinité et le risque d'alcalinisation des eaux destiné à l'irrigation.

C'est-à-dire :

- la conductivité électrique exprimée en CE (mmhos/cm)
- le SAR (% de Na échangeable)

III.4.1.1 Teneur en sel

Tableau I.3 : la conductivité électrique

Classe	Conductivité électrique en $\mu\text{mhos/cm}$	Définition
C1	< 250	Eau a faible salinité. Elle peut être utilisée pour la plupart des cultures sur la plus part des sols.
C2	250 -750	Eau de salinité moyenne. Elle peut être utilisée s'il se produit un lessivage modéré.
C3	750 -2250	Eau à forte salinité .Elle ne peut pas être utilisée sur des sols faiblement drainés. Même lorsque le drainage est suffisant
C4	2250 - 5000	Eau a très forte salinité. Elle ne convient pas à l'irrigation dans des conditions ordinaires.

Source [5]

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

Classe	SAR	Définition
S ₁	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.
S ₂	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.
S ₃	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.
S ₄	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.

Source : [5]

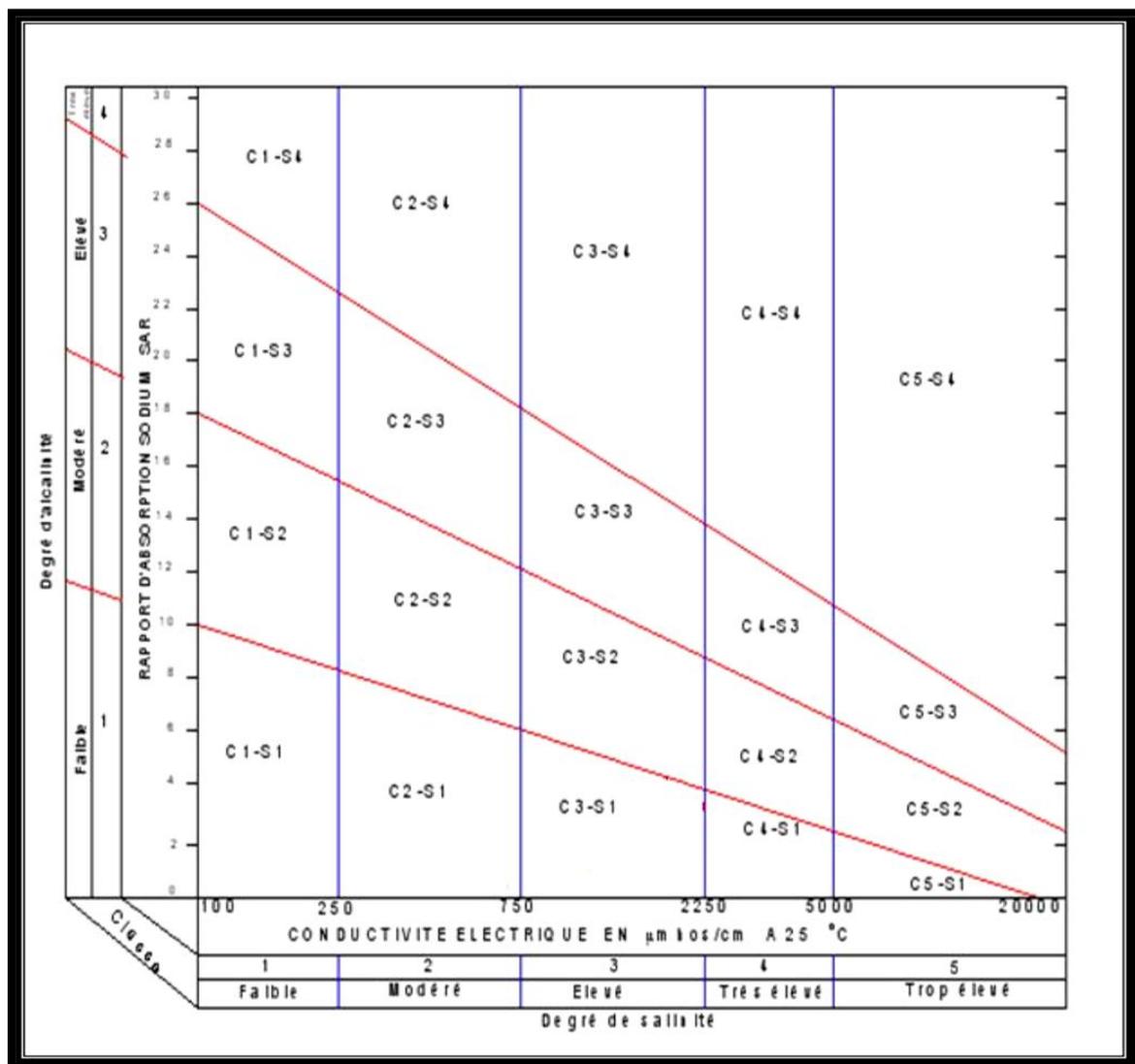


Figure. I.3: Diagramme de classification des eaux d'irrigation
 (D'après united states salinity laboratory, U.S.S.L établie 1954)

III.4.2 Classification de Christiansen (1977)

C'est une classification fondée sur sept critères :

la conductivité électrique, le pourcentage en Na, le SAR, la teneur en Na_2CO_3 , la teneur en Cl, la salinité effective (ES), la teneur en Bore

Tableau.I.5 : Classification de Christiansen . (1977)

Classe	CE en mmhos/cm	Na en %	SAR	Na2CO3 en méq/l	Cl - en méq/l	ES en méq/l	Bore en ppm
1	0,5	40	3	0,5	3	4	0,5
2	1,0	60	6	1,0	6	8	1,0
3	2,0	70	9	2,0	10	16	2,0
4	3,0	80	12	3,0	15	24	3,0
5	4,0	90	15	4,0	20	32	4,0
6	Valeurs supérieures aux limites de 5						

D'autres classifications peuvent être citées celles de Ayers (1977), Rijtina (1981).

Les études réalisées par Durand (1958) sur la qualité des eaux en Algérie montrent que : -5% des eaux en classe C1, 28% des eaux en classe C2, 28% des eaux en classe C3, 21% au delà de 6 mmhos/cm

III.4.3 La classification de Ayers et Westcot (1985)

Le tableau suivant donne la classification proposée par un groupe de chercheurs américains de l'université de Californie.

Tableau 1.6: Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation

Problèmes Potentiels en Irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
Salinité				
EC _w ¹	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
ou TDS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltration				
SAR ² =0 - 3 et EC _w =	dS/m	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
=3 - 6 =		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
=6 - 12 =		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
=12 - 20 =		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
=20 - 40 =		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Toxicité Spécifique des ions				
Sodium (Na)				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Irrigation par aspersion	még/l	< 3	> 3	
Chlorure(Cl)				
Irrigation de surface	még/l	< 4	4 - 10	> 10
Irrigation par aspersion	még/l	< 3	> 3	
Bore (B)	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
effets divers				
Azote (NO ₃ -N) ³	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonate (HCO ₃)	még/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH		Gamme normale 6.5 - 8.4		

source :FAO 1985

III.4.4 Classification par le Diagramme de faciès chimique des eaux

III.4.4.1 Diagramme de piper :

Le diagramme de piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eaux.

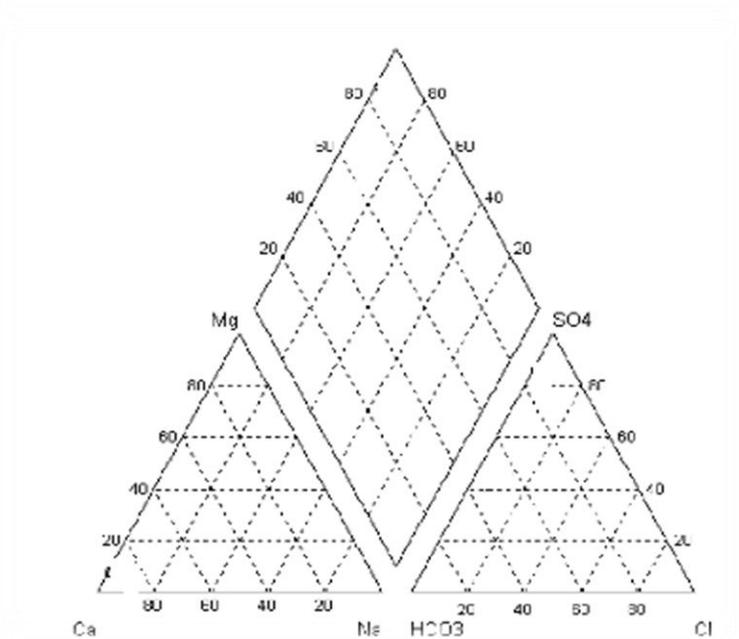


Figure 1.4 : diagramme de piper

Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global.

Ce type de diagramme est particulièrement adapté pour étudier l'évolution du faciès des eaux lorsque la minéralité augmente ou bien pour distinguer des groupes d'échantillons. [6]

III.4.4.2 Diagramme de Schoeller Berkaloff :

Le diagramme de Schoeller Berkalov permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne brisée. La ligne est formée en reliant tous les points figurant le différent élément chimique.

Une classe de minéralité variable mais dont la proportion sont les mêmes pour l'élément dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence. [7]

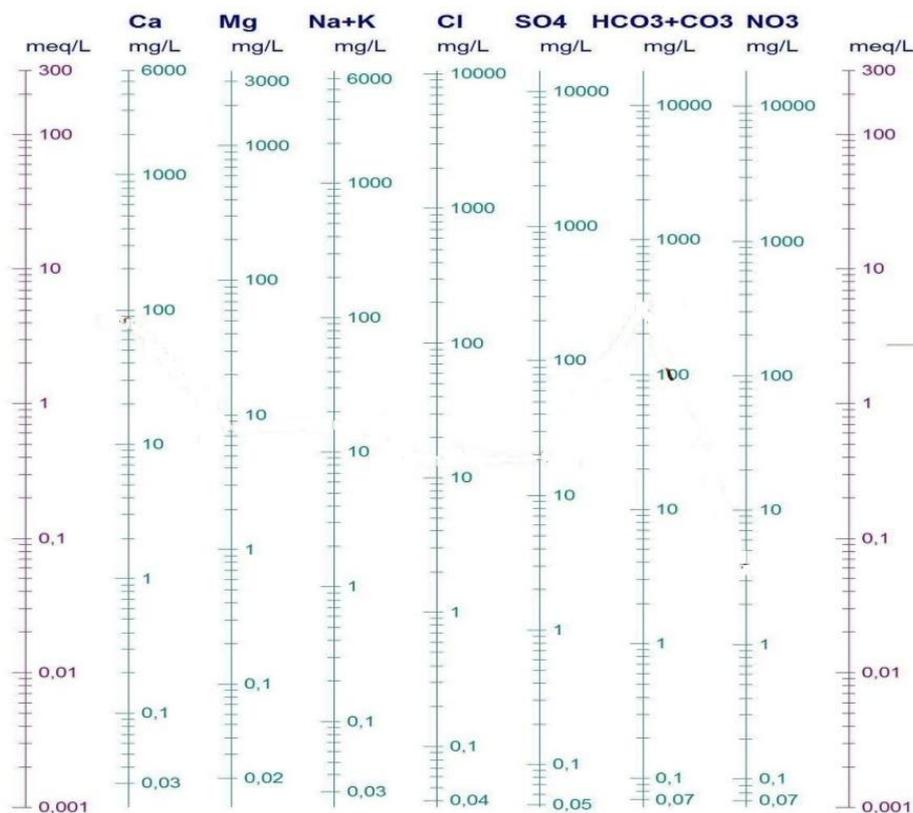


Figure I.5 : diagramme de Schoelle berkaloff

Ces types de classification et d'autres sont rigides et dans plusieurs cas, elles ne tiennent pas compte des facteurs spécifiques qui sont importants pour la détermination de l'utilisation potentielle d'une eau donnée. [8]

La qualité d'une eau d'irrigation doit être évaluée en fonction des conditions spécifiques dans lesquelles elle est utilisée c'est-à-dire la nature des cultures, le type de sol, les modes d'irrigations, les pratiques culturales et les conditions climatiques. En raison de toutes ces réserves les classifications existantes doivent être utilisées comme indicateurs et être vérifiées en fonction des conditions locales d'utilisation.

Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons pu évoquer l'eau dans sa nature et surtout les différentes qualités sous les quelles elle peut se présenter.

Cependant, nous avons bien spécifié les différents types qui peuvent être utilisé 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 ce soit en quantité ou bien en qualité.

Chapitre II:

Caractéristiques et classifications des sols

Introduction :

D'après Stengel et Gelin (1999), le géologue et l'hydrogéologue appliquent le nom de sol aux couches meubles superficielles notamment à toute l'épaisseur surmontant les nappes souterraines, non saturée d'eau en permanence. C'est dans cette zone que les échanges d'eau et des solutés surviennent.

Le sol se forme par l'action directe de l'atmosphère, de la biosphère et du climat sur la lithosphère, il se situe donc à l'interface entre ces différentes composantes de l'environnement et c'est ce qui rend son rôle si important et sa pollution si dangereuse. On confère ainsi au sol d'importantes fonctions environnementales :

- Vis-à-vis, de l'air, le sol exerce une fonction de tampon des pluies acides ou des autres actions anthropiques analogues.
- Vis-à-vis du carbone, séquestration du gaz carbonique de l'atmosphère, des études montrent que ce n'est pas la végétation qui contient le plus de carbone mais le sol [6].
- Vis-à-vis de l'eau, rôle de filtre et de réacteur chimique et biologique pour les nitrates, phosphate, pesticide, etc, ainsi il a pour rôle de portion de la qualité de l'eau (eaux superficielles et souterraines).
- Vis-à-vis des polluants, rôle de piège des polluant minéraux.
- Vis-à-vis de la biodiversité, rôle de réservoir d'organisme et de gène.

Le sol est donc l'environnement où tous déséquilibre ou pollution peut avoir des conséquences sur les différentes composantes de l'écosystème. de plus certaine activités humaine agressent le sol et altèrent ses propriétés. Trois types de dégradation.

- Dégradation physique
- Dégradation chimique
- Dégradation biologique

Le degré de sévérité de ces dégradation va dépendre aussi de la nature du sol(sableux, argileux...) et de sa situation, selon qu'il est soumis au vent, à l'humidité, ect. A cela s'ajoute la déforestation (liée aux trois quart à l'expansion agricole), qui accroît également la détérioration des sols en accélérant leur érosion. Ainsi chaque année, des millions d'hectares disparaissent, deviennent impropres à l'agriculture ou perdent leurs fonctions positives d'épuration de l'eau de régulation des cours d'eau ou accumulation de carbone.

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.

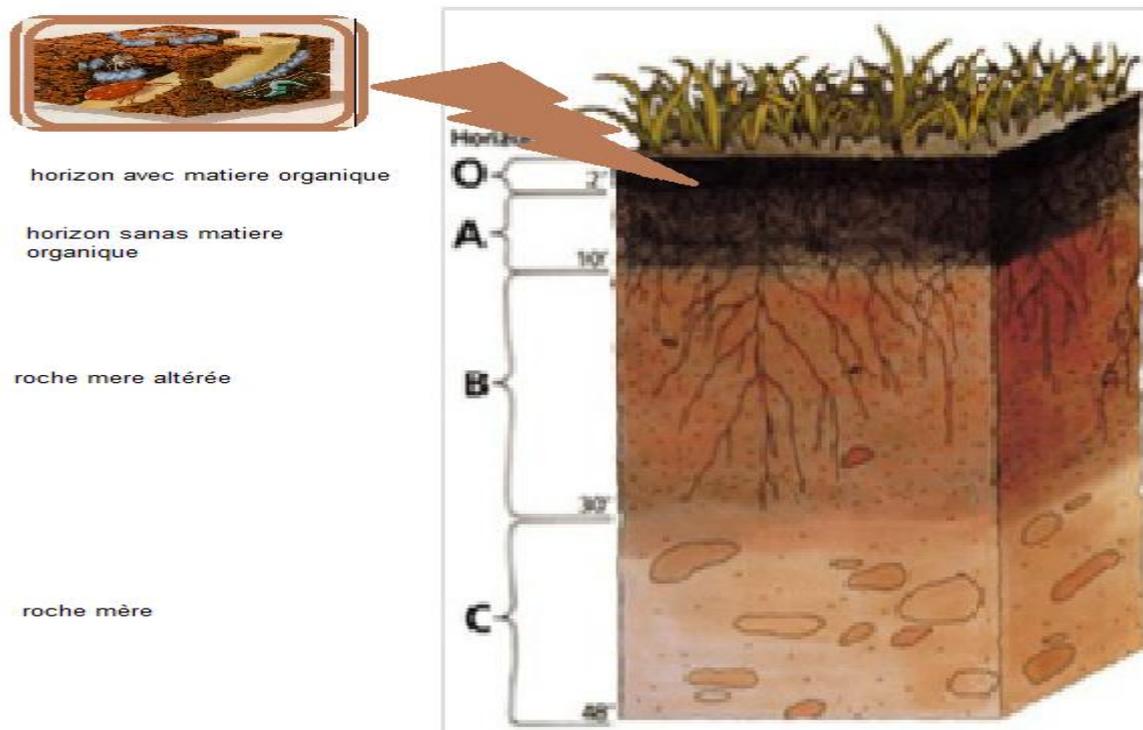


Figure II.1 : Description d'un sol [7]

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 a l'eau et aux éléments dissous) , et une phase gazeuse (composé principalement de l'oxygène, de méthane , de dioxyde 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 a 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	2µm à 20 µm	20 µm a 50 µm	50µm a 200µm	200µm a 2mm	2mm a 20mm	>20 mm

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)

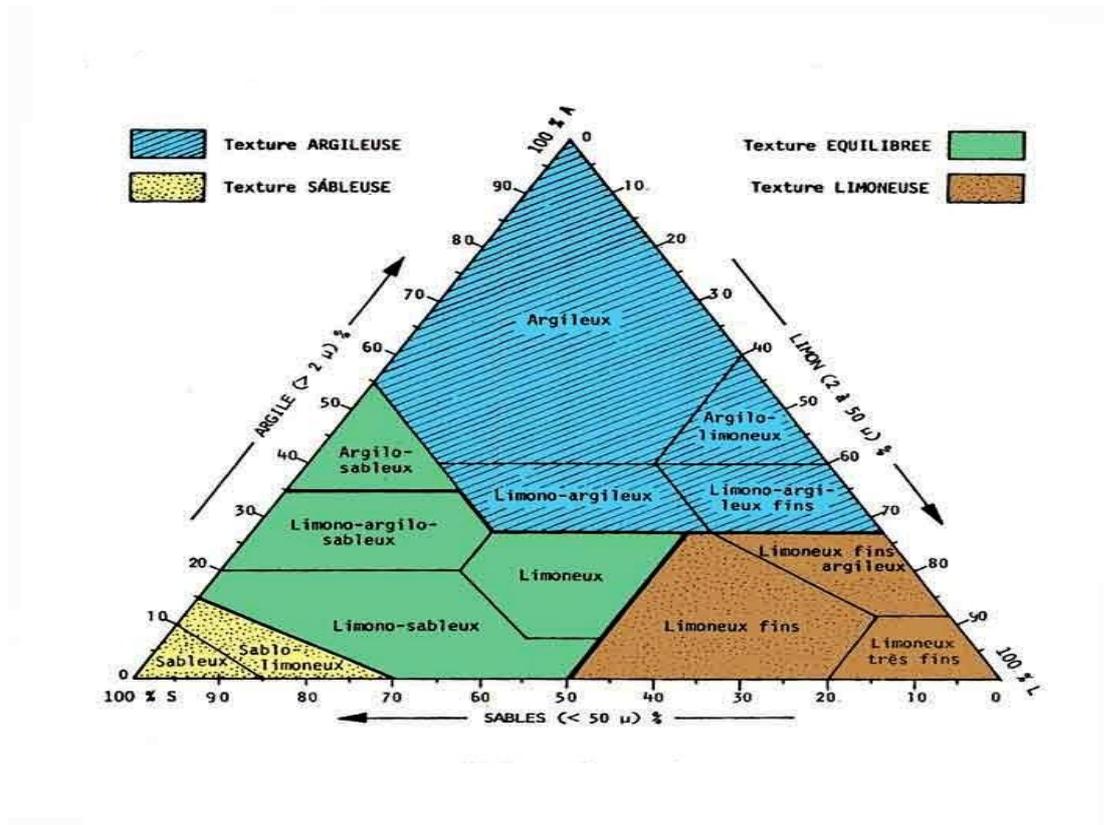


Figure II.2 : le triangle textural

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 macro-agrégats (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 d'ions.
Fragmentaire	Mixte	Très nombreux	- forte rétention d'eau. - bonne porosité, bonne pénétration des racines. - forte rétention d'ions.

Source :

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.

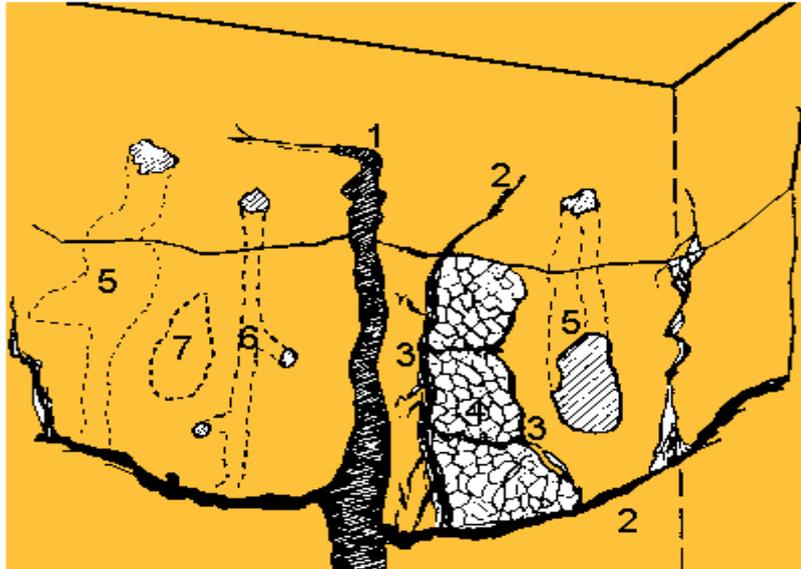


Figure II.3 : porosité du sol (*d'après GAUCHER*).

Légende:

- (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.

II.2.2 Microporosité, mésoporosité et macroporosité

On distingue trois classes de porosité : microporosité, mésoporosité et macroporosité. Selon les auteurs les définitions sont variables, ainsi *Luxmore (1981)* propose des diamètres équivalents de taille de pore inférieurs à 10 μm pour la microporosité, diamètres compris entre 10 et 1000 μm pour la mésoporosité et diamètres supérieurs à 1000 μm pour la macroporosité. D'autre, *Gil (2002)* propose des diamètres équivalents de taille de pore inférieurs à 0.2 μm pour la microporosité, diamètres compris entre 0.2 et 60 μm pour la mésoporosité et diamètres supérieurs à 60 μm pour la macroporosité. Ces différentes classes de porosité sont également caractérisées par une prépondérance variable des différents mécanismes de transfert. Ainsi, les écoulements capillaires prédominent dans la microporosité tandis que les écoulements gravitaires et les écoulements en chenaux sont dominants respectivement dans la mésoporosité et dans la macroporosité.

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'infiltre 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.

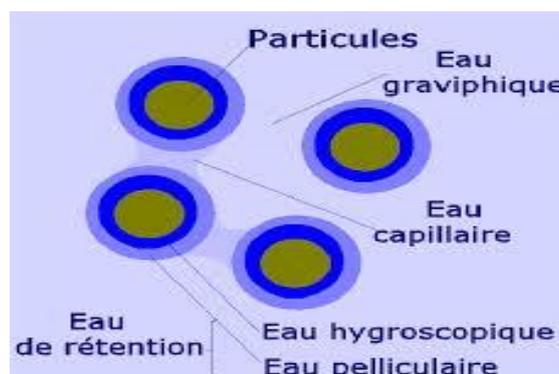


Figure II.4 : Etats de l'eau dans le sol

III.1.1 Stockage et circulation de l'eau dans le sol :

III.1.1.1 Rétenion de l'eau dans le sol :(hydrostatique du sol)

La teneur en eau du sol est une variable d'état, essentielle pour caractériser le sol. Elle peut être exprimée sous deux formes : la teneur en eau pondérale et la teneur en eau volumique.

a. La teneur en eau pondérale

Elle correspond au rapport de la masse d'eau contenue dans le sol à la masse de sol sec.

La méthode classique pour mesurer l'humidité pondérale est relativement simple. Elle est aussi appelée méthode gravimétrique, elle est donnée par l'expression suivante :

$$W = \frac{M_{eau}}{M_{totale\ du\ sol\ sec}}$$

b. La teneur en eau volumique :

Cette valeur intéresse l'hydrologue, l'hydraulicien ; c'est celle qui est utilisée en général dans la modélisation. L'expression mathématique de la mesure de la teneur en eau volumique est alors la suivante :

$$\Theta = \frac{V_{eau}}{V_{totale}}$$

En combinant l'expression de la teneur l'expression de la teneur en eau volumique et celle de la densité apparente, on obtient une relation simple entre la teneur en eau volumique et la teneur en eau pondérale :

$$\Theta = w * d_a$$

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.

- ✚ L'équation de Richards qui donne une description générale du transport de l'eau dans les milieux poreux non saturé en eau [12]

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 où l'écoulement a lieu (granulométrie, forme des grains, 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),

ρ : 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 [13]

III.1.1.3 Conductivité hydraulique des milieux saturés en eau :

En conditions saturées, le potentiel de pression matricielle est nul et la teneur en eau maximale. La conductivité hydraulique est alors constante à sa valeur maximale, qu'on nomme conductivité hydraulique à saturation.

III.1.1.4 Conductivité hydraulique des milieux non saturés :

En condition non saturée, la teneur en eau Θ et la charge de pression h diminuent à mesure que l'on s'éloigne de la saturation.

Les relations liant la conductivité hydraulique à la charge de pression ou à la teneur en eau sont complexes et dépendent du type de sol considéré, par le biais de ces caractéristiques structurales et texturales.

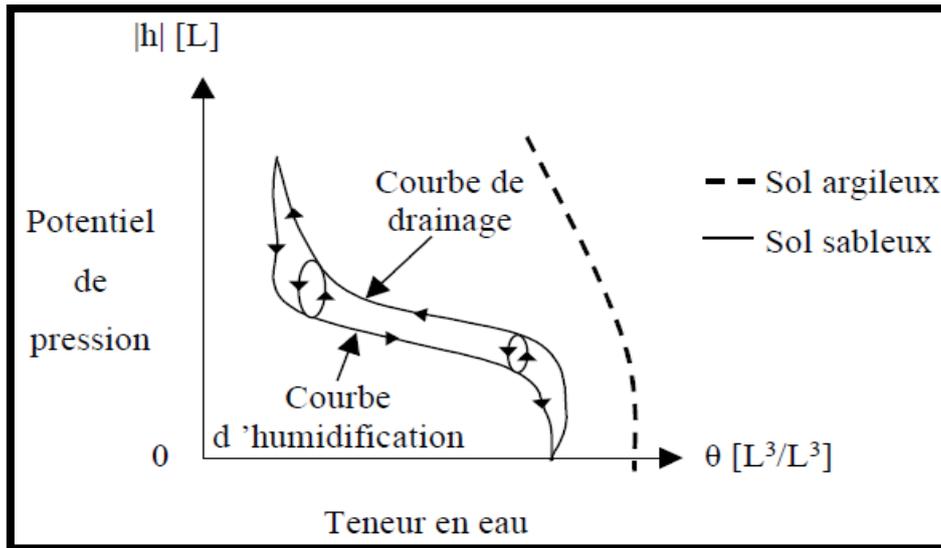


Figure II.5 : Influence de la texture et de la structure sur la relation $h(\theta)$ et effet d'hystérèse

Source : Ghouli, 2009

Selon la loi de Darcy, est l'aptitude du milieu poreux à transmettre l'eau qu'il contient pour un état de saturation donné. La diminution de la teneur en eau entraîne une diminution rapide de la conductivité. En milieu saturé, la conductivité hydraulique est constante et égale à sa valeur maximale (la conductivité à saturation).

La **figure II.6** illustre les relations liant la conductivité au potentiel de pression et à la teneur en eau, lesquelles sont non linéaires et dépendent du type de sol considéré. La relation $K(h)$ est aussi sujette à l'hystérésis.

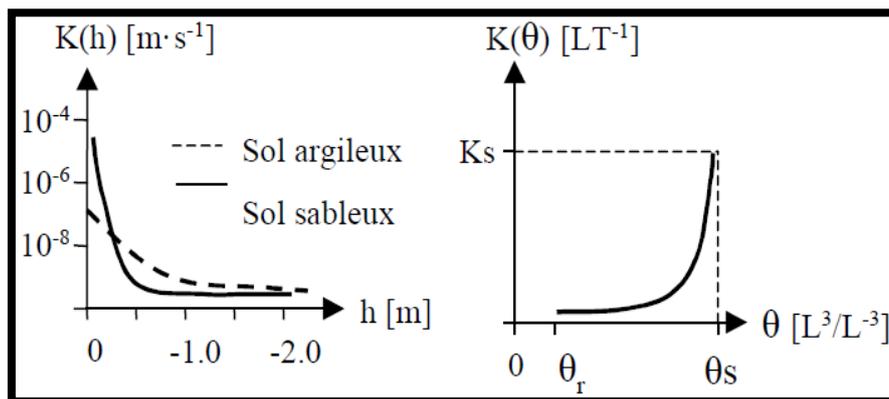


Figure II.6 : Allure générale des fonctions $K(h)$ et $K(\theta)$. (Source : Ghouli, 2009)

IV. Les bases de la fertilité du sol [14]

La fertilité d'un sol dépend de ses propriétés physiques, chimiques, les interactions entre ces différentes propriétés donnant au sol sa capacité à nourrir les plantes.

IV.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 plus fine et plus 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.

IV.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 organique et de l'atmosphère. Les racines puisent dans la solution du sol les éléments majeurs (Ca, N, P, K, Mg....) et les oligo-éléments, la composition de la solution étant régulée par le complexe Argilo-humique (CAH) du sol. C'est un effet du 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 sûr, mais aussi en fonction de la taille du CAH du sol, en général mesurée par la capacité d'échange cationique (CEC).

IV.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 III:

Techniques et modes d'irrigation

Introduction

Quelle que soit l'origine de l'eau et son mode de transport (canaux ou conduites), le problème le plus délicat est le choix de la méthode pour répartir cette eau sur le sol de façon à ce que les plantes en tirent le maximum de profit.

En effet, il s'agit de songer au moyen de distribuer l'eau d'une qualité donnée à travers toute la parcelle irriguée d'une manière équitable.

III.1 Les différentes techniques d'arrosages [15]

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

III.1.1 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.

III.1.1.1 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.

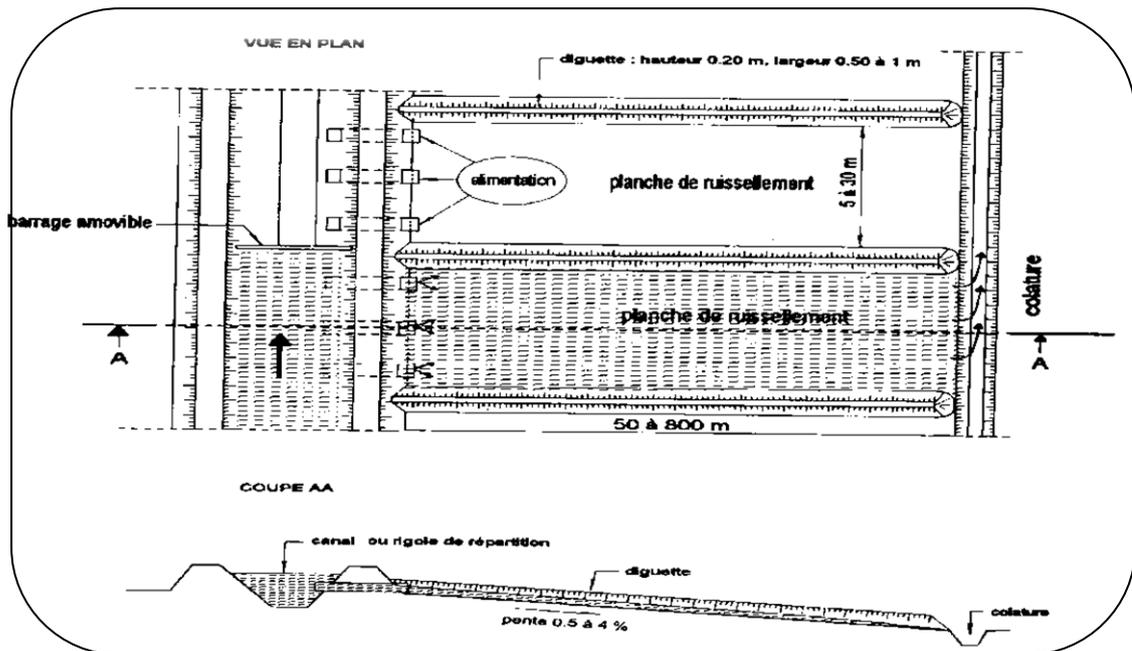


Figure III .1 : irrigation par planche de ruissellement

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'œuvre abondante et qualifiée pour la conduite des arrosages.

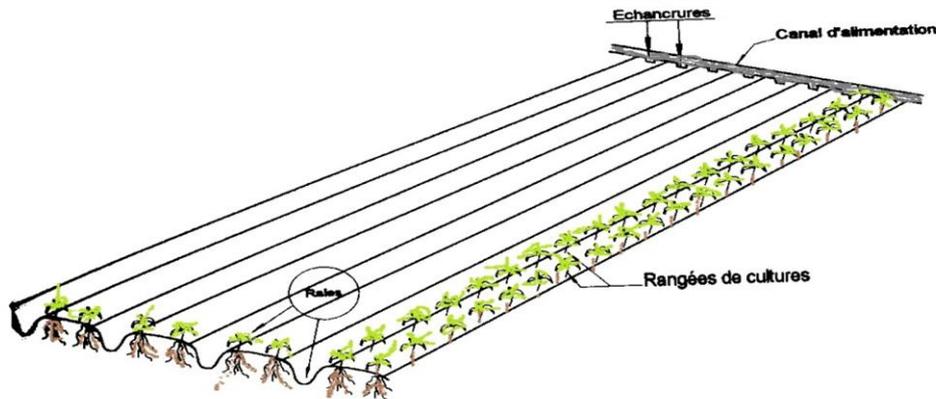


Figure III.2 : irrigation à la raie

III.1.1.2 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.

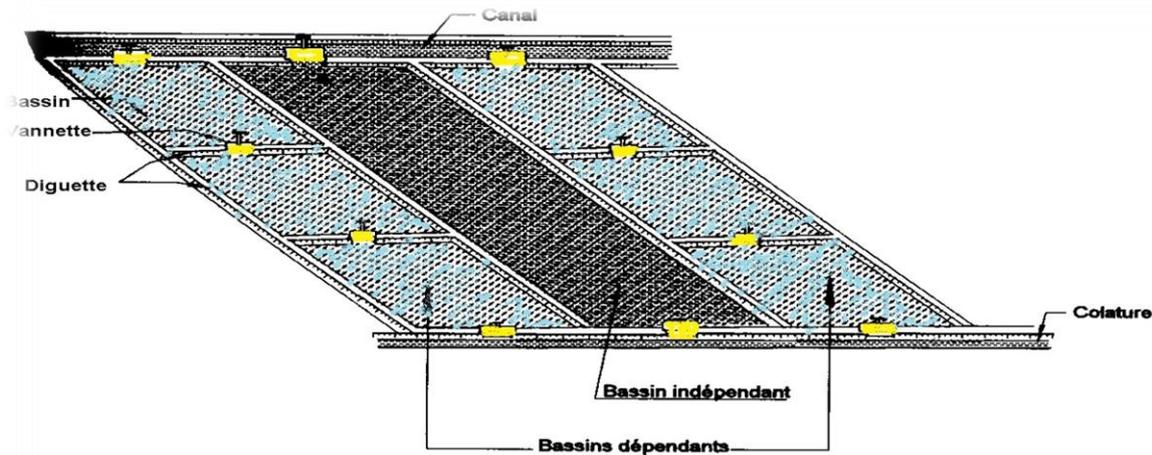


Figure III.3 : irrigation par submersion

III.1.1.3 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.

III.1.2 L'irrigation par aspersion

En irrigation par aspersion, l'eau parvient aux cultures sous forme de pluie artificielle, grâce à l'utilisation de divers appareils de projection, alimentés sous pression. Pour cette technique d'irrigation aucun nivellement de la surface n'est nécessaire. Cependant, la pente générale du sol ne doit pas en principe dépasser 10% pour les machines à irriguer.

Tous les types de sols peuvent convenir : on peut obtenir la même efficacité d'arrosage sur les sols les plus sableux que sur les sols les plus argileux, grâce à la large gamme des intensités

pluviométriques (I) offertes par les différents matériels ($I < 4$ mm /h pour sols peu perméables, jusqu'à $I < 50$ mm /h pour sols perméables).

Cette technique d'irrigation présente une excellente efficacité située entre 55- 85 %, essentiellement en fonction de la maîtrise technique des irrigants. L'irrigation par aspersion est utilisée pour l'arrosage des cultures les plus diverses : fourragères, maraîchères, céréales, vergers, vigne, etc.....

Les techniques d'arrosage appliquées en irrigation par aspersion dépendent du matériel utilisé. Elles se divisent en deux grandes catégories :

- L'aspersion simple (rampes perforées, asperseurs, canons)
- Les machines à irriguer (rampes frontales, pivots, enrouleurs, etc.)

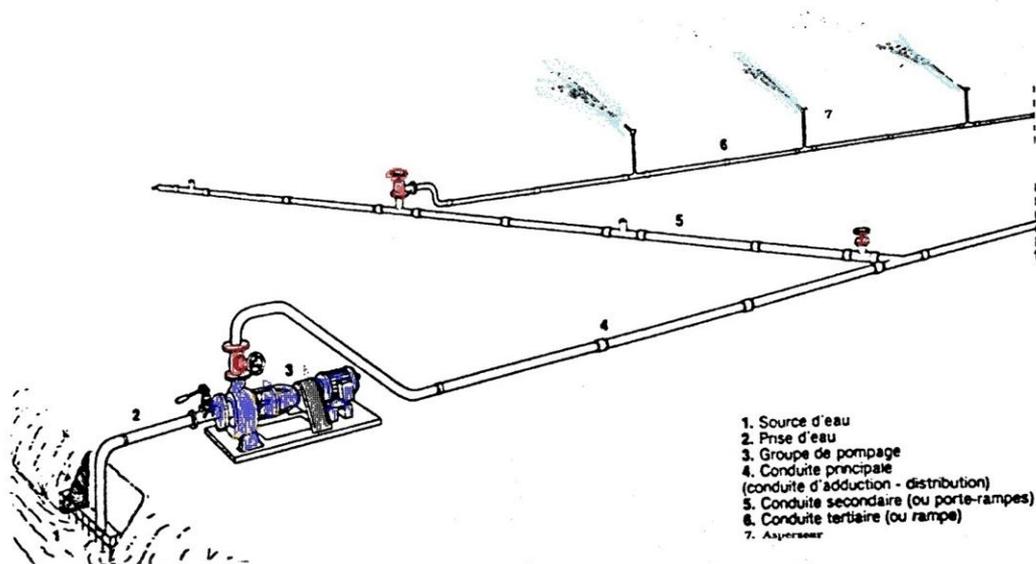


Figure III.4 : partie essentielle d'une installation en aspersion classique

III.1.2.1 Les différents dispositifs de l'irrigation par aspersion

On peut classer les équipements d'irrigation par aspersion en deux (02) types : les couvertures d'asperseurs et les machines à irriguer.

Néanmoins les moyens ou dispositifs d'amélioration de l'efficacité à la parcelle de l'irrigation gravitaire tolérée exclusivement pour le micro parcellaire sont également identifiés.

a- Les couvertures d'asperseur

- Equipement classique en couverture partielle (rampes rigides Déplaçables)

Les rampes d'irrigation sont constituées par des tuyaux métalliques en alliage léger disposés sur le sol et équipés de raccords rapides à déboîter. Le raccordement des rampes d'irrigation aux vannes hydrant est réalisé avec des éléments de tuyaux identiques à ceux utilisés pour les

rampes qui portent, à intervalles réguliers de 12 ou 18 mètres, des asperseurs montés sur des rallonges de hauteur adaptée aux cultures.

Les rampes sont déplacées de poste en poste, par démontage des éléments de tuyaux, transport et remontage à l'emplacement voisin distant de 12 à 18 m. Le système exige des interventions multiples et entraîne des frais de main-d'œuvre importants, néanmoins ce type d'équipement étant le plus simple et le plus économique.

Les avantages d'un tel système sont les suivants :

- Mobilité
- Rapidité d'intervention
- Facilité de travail
- Economie de main – d'œuvre.

Les inconvénients sont les suivants :

- Pluviométrie élevée
- Forte pression nécessaire
- Risque de blessures sur jeunes plantes
- Dégradation de la structure du sol

III.1.3 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..

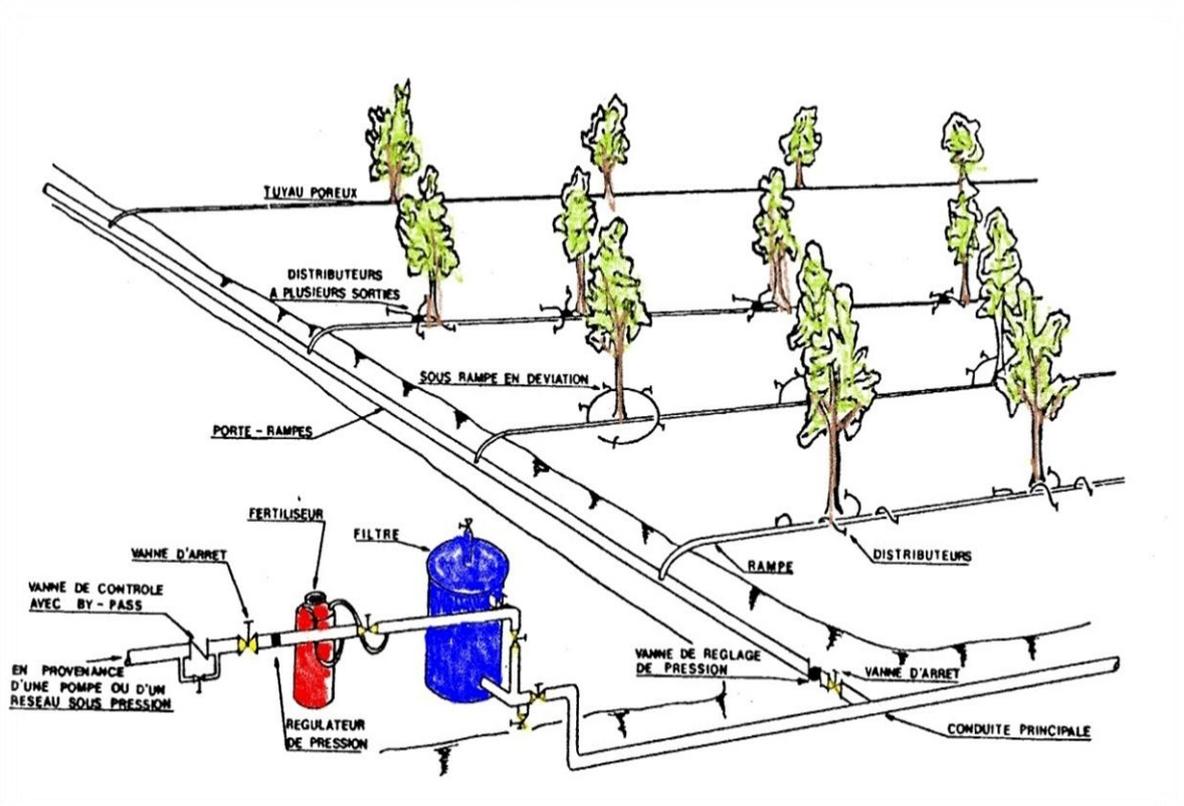


Figure III.5 : partie essentielle d'une installation localisée

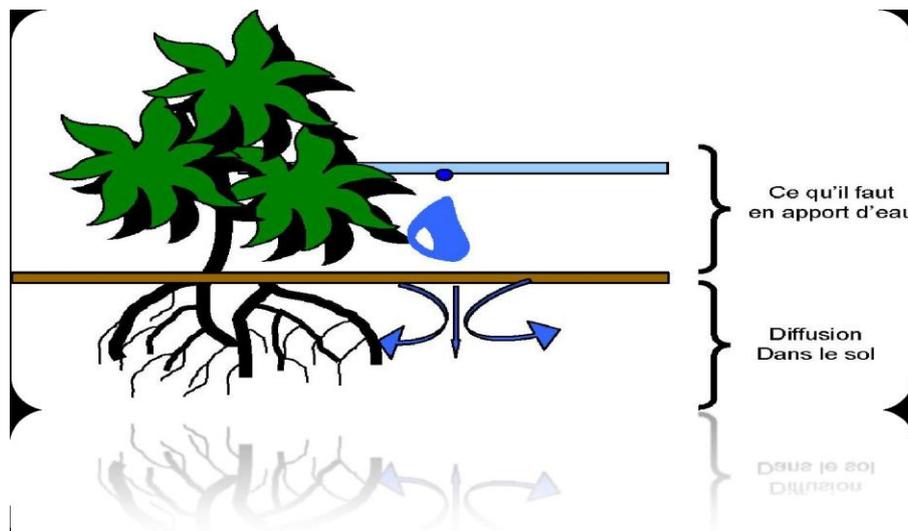


Figure III.6: Schéma de principe du fonctionnement de l'irrigation localisée (Source: [17])

Avantages et inconvénients spécifiques de l'irrigation localisée :

➤ Avantages

Bonne efficacité d'arrosage à la parcelle (à condition que la technique soit parfaitement maîtrisée);
 Excellent rendement des cultures (même condition);
 Bonne adaptation à l'utilisation des eaux salées (même condition);
 faibles besoins de main-d'œuvre;
 Coûts d'entretien réduits;
 Insensibilité au vent;
 Ne mouille pas le feuillage, ce qui est favorable du point de vue phytosanitaire;
 Ne mouille le sol que très partiellement, ce qui est favorable aux façons culturales;
 Limite la prolifération des adventices;
 Raccourcit le cycle végétatif de la culture.

➤ Inconvénients

Coût globalement élevé qui fait réserver cette technique aux cultures à forte valeur ajoutée;
 Exige un haut degré de compétence à tous les niveaux: études préliminaires agro
 Pédologiques, conception de l'installation, conduite des arrosages par l'irrigant;
 Nécessite une maintenance rigoureuse, en raison des risques liés à une éventuelle interruption
 des arrosages;
 Nécessite la filtration de l'eau d'irrigation;
 Fonctionne avec du matériel délicat à durée de vie relativement faible.

III.2 Choix des techniques d'irrigation

Plusieurs facteurs entrent en considération pour le choix des techniques d'irrigation et en particulier :

- La pente du terrain à irriguer
- Le débit dont on dispose
- Nature du sol (perméabilité)
- Nature des cultures
- Facteurs économiques
- Rentabilité de l'opération

Conclusion

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.

Raison pour laquelle nous avons traité au cours de ce chapitre, 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.

Chapitre IV:

Impact de la qualité des eaux
d'irrigation sur la fertilité du
sol, la plante et rendement des
systèmes d'irrigation

Introduction

Le développement des systèmes d'irrigation a permis la mise en valeur des terres en zones arides et semi-arides. C'est ainsi que depuis une cinquantaine d'années, de grands périmètres ont été réalisés.

En Algérie pour combler le déficit en eaux des cultures, des pratiques d'irrigation à grande échelle ont modifié le fonctionnement des sols et accru le risque de salinisation et alcanisation, plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de salinité (*Douaoui et Hartani, 2007*).[26]

Les agriculteurs dans les plaines qui sont connues par leur climat aride et semi-aride très sévère et caractérisé par une forte évapotranspiration et une salinisation des sols qui ne cesse pas d'augmenter (*Douaoui, 2005*) [27] utilisent comme sources d'irrigation : les eaux souterraines, les eaux des barrages ou épurées. Ces dernières sont de qualité médiocre et leur utilisation ne sera pas sans conséquences sur la qualité des sols et le rendement des réseaux d'irrigation.

L'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité des eaux utilisées dans l'irrigation et les risques éventuels de la dégradation des sols d'une part, ainsi que le rendement des cultures et l'efficacité des systèmes d'irrigation.

I. IMPACT DE LA QUALITE DE L'EAU SUR LE SOL ET LA PLANTE

I.1 Impact sur le sol

I.1.1 Problème de salinité et sodicité des sols

La salinité et la sodicité des sols sont identifiées et qualifiées à partir de la composition ionique de la solution du sol. Certains sols, les sols salés et sol sodique, possèdent en effet une phase liquide très riche en sels dissous qui leur confère des propriétés souvent défavorables, en particulier à l'égard du sol et des plantes qui y vivent. [19]

Les sources de sel sont variables :

- *Le matériau géologique*, par le biais de l'altération, peut libérer les éléments nécessaires à la formation des sels solubles (altération de minéraux primaires riches en sodium, de roche volcanique, des produits l'hydrothermalisme riches en soufre et en chlore, ou encore dissolution des évaporites, qui sont des accumulations saline ancienne).

- *L'eau de mer* est bien entendu une source principale de sel en milieu côtier.
- *Une nappe phréatique*, d'origine continentale et salée par héritage géologique, peut contaminer le sol par ascension capillaire.
- *L'eau d'irrigation*, on parle alors de la salinisation anthropique.

La présence des sels solubles dans l'eau d'irrigation et le pouvoir évaporateur de l'air dans les zones irriguées conduisent souvent à la salinisation des sols irrigués et particulièrement en zones arides et semi-arides.

- *La salinisation primaire*, liée à une présence naturelle relativement élevée de sels (à proximité des mers ou des océans, présence de dépôts de sels...).
- *La salinisation secondaire*, dont le développement est étroitement lié à l'irrigation, la salinisation secondaire est un processus de dégradation de la qualité des sols et des eaux qui s'auto-entretient lorsque les eaux de drainage ou de nappe phréatique sont recyclées. [20]

L'aptitude de l'eau à l'irrigation peut être jugée non seulement à partir de la concentration totale en sels, mais aussi par le type de sels et les ions qui la constituent. Il est donc impératif d'étudier les paramètres qui définissent les caractéristiques des eaux destinées à l'irrigation.

Les ions les plus fréquemment présents dans la solution des sols salés sont : les cations, sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{+2}), magnésium (Mg^{+2}) et les anions carbonates (CO_3^{-2}), sulfates (SO_4^{-2}) et les chlorures (Cl^-). La présence de ces ions se manifeste surtout sous les climats où la demande évaporative est grande conduisant à des concentrations d'ions souvent très élevées (Todd, 1980).

I.1.1.1 La dégradation des sols par salinisations

La salinisation est l'accumulation des sels hydrosoluble dans le sol. Les sels se dissolvent et se déplacent avec l'eau. Quand l'eau s'évapore, les sels restent. Elle a pour principales conséquences :

- L'augmentation de la pression osmotique dans la solution du sol empêche la pénétration de l'eau dans la plante, provoque une plasmolyse des cellules, parfois

irréversible et qui peut aboutir à la mort du végétal. Certaines plantes sont adaptées à ces concentrations, ce sont les plante hallophytes, mais les plantes cultivées ne le sont pas.

- Une toxicité pour les végétaux due a l'accumulation de certains ions, dont : chlorure, sodium, bore, qui s'accumulent dans les feuille et peuvent provoquer des dommages métaboliques.
- Diminution de l'activité microbienne du sol, la nitrification et la production de CO₂.les produits organique formés changent.

Lorsque le sodium domine dans l'eau, on parle de salinité, et lorsque il domine adsorbé à l'argile on parle de sodicité. [24]

I.1.1.2 La dégradation des sols par alcalinisation

Les sols alcalins, caractérisés par un PH élevé, souvent au dessus de 9 et une forte proportion de sodium sur le complexe d'échange (supérieure à 15% aux sols salés), deux points les distinguent des sols salés. Ce sont :

- La composition chimique de la solution du sol à nette prédominance bicarbonaté sodique ;
- Une dégradation des propriétés physiques des sols, les cations sodium tendent à provoquer la des structure en favorisant la dispersion des colloïdes minéraux.

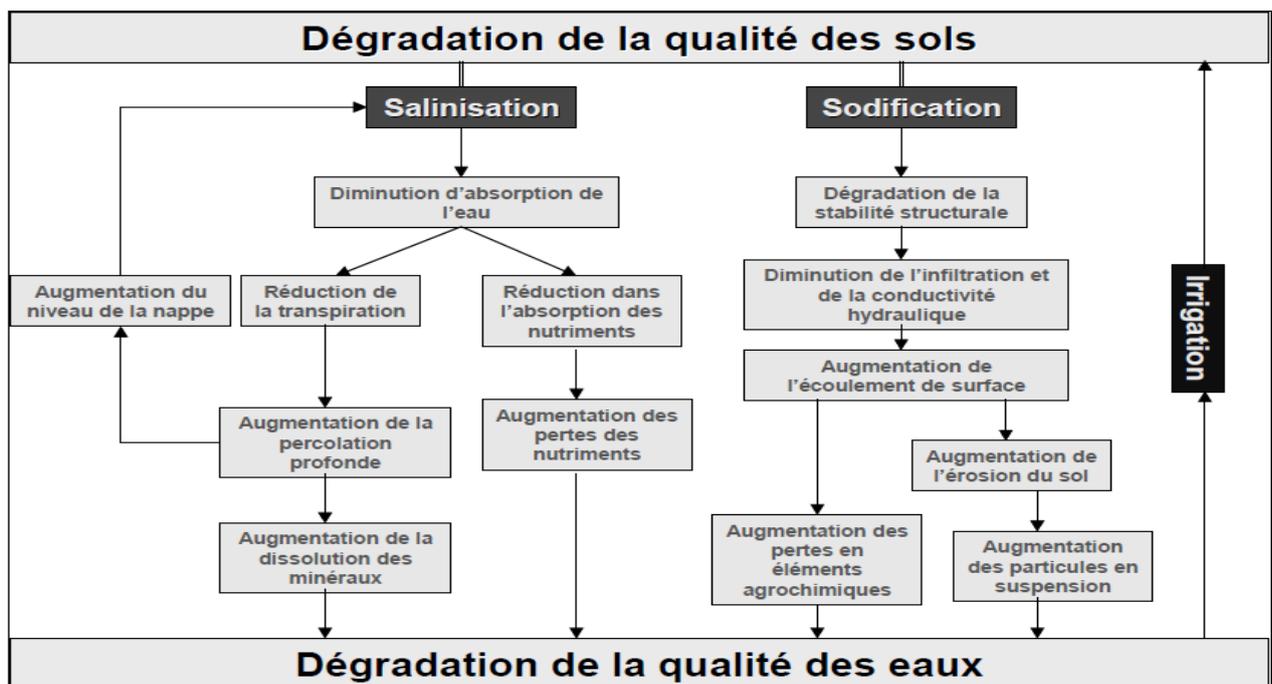


Figure IV.1 : Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation [18]

Plusieurs grandeurs sont utilisées pour caractériser les sols salés :

a. Taux de sodium échangeable :

$$ESP = \frac{[Na^+]}{CEC} \times 100 \quad \text{avec :}$$

$[Na^+]$ en meq/100g

CEC : la capacité d'échange cationique en meq/100g.

b. La conductivité électrique du sol (de l'extrait de pate saturée ou l'extrait dilué) :

Mesure la concentration en sel de la solution du sol.

Tableau IV.1 : catégories de sol salés et sodique (d'après Back, 1968)

CE (mmho/cm)	<4	<4	>4	>4
ESP	<15	>15	<15	>15
	Sol non salin -non alcalin	Sol non salin- alcalin	Sol salin-non alcalin	Salin-alcalin

I.1.2 Problème de perméabilité

Certains constituants peuvent réduire la perméabilité du sol et la plante ne reçoit plus, alors, la qualité d'eau dont elle a besoin pour sa croissance.

Cet effet est évalué en comparant la teneur en Na à celle de Ca⁺ et le Mg⁺.

Dans certains cas, les carbonates et les bicarbonates affectent la perméabilité du sol et il convient de les prendre en considération.

I.1.3 Problème de toxicité :

Certains ions comme le B, Cl et le Na, à un certain niveau de concentration, ont un effet sur la croissance des plantes.

L'apparence des fruits et légumes est quelquefois marquée par l'azote qui entraîne une croissance excessive (mais dans ce cas les engrais mal répartis peuvent aussi être mis en cause). la betterave, la vigne, les abricotiers, les agrumes sont sensibles à l'excès d'azote. L'irrigation par aspersion, à partir d'eau bicarbonatée, provoque des dépôts blanchâtres. D'autres inconvénients, forte acidité ou forte alcalinité des produits, doivent être importés au PH de l'eau

I.2 Impact de l'utilisation des eaux souterraines en irrigation sur le sol et la plante :

Les eaux souterraines se caractérisent fréquemment par leur nature saline prévenante de leur façon constitutionnelle à travers le sol, les sels d'origines diverses sont lessivés par les eaux pluviales et les eaux d'irrigation qui sont déjà chargées en éléments chimiques et entraînées vers la nappe ; l'eau infiltrée dépouille le sol de ses sels minéraux qui rentrent dans sa constitution en lui rendant pauvre ; une telle alimentation rend presque sûrement l'utilisation de la réserve souterraine impossible.

La salinité élevée de l'eau des puits artésiens utilisés pour l'irrigation engendre des dégradations importantes de la qualité des sols en affectant de même les cultures qui y sont cultivées.

Donc le degré d'aptitude de cette eau à l'irrigation doit être déterminé ; il y a lieu de considérer les problèmes liés à sa teneur en sels, à son action sur la perméabilité des sols, à la présence d'ions toxiques pour la croissance des végétaux et à des effets secondaires sur l'aspect de la plante.

I.3 Impact de l'utilisation des eaux usées épurées sur le sol et la plante :

Beaucoup d'études se sont penchées sur ce sujet notamment sur l'aspect sanitaire de la consommation des cultures irriguées avec ce type d'eau. Cependant ce n'est que récemment que les travaux portant sur la relation eau épurée-sol.

I.3.1 Risques associés à la réutilisation des eaux usées sur le sol

1.3.1.1 risques sanitaires

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes (Sheikh et al., 1999). Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un environnement frais, humide et à l'abri du soleil. Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte. Les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes (Asano, 1998).

Le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque ainsi l'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes peuvent avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation. L'irrigation par

aspersion crée des aérosols contaminants qui peuvent être transportés sur de longues distances.

I.3.1.2 Risques environnementaux

a- La salinisation du sol irrigué par les EUT

Lors de la réutilisation pour l'irrigation agricole, la qualité est déterminée essentiellement par la salinité et surtout le contenu en ion sodium (Toze, (2006). Herpin. (2007) ont constaté que l'irrigation avec des EUT chargées en Na⁺, entraîne une élévation des teneurs en cet élément dans tout le profil d'un sol.

De plus, ils ont signalé que le Calcium apporté par les EUT, entraîne la libération des ions sodium du complexe absorbant du sol sous forme échangeable, ce qui facilite sa migration en profondeur.

L'étude d'un autre cas d'irrigation avec des EUT, dont la charge en sel est de 1,8 g/l, a montré, après deux années de suivi, une augmentation de la conductivité électrique du sol de 0,92 dS/m à 1,93 dS/ m sur les 40 premiers centimètres du sol, ce qui correspond à un apport en sel de l'ordre de 6,2 T/ha (Zekri et al., 1997).

Cette augmentation de la salinité du sol suite à l'irrigation par des eaux usées est également signalée par d'autres auteurs (Yadav et al., 2002; Al-Nakshabandi et al., 1997).

b- Accumulation de métaux dans le sol

Bien que la concentration en métaux dans les eaux usées surtout traitées soit faible, l'irrigation peut entraîner l'accumulation de ces éléments dans le sol (Rattan et al., 2005).

L'accumulation d'éléments métalliques (EM) suite à l'irrigation avec des eaux usées brutes est souvent constatée. Ainsi, Mapenda et al. (2005) qui ont constaté qu'une augmentation des teneurs en EM dans les horizons de surface des sols irrigués par des eaux usées brutes durant des périodes de temps plus ou moins importantes. Les teneurs trouvées dans les horizons de surface sont largement supérieures à celles trouvées dans les horizons de sub-surface. Les auteurs ont signalé qu'au bout de 5 à 60 ans, les teneurs des EM dans les sols de toutes les parcelles irriguées vont dépasser les limites exigées par les normes anglaises de teneur en métaux lourds dans les sols agricoles.

▪ Donc on peut dire que l'irrigation avec les eaux usées épurées, affecte avec le temps certains paramètres du sol à partir d'une légère diminution du PH et qui s'explique par le lessivage entraîné par les eaux d'irrigation des calcaires actifs qui sont responsables de l'alcalinité du sol (*Solis, 2005*).

Les eaux usées, à travers leur pouvoir fertilisant, entraînent également une augmentation du taux de la matière organique et des éléments nutritifs du sol (*Rattan, 2005; Yadav, 2002*).

Toutefois, ces éléments nutritifs stimulent l'activité microbologique du sol (*Magesan, 2000; Ramirez-Fuentes, 2002*), ce qui favorise la minéralisation de la MO entraînant du même coup la diminution de la CEC du sol (*Solis, 2005; Herpin, 2007*).

Suite à l'irrigation par les eaux épurées, cette intensification de l'activité microbologique du sol diminue la conductivité hydraulique du sol du fait de la formation bactérienne qui colmate la porosité du sol.

I.3.2 Effet de l'irrigation par les EU sur les plantes cultivées

Du fait de leur teneur en éléments nutritifs et de leur richesse en oligoéléments, les eaux usées lorsqu'elles sont réutilisées pour l'irrigation, entraînent une amélioration des rendements des plantes cultivées. Dans ce cadre, *Fars et al. (2003)* et *Mohammad Rusan et al. (2007)* ont constaté une augmentation de la biomasse d'une plante fourragère lorsqu'elle est irriguée par une eau usée soit brute soit traitée.

De même, l'irrigation par les EU entraîne un enrichissement important du tissu des plantes cultivées en oligoéléments (*Yadav, 2002; Fars, 2003; Charfi, 1995*). Les éléments traces qui sont généralement immobilisés dans les couches supérieures du sol peuvent provoqués, à long terme, des risques pour le développement des plantes.

En effet, certains éléments traces (le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène) sont reconnus nécessaires au développement des végétaux en très faibles quantités (*Faby et Brissaud, 1997*). L'irrigation, à partir d'eaux usées, va apporter ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments, non indispensables à la plante tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain. La biodisponibilité de ces éléments dans le sol peut engendrer leur accumulation dans

les tissus des plantes et dans certains cas, les teneurs en ces éléments peuvent atteindre des seuils de phytotoxicité (*Faby et Brissaud, 1997*).

Cependant, *Yadav et al. (2002)* qui ont constaté que les teneurs en métaux lourds au niveau des plantes irriguées par des eaux usées depuis 30 ans sont au dessous de seuil de toxicité pour les plantes.

I.3.3 Mise en évidence de l'influence des eaux usées épurées sur le sol à travers deux études expérimentales réalisées à l'ENSH :

I.3.3.1 Présentation de l'expérimentation faite à l'ENSH traitant l'impact de la réutilisation des eaux usées sur les propriétés physicochimiques et physico-hydriques du sol : [21]

a- Objectif :

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des eaux usées épurées sur les propriétés physico-chimiques et physico-hydriques d'un sol, d'où la nécessité d'étudier la qualité de l'eau entrante et drainée. Un dispositif expérimental a été réalisé pour cette étude.

Les principales propriétés du sol étudiées sont :

- Propriété physico-hydrique :
 - Porosité
 - Densité apparente
 - Densité réelle
 - Conductivité hydraulique
 - Les humidités volumiques et les courbe PF
- Propriétés physico-chimiques :
 - pH
 - Conductivité électrique

Pour la qualité des eaux l'étude s'est portée sur les mesures des principaux paramètres de qualité qui sont :

- pH
- conductivité électrique
- les MES (les matières en suspension)

b- protocole expérimental :

➤ **Présentation du dispositif expérimental :**

Le dispositif expérimental est composé de 27 colonnes en PVC avec des hauteurs de 20 cm, 40cm, 60 cm et un diamètre de 20cm.

Ces colonnes sont munies au fond d'un grillage métallique reposant sur des ferrons qui traversent la colonne à 3 cm de sa base inférieure.

Les colonnes de 40 cm et 60 cm sont munies de deux trous à une distance de 3 cm du bord qui peuvent servir de poignée ou de trop plein pour les mesures.

Un tuyau d'arrosage a été mis en place et des bassines en plastique pour recueillir l'eau drainée.

c- Résultats de l'étude :

Il résulte que l'irrigation avec les eaux usées épurées n'est pas sans conséquence sur les propriétés du sol. Les effets constatés sont :

La salinité des eaux usées a fait augmenter la conductivité électrique du sol surtout en raison estivale marquée par une forte évaporation, et des eaux drainées. Par ailleurs nous avons constaté que les sels ont tendance à s'accumuler dans la partie superficielle du sol.

Une légère variation du Ph du sol, cependant le pH des eaux drainées est plus alcalin que le pH du sol.

Le taux de calcaire total a nettement diminué après les irrigations, indiquant la dissolution du calcaire.

Les densités apparentes ont légèrement augmenté impliquant une légère diminution de la porosité, alors que la densité n'est pas changée.

Les eaux usées épurées chargées en MES engendrent une diminution de la teneur en eau.

La conductivité hydraulique diminue pour plusieurs raisons : perturbation de la structure par la fixation du sodium sur le complexe absorbant, diminution de la porosité, perturbation de l'échantillon pendant la manipulation.

I.3.3.2 Présentation de l'expérimentation faite à l'ENSH traitant l'incidence de l'irrigation des sols avec les eaux usées brutes : [22]

a- Objectif :

L'objectif de ce travail a été d'étudier l'influence des caractéristiques physico-chimiques d'un sol mis en place, sur le comportement d'un élément trace métallique qui est le cadmium.

Ce sol a été irrigué au préalable avec une eau usée brute dopée en cadmium (Cd) à une concentration initiale de $[Cd^{2+}] = 0,8 \text{ mg/l}$.

Cette étude a porté sur le suivi de l'évolution de cette concentration en question en fonction de la profondeur, tout en mettant au point l'impact de ce métal à une telle concentration sur le rendement et la croissance des plantes dont la tomate a été prise comme exemple.

Pour cela, un dispositif expérimental qui a été mis en place.

b- Présentation du dispositif expérimental :

Le dispositif comporte onze (11) colonnes en PVC d'un mètre (1m) de hauteur sur quarante centimètres (40 cm) de diamètre. Elles sont remplies avec un sol sur une hauteur de soixante dix Centimètres (70 cm). Le dispositif est muni d'un grillage métallique reposant sur des ferrons qui traversent la colonne à 5 cm au dessus de sa base inférieure.

A 5 cm au dessous de sa base supérieure, des trous rectangulaires assez larges ont été aménagés servant de poignée en cas de déplacement ou autre opération.

A 25 et 50 cm à partir du support en grillage, des orifices ont été perforés afin de pouvoir recueillir le sol ou la solution du sol à ces horizons donnés.

Pour chaque colonne et au niveau de chaque horizon deux drains, qui ont été réalisés à l'aide d'un tube en PVC de 1,3 cm de diamètre, ont été introduits.

Des seringues ont été montées sur ces drains pour exercer une certaine dépression qui permettra de susciter la solution du sol à l'endroit voulu.



Figure IV.2 : Seringue combinée au drain

Des bassines en plastique ont été déposées par terre en dessous de chaque colonne pour recueillir la solution du sol à la sortie qui représente la concentration au fond (70 cm).



Figure IV.3 : Les bassines recueillant les eaux de drainage.

Le dispositif est mis en place dans la station expérimentale de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique.

c- Résultats de l'étude

Il ressort d'après cette étude que la porosité du sol, conditionne la conductivité hydraulique ou perméabilité, d'une manière directe.

Une diminution de la porosité entraîne automatiquement une diminution de la perméabilité qui régit les mouvements de l'eau dans le sol. De plus, l'utilisation d'une eau usée brute dopée en cadmium dans l'irrigation, a affecté non seulement les paramètres du sol, mais aussi les plantes.

En résumé, l'utilisation des eaux usées brutes a une influence sur les paramètres physiques et physico-hydrauliques du sol qui eux-mêmes, auront une influence directe sur la qualité et la quantité des ETM retenus par ces sols

Récapitulation :

D'après les deux études présentées l'incidence de l'usage que ça soit des eaux usées brutes ou bien épurées sur les sols, se manifeste en général par :

- ✓ Une variation de la densité apparente du sol
- ✓ Une diminution de la porosité du sol
- ✓ Une diminution de la teneur en eau des sols
- ✓ Une augmentation de la conductivité électrique du sol ainsi qu'une variation de son Ph

I.4 Impact de la qualité des eaux superficielles sur le sol

L'impact des eaux superficielles sur le sol peut être différent selon la qualité de celle-ci et de sa provenance (Oued, barrage, lac,... etc). Cette incidence peut être assimilée à celle des eaux usées épurées dans le cas où ces eaux sont très chargées (périodes de crues). Comme elle peut affecter également la salinité du sol lorsqu'il s'agit d'une eau agressive. Nous pouvons citer l'exemple d'une étude faite sur l'impact des eaux du lac de Réghaia sur les sols environnants.

I.4.1 Exemple de l'étude expérimentale traitant l'impact des eaux du lac de Réghaia sur le sol

Pour étudier l'impact de l'irrigation avec l'eau du lac, une investigation des sols a été conduite sur une surface d'environ 400 ha. Elle a abouti à la description de deux sols évoluées, profonds, développées sur des alluvions anciens et de texture grossière sablo-limoneuse à sableuse dans les horizons de surface et limono-sableuse en profondeur. L'analyse des profils pédologiques a révélé des taux de matière organique et de phosphore assimilable compatibles avec les besoins de l'agriculture (*Hartani et Raissi, 2004*). En revanche, les taux de calcaire et d'azote sont insuffisants, notamment dans les horizons de surface où les cultures maraichère puisent l'essentiel de leur alimentation. Pour utiliser cette eau sans risque, il faudrait dans tous les cas un traitement puis un contrôle rigoureux de l'eau d'irrigation. [23]

II. IMPACT DE LA QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION SUR LE RENDEMENT DES SYSTEMES ET DES RESEAUX D'IRRIGATION

Introduction :

Le déficit et la pénurie de la ressource en eau surtout dans le domaine agricole a fait tirer la sonnette d'alarme depuis il y a plusieurs années. En effet dans notre pays, la baisse des rendements agricoles a été enregistrée de façon alarmante surtout dans les plaines de l'ouest et le sud du pays où la pluviométrie se trouve rare [24].

Cette situation a mené les responsables à songer à des moyens plus efficaces pour aller de l'avant et augmenter les rendements agricoles. Ce n'est qu'à partir de moins de deux décennies que l'état s'est investi dans la construction des grands barrages et retenues d'eau collinaires surtout dans les régions les plus affectées par le déficit hydrique. Cependant les problèmes d'envasement et d'entretien ont fait que ce problème de déficit surtout dans le domaine agricole persiste encore de nos jours.

Il convient aussi d'évoquer l'usage abusif des eaux souterraines et le tarissement des nappes aquifères pour des fins agricoles comme c'est le cas de la Mitidja. Et très souvent, la vérification de la qualité de l'eau et son aptitude à l'irrigation n'est pas toujours respectée.

Dans le même ordre d'idées, le recours à la réutilisation des eaux usées épurée en agriculture s'est avérée une des solutions les plus prometteuses et les plus économiques.

En effet, l'usage de ces eaux non conventionnelles est conditionné par des normes et des réglementations strictes qui sont souvent non respectées en Algérie.

Nous allons essayer d'aborder au cours de ce qui suit, les effets et les problèmes qui peuvent être engendrés par les eaux d'irrigation sur le rendement et le bon fonctionnement des réseaux d'irrigation.

II.1 Contribution de la qualité de l'eau d'irrigation au colmatage des réseaux d'irrigation sous pression

Le colmatage des goutteurs et des asperseurs est un problème important dans le fonctionnement d'un réseau d'irrigation car il affecte de façon sensible les coûts initiaux d'installation (filtration), les coûts de main-d'oeuvre (maintenance), la pérennité de l'installation (phénomènes de limonage) et les rendements (risques de mauvaise uniformité d'apport d'eau sur la parcelle).

En effet, les risques dépendent de la nature de l'eau d'irrigation (origines et traitements) et des caractéristiques propres du goutteur ou de l'asperseur à savoir :

- ✓ type de cheminement,
- ✓ principe de fonctionnement hydraulique,
- ✓ taille de la section minimale de passage de l'eau etc.

Comme sur une installation en fonctionnement il est difficile de déceler les distributeurs bouchés, et onéreux, voire impossible de les nettoyer ou de les remplacer.

Cependant il est important de connaître la sensibilité au colmatage d'un modèle de goutteur ou d'asperseur donné, et de protéger le réseau par une filtration adaptée.

Nous allons présenter dans ce qui suit les différents types de colmatage qui peuvent affecter un réseau de distribution :

II.1.1 Le colmatage biologique

Les eaux de surface utilisées en irrigation localisée contiennent deux types de matière organique :

- La matière organique morte (inerte) formée par des particules de grandes dimensions (plantes, herbes, feuilles partiellement décomposées) et par des particules de faibles dimensions (restes de protozoaires, de bactéries ou d'algues).
- La matière organique vivante est formée par les spores des algues, les algues elles-mêmes, les colonies de bactéries ainsi que par certains champignons qui se développent dans les canalisations où ils trouvent les éléments nutritifs nécessaires à leur croissance.

Le colmatage biologique est difficile à maîtriser et les problèmes s'aggravent si les eaux possèdent une activité biologique importante et une teneur élevée en fer et en hydrogène sulfuré.

La matière organique morte et les algues pluricellulaires de taille supérieure à 50 ou à 100 microns sont arrêtées par les filtres à sable mais les algues plus petites traversent les filtres, flocculent et colmatent les distributeurs.

Les algues les plus fréquentes généralement de type chlorophycées qui ont besoin de lumière pour leur photosynthèse ne peuvent croître à l'intérieur des conduites en polyéthylène opaque et se développent donc au niveau de l'orifice des distributeurs.

Les systèmes d'irrigation localisée peuvent produire un environnement favorable au développement des bactéries aboutissant à la formation de gel qui, se combinant avec des particules minérales (argile, limon) ou organiques (algues, spores) forment des agrégats suffisamment importants pour boucher les distributeurs.

Certaines bactéries sont également responsables de problèmes de colmatage. Ainsi les bactéries ferrugineuses se fixent sur les canalisations et oxydent le fer ferreux en fer ferrique insoluble en formant un gel appelé ocre.

Certaines bactéries filamenteuses oxydent l'hydrogène sulfuré (H_2S) présent parfois dans les eaux de profondeur et produisent des précipités filamenteux, de couleur jaune ou blanche qui se combinent avec les autres matériaux contenus dans l'eau d'irrigation.

Pour lutter contre le colmatage biologique, l'injection de chlore (hypochlorite de sodium ou eau de javel $NaOCl$) dans l'eau d'irrigation avant la filtration est efficace mais nécessite l'acidification de l'eau ($pH = 5.8$) par l'injection d'acide nitrique.

Pour éviter tout risque de prolifération d'algues vertes dans le réseau d'irrigation, il est indispensable que l'ensemble des canalisations soit totalement opaque à la lumière.

Les problèmes des algues qui se développent souvent dans les bassins de stockage peuvent être résolus en utilisant du sulfate de cuivre ($Cu SO_4$) à la concentration de 1 à 2 ppm.

II.1.2 Le colmatage chimique

Le colmatage chimique résulte de la précipitation du calcium, du magnésium, du fer ou du manganèse qui forment des incrustations et colmatent partiellement ou totalement l'orifice de sortie de l'eau du goutteur dans le cas de l'irrigation localisée.

Si l'eau contient ces éléments de façon significative avec un pH supérieur à 7, les risques sont importants. La mise à l'air libre des eaux riches en gaz carbonique et en calcium provoque, au niveau de la sortie des distributeurs, le dégazage du CO_2 et le dépôt localisé de carbonate de calcium ($Ca CO_3$) sous forme d'écailles. Ce phénomène est favorisé par l'évaporation de l'eau à la sortie des distributeurs et par l'injection d'engrais qui modifie les propriétés physico-chimiques de l'eau.

Le fer est une autre source potentielle de dépôts qui peut boucher les distributeurs. Dans **les eaux souterraines**, il est souvent dissout sous forme de bicarbonate de fer qui exposé à l'air est oxydé en forme insoluble ou colloïdale et précipite (eaux rouges).

L'utilisation de l'acide, en abaissant la valeur du pH de l'eau, diminue les risques de formation de précipités chimiques et augmente l'efficacité du chlore. Si l'acide est injecté en continu pour prévenir la formation de précipités de calcium et de magnésium, le taux

d'injection doit être ajusté pour obtenir un pH juste en dessous de 7. Par contre, si l'injection d'acide a pour but d'enlever des dépôts existants, la valeur du pH doit être plus basse.

Lorsque le fer est un problème, on peut utiliser un bassin tampon pour oxyder le fer ferreux en fer ferrique qui précipite ou injecter un agent oxydant avant le filtre. L'injection d'hexametaphosphate de sodium à des concentrations de 2 à 4 ppm de phosphate par ppm de fer ou de manganèse permet d'éviter leurs dépôts.

II.1.3 Le colmatage minéral

Le colmatage minéral a pour origine les particules de sable, de limon ou d'argile et les débris présents dans les eaux de surface et dans les eaux de profondeur sont trop grands pour passer à travers les orifices des distributeurs.

Les particules de dimension supérieure à 100 µm sont arrêtées par la plupart des filtres à tamis ou à disques. Les filtres à sable arrêtent des éléments plus fins tels que les matériaux colloïdaux et organiques habituellement présents dans les eaux de surface (algues et gels bactériens). Les particules contenues dans l'eau d'irrigation agissent de deux façons :

- par colmatage brutal : la taille des particules est supérieure à la section de passage de l'eau à travers le goutteur (particules de sable),
- par colmatage lent ou limonage : les particules les plus fines se déposent lentement, s'agglomèrent et forment des dépôts plus importants dans les distributeurs ou dans des zones de faible vitesse (floculation des argiles). Il est possible dans une certaine mesure de lutter contre le colmatage chimique et biologique en utilisant des méthodes appropriées mais pour le colmatage minéral le seul moyen efficace consiste à éviter la pénétration de certaines particules dans le cheminement du goutteur.

Récapitulation :

Il est clair que le colmatage des réseaux constitue un des grands problèmes dans le fonctionnement des réseaux d'irrigation sous pression, surtout dans la mesure où l'eau utilisée n'est pas souvent de qualité stable quelque soit son origine, ce qui influe inévitablement sur la longévité de ces réseaux en question. C'est pour ça qu'il est difficile d'intervenir une fois que le colmatage a déjà pris de l'ampleur. Cependant, pour minimiser les effets du colmatage plusieurs solutions sont envisageables à savoir :

- ✓ Dispositifs de filtration à la tête du réseau
- ✓ Injection d'acide nitrique contre les dépôts de calcaires et d'engrais
- ✓ Injection du chlore contre les colmatages organiques

II.2 Exemple d'une étude expérimentale faite à l'ENSH traitant le colmatage des goutteurs alimentés par des eaux usées épurées : [25]

II.2.1 Objectif de l'étude :

L'objectif de ce travail peut être résumé comme suit :

- ✓ Etudier les performances hydrauliques et mécaniques des goutteurs.
- ✓ Contrôler les caractéristiques techniques des équipements d'irrigation et leur fonctionnement.
- ✓ Suivre le colmatage des goutteurs ainsi que l'homogénéité des débits sortants dans le temps suivant le protocole expérimental retenu.

II.2.2 Description du site expérimental au niveau de l'école nationale supérieure de l'hydraulique :

Une installation prototype représentant deux réseaux de micro irrigation placés derrière le laboratoire de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique a été réalisée.

*Les différents matériels utilisés sont rapportés dans la **Figure IV.3** – Le site expérimental d'E.N.S.H*

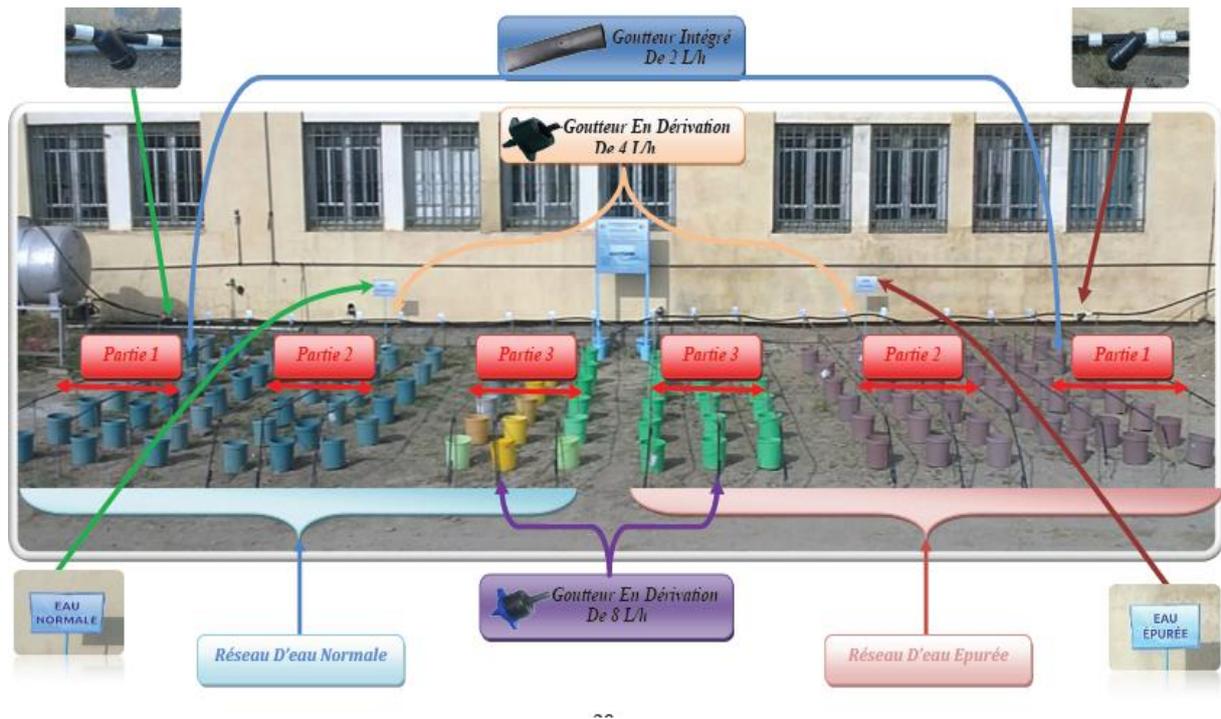


Figure IV. 3 : Le site expérimental d'E.N.S.H (Schéma Explicatif)

L'objectif de ces dispositifs expérimentaux installés est le suivi in situ de la sensibilité des différents goutteurs au colmatage.

Le travail a été fait sur une surface de 160 m² (20m x 8m), sur laquelle deux réseaux d'irrigation localisée ont été disposés, tel que le premier réseau est destiné à l'eau normale ou conventionnelle du robinet par contre l'autre réseau est alimenté par l'eau épurée de la station de traitement et d'épuration des eaux usées du CHENOUA de la wilaya de Tipaza, cette eau est stockée dans une bache d'eau enterrée près de notre réseau.

II.2.3 Résultats de l'étude :

Le réseau d'eau épurée est plus affecté par le colmatage que le réseau d'eau normale c'est-à-dire une durée de vie moindre que l'autre réseau et on peut l'expliquer par la composition des eaux usées épurées surtout les composants chimiques qui peuvent rendre les parois internes des goutteurs plus rugueuses, les rendant plus sensibles au colmatage par la suite.

Durant la variation journalière du débit moyen et pour les deux réseaux, nous avons remarqué une augmentation des débits en sortie de goutteurs de temps à l'autre, nous supposons que ce comportement du fluide au sein du labyrinthe des goutteurs peut être dû à deux facteurs distincts :

- D'une part, en se déposant dans les angles des chicanes, les particules lissent l'écoulement et le déplace vers une trajectoire centrale où la vitesse peut être plus grande, et le cisaillement plus faible.

- D'autre part, les particules peuvent interagir avec les petites échelles de l'écoulement et ainsi diminuer l'énergie cinétique de l'écoulement. Cette laminisation tend à augmenter le débit moyen de l'écoulement dans le labyrinthe.

Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons pu traiter l'influence de la qualité de l'eau d'irrigation sur le sol et la plante d'une part, ainsi que sur le rendement et le bon fonctionnement des réseaux d'irrigation, et c'est à partir de différents angles.

En effet, nous avons évoqué 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

Cependant, l'usage de l'eau dans le domaine agricole doit être régi par une réglementation stricte qui tient compte de toutes ces recommandations, ceci afin d'améliorer le rendement agricole.

Ce dernier, peut être affecté par un autre phénomène que nous avons pu évoquer en détail et qui est le colmatage des réseaux.

En s'appuyant sur les résultats d'une étude expérimentale, nous avons pu montrer l'incidence que peut causer la qualité de l'eau sur le bon fonctionnement des réseaux en général.

Cependant, plusieurs solutions peuvent être envisagées pour remédier à ce problème et qui sont :

- ✓ Injection d'acide nitrique contre les dépôts de calcaires et d'engrais
- ✓ Injection du chlore contre les colmatages organiques
- ✓ La filtration à la tête du réseau

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 évoqué 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.

Cependant, plusieurs solutions peuvent être envisagées pour remédier à ce problème et qui sont :

- ✓ Injection d'acide nitrique contre les dépôts de calcaires et d'engrais ;
- ✓ Injection du chlore contre les colmatages organiques ;
- ✓ La filtration à la tête du réseau.

Au final, il vient de conclure que pour améliorer le rendement agricole, une attention conjointe doit être portée sur l'étude de la qualité de l'eau d'irrigation, combinée au choix de la meilleure technique d'irrigation selon le type de la récolte.

Références bibliographique

- [1] LES EAUX TERRESTRES J.LOUP(1974)
- [2] <http://www.technique-ingenieur.fr>
- [3] Smedema.K,Rycroft.S,1983. "land drainage".abtsford book
- [4] FAO,2003. L'irrigation avec des eaux traitées- manuel d'utilisation
- [5] American SocietyofCivil Engineers,juin1947, page783
- [6] James B. Beard, Turf Management for golf Courses, 1982, Macmillan Publishing page 642.
- [7] Farnham et al, Wastewater Reuse for golf course irrigation adapté de Westcot et Ayers, 1984.
- [6] Vitousek,P.M.,1991. "Howarth Nitrogen limitation on land in the sea"
- [7] <http://www.bretagne-environnement>
- [8] CRAAQ, 2003. Guide de production des annuelles en caissettes 313p
- [9] CHOISEL E. et NOILHAN J. (1995) - La prévision des sécheresses. La Recherche, p. 34-40.
- [10] COULOMB C. (1992) - Etude de la circulation de l'eau dans un sol argileux drainé. Thèse, Paris-Sud, n° 2154, 245 p
- [11] vers de terre : <http://www.regenwurm.ch/fr>
- [12] Calvet,R.,2003. Le sol :propriété et fonction tome 2 .DUNOD
- [13] Chossat,J,C ;2005.la mesure de la conductivité hydraulique dans les sols.lavoisier
- [14] Baize D ; jabial B.,1995 .<<guide pour la description des sols>>Ed INRA
- [15] Nadia.Saiyouri.projetprojet projet d'eau 2012 ;méthode d'irrigation en milieu aride
- [16] TIERCELIN JEAN-ROBERT, ALAIN VIDAL. Traité d'irrigation.2 éd. Paris : Lavoisier. Paris, 2006.1266 p.
- [17] C.CHOSSAT et al. Irrigation localisée .In : IRRIGATION : Guide pratique. 3e éd. Paris : Cemagref éditions, 2003. 344p.
- [18] lahlou,M .,et al,2000 ."the deliberate indirect wastewater reuse schem at essex & Suffolk water".colloque de colloque de Noirmoutier.

[19] B.H. Wiebe, R.G Eilers, W.D. Eilers et J.A. Brierley ; Risque de salinisation et d'alcanisation des sols.1981

[20] Serge Marlet et Pierre Ruelle "Actes de l'atelier du PCSI", Montpellier, France, 2002

[21] Bouchakour.M., 2011.MFE : impact de la réutilisation des eaux usées sur les propriétés physico-chimique et physico-hydrique du sol.

[22] Yahiaoui .S, 2008.MFE : influence des propriétés physicochimiques des sols sur le comportement des métaux lourds (contenus dans les eaux usées)

[23] Hartani T., Raissi O., 2004. L'irrigation avec l'eau d'un lac dans la Mitidja. 10 p. soumis à la CIID.

[24] DEBIECHE T.H. 2002. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Thèse de doctorat. Univ. de franche comté. 199p.

[25] MAZAR. A, 2013 .MFE étude des performances et fiabilités des différents types de goutteurs en irrigation localisée par les eaux usées épurées.

[26] DOUAOUI A., GASCUEL-ODOUX C., WALTER C. 2004. Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chélif (Algérie). Mesures au laboratoire sous simulation de pluie. EGS, vol. 11, n°4, 379.

[27] DOUAOUI A., 2005. Variabilité spatiale de la salinité en relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chélif. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doct. d'état, INA –Alger, p. 115.