

Dédicaces

A mes chers parents

A la joie de ma vie, ma petite fille NIHEL

A mon cher époux.

Remerciements

Mes remerciements vont tout particulièrement à mon encadreur, Monsieur KADEM Dhaou-El-Djabine, enseignant au département d'Ecologie de l'UM Constantine, pour l'aide précieuse qu'il m'a apportée, pour ses conseils éclairés, sa patience et ses encouragements tout au long de ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance au Professeur OUAHRANI-TOUATI Ghania responsable du CPM d'avoir accepté de présider mon jury.

Mes remerciements vont aux Professeurs MENAD Ahmed et BOUDMAGH Alla-Eddine qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail.

Je tiens également à remercier le Professeur RACHED Oualida de m'avoir acceptée dans son laboratoire, où une partie de ce travail a été réalisée, sans oublier Melle TEBBANI Dalèle Thefida, en tant qu'ingénieur de laboratoire pour son aide permanente à l'exécution des analyses.

Bien qu'il soit difficile de nommer toutes les personnes qui de près ou de loin ont permis la réalisation de ce travail, je tiens cependant à remercier mes chers frères Wahid et Mohsen, ma belle famille, particulièrement Nassima, mes amies Chahira, Wassila et Ismahan.

Enfin, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mes enseignants de la post- graduation.

Liste des figures

Figures	Titre	Page
Figure 1	Esquisse de la wilaya de Constantine. En encadré la zone d'étude.	18
Figure 2	Situation géographique des stations de prélèvement.....	19
Figure 3	Station 1 en encadrée, irriguée à partir de l'Oued-Rhumel.....	20
Figure 4	Station 2, irriguée à partir de l'Oued-Boumerzoug.....	20
Figure 5	Droite de régression des étalons nitrates.....	28
Figure 6	Droite de régression des étalons sulfates.....	28
Figure 7	Evolution des pH en fonction du temps.....	30
Figure 8	Evolution de la salinité (C_E) en fonction du temps.....	30
Figure 9	Les fluctuations du SARaj en fonction du temps.....	33
Figure 10	Evolution de la salinité (C_E) en fonction du temps.....	35
Figure 11	Effet du sodium (SARaj) sur la perméabilité.....	39
Figure 12	Evolution de l'ion chlore en fonction des saisons.....	42
Figure 13	Effet des nitrates sur les cultures sensibles.....	43
Figure 14	Evolution des pH en fonction du temps.....	44
Figure 15	Evolution du taux de bicarbonate en fonction du temps.....	45
Figure 16	Diagramme de classification des eaux d'irrigation	46

Liste des tableaux

Tableaux	Titre	Page
Tableau 1	Barème de qualité pour l'eau d'irrigation.....	12
Tableau 2	Superficies des GPI équipées, irrigables et irriguées par grande région.....	13
Tableau 3	Répartition territoriale des superficies de PMH selon le mode d'irrigation.....	14
Tableau 4	Evolution des surfaces irriguées de 2000 à 2008.....	15
Tableau 5	Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation.....	21
Tableau 6	Différents paramètres à doser pour l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation.....	22
Tableau 7	Tables utilisées pour calculer le pHc (Bulletin F.A.O N°29, 1976).....	23
Tableau 8	Résultats physico-chimiques des paramètres globaux mesurés ' <i>in situ</i> '.....	29
Tableau 9	caractéristique du sol ' <i>in situ</i> '.....	31
Tableau 10	Résultats chimiques exprimés en meq/l sauf les nitrates (mg/l).....	31
Tableau 11	Le SARaj en fonction du temps dans les deux oueds.....	32
Tableau 12	Résultats des analyses physico-chimiques des eaux d'irrigation au niveau des deux stations (Oueds : Rhumel et Boumerzoug).....	34

Liste des abréviations :

AEP : Agence de l'eau potable

AFNOR: Agence Française de Normalisation

C_E : Conductivité électrique

FAO : Food Alimentation Organisation

meq/l : milliéquivalent

mS/cm : millisiemens/cm

O.B: Oued Boumerzoug

O.R: Oued Rhumel

ONM : Office National de la Météorologie

PC = Problèmes croissants

PG = Problèmes graves

pH_c: pH théorique calculé

PMA – PMO : Production Machines Agricoles Production Machines Outils

SAR : Sodium adsorbable ratio

SARaj : Sodium adsorbable ratio ajusté

T = trouble

TDS: Total Dissolved Sels

SOMMAIRE

	Page
Introduction	1
Chapitre I Synthèse bibliographique	3
I- Généralités	3
1- L'irrigation : définition.....	3
2- Provenance de l'eau d'irrigation.....	3
3- L'irrigation dans le monde.....	4
4- Importance de l'irrigation.....	5
4.1- Les avantages.....	5
4.1.1- Apport sur le plan économique.....	5
4.1.2- La satisfaction.....	6
4.1.3- L'irrigation un rempart à la famine.....	6
4.2- Les inconvénients.....	7
5- La qualité de l'eau d'irrigation.....	9
6- Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation.....	11
II- L'irrigation en Algérie	13
1- Des grands périmètres irrigués (GPI).....	13
2- De la « Petite et Moyenne Hydraulique » ou PMH.....	13
3- L'irrigation dans la wilaya de Constantine.....	13
3.1- Les ressources.....	15
3.2- Les contraintes.....	17
Chapitre II Matériel et méthodes	18
1. Matériel	18
1.1- Milieu d'étude.....	18
1.2- Stations d'étude.....	19
2- Méthodes	20
2.1- Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation : méthodologie	20
2.1.1- Méthodes d'utilisation des directives.....	22
2.1.2- Méthode de calcul du SARaj : utilisation des directives.....	22
2.2. Travail de terrain	23
2.2.1- Prélèvement des échantillons.....	23
2.2.1.1- Echantillons " Eau ".....	23
2.2.1.2- Echantillons " Sol ".....	24
2.2.2- Méthodes d'analyses physico-chimiques.....	24
2.2.2.1- La turbidité.....	25
2.2.2.2- La température.....	25
2.2.2.3- Le pH.....	25
2.2.2.4- La conductivité électrique.....	26
2.3- Travail de laboratoire	26
2.3.1- Dosage des anions.....	26
2.3.1.1- Carbonates et bicarbonates.....	26
2.3.1.2- Les chlorures.....	26
2.3.1.3- Les sulfates.....	26
2.3.1.4- Les nitrates.....	26
2.3.2- Dosage des cations : Na ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ et calcul du SARaj.....	28
2.4- Méthodes statistiques	28

Chapitre III Résultats et discussions

1- Résultats	29
1.1- Résultats : ‘terrain’	29
1.1.1- Le pH.....	29
1.1.2- La température.....	30
1.1.3- La conductivité électrique (C _E).....	30
1.2- Résultats ‘Sol’	31
1.3- Résultats : laboratoire : qualité chimique des eaux	31
1.4- Résultats SARaj	32
2-Discussion	35
2.1- Evaluation de la qualité des eaux d’irrigation	35
2.1.1- Effet de la salinité.....	35
2.2- Evaluation du problème de perméabilité	38
2.2.1- Effet de la salinité sur la perméabilité.....	39
2.2.2- Effet du sodium (SARaj) sur la perméabilité.....	39
2.3- Evaluation du problème de toxicité	40
2.3.1- Les risques de toxicité spécifique aux ions sodium.....	40
2.3.2- Toxicité de l’ion chlore.....	41
2.4- Effets divers sur les cultures sensibles	42
2.4.1- Les nitrate.....	42
2.4.2- Le pH.....	43
2.4.3- Les bicarbonates.....	44
3- Aptitudes des eaux à l’irrigation	45
Conclusion	47
Références bibliographique	50
Annexe	52

Introduction

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

Mais, il arrive que la qualité de l'eau exigée ne soit pas toujours disponible. Dans le but de sauver voire d'améliorer leurs rendements, les exploitants agricoles se trouvent contraints à recourir à différentes sources d'eaux pour l'arrosage de leurs cultures. Il se trouve que sur certains sites, ils sont contraints d'utiliser des eaux usées non traitées, pouvant provenir *via* les oueds aussi bien des ménages que des industries.

Ces eaux d'oued, qui constituent une ressource importante, engendrent cependant des nuisances dans les milieux récepteurs et des risques sanitaires pour les populations qui sont en contact permanent ou consommant les produits agricoles irrigués avec ces eaux.

Pour se prémunir de ces risques, le législateur a, selon le principe de précaution, décrété des normes de qualité pour toute sorte d'eau destinée à des fins d'irrigation (JORA n° 30, 1983).

A Constantine, la réutilisation des eaux usées brutes en agriculture date de 1970, les agriculteurs irriguent plusieurs types de cultures sans le moindre contrôle.

D'après Boumelih (2006), le recours aux eaux usées pour l'irrigation des cultures maraîchères est une pratique courante de fil blanc dans de nombreuses localités de la wilaya et précisément le long de l'Oued Rhumel et la périphérie du barrage de Hammam Grouz.

Dans leurs travaux, Lekouara (1997), Khanchouche (1998) ont montré que le respect des normes en vigueur est totalement occulté. Le constat auquel ont abouti ces auteurs est que : ces eaux ne peuvent être exploitées sans certaines précautions.

Ceci a fait que dans certains cas l'irrigation n'a pas été ce complément nécessaire à l'amélioration de la production et on a pu constater bien au contraire, des baisses de rendements des cultures et parfois même la stérilisation progressive des sols voire des problèmes sanitaires.

Ce constat doit inciter à plus de rigueur dans la gestion et le pilotage de l'irrigation. Il impose une règle à savoir : *tout approvisionnement en eau destiné à l'irrigation doit faire l'objet non seulement du point de quantitatif mais surtout d'une évaluation qualitative préalable.*

L'objectif de ce travail est donc de prévenir et de résoudre, au niveau du champ du cultivateur les problèmes relatifs à la qualité de ces eaux d'irrigation, en présentant une analyse préventive des problèmes pédologiques et agronomiques potentiels (salinité, perméabilité, toxicité etc.).

Ceci démontre bien qu'une meilleure connaissance de l'utilisation de l'eau nécessite une étude pluridisciplinaire du schéma relationnel : sol-plante-eau-atmosphère.

Il va sans dire qu'une étude d'une telle envergure est prenante d'un point de vue temps et exige des moyens humains et matériels considérables qui souvent nous ont fait défaut.

Aussi, nous nous sommes limités dans cette étude à déterminer la qualité physico-chimique en référence aux normes d'irrigation de deux types d'eau usées brutes puisées à partir des deux oueds qui traversent la ville de Constantine : le Rhumel et Boumerzoug et, d'autre part prévoir et évaluer l'influence probable de leur réutilisation sur la nature des sols et sur les cultures au niveau de deux exploitations agricoles.

La démarche adoptée pour la réalisation de cette étude a été la suivante : dans un premier temps les investigations bibliographiques nous ont permis de définir l'irrigation, son importance et son impact sur l'économie et l'environnement. Dans un deuxième temps nous exposerons la méthodologie préconisée par la FAO (1976) quant à l'évaluation de la qualité des eaux destinées à l'irrigation.

Enfin la conclusion à tirer et les recommandations à proposer seront fonction des résultats obtenus.

Chapitre I Synthèse bibliographique

Cette rubrique regroupe le nécessaire des connaissances théoriques en rapport avec notre thème et que nous présentons de la façon suivante:

- ✓ un chapitre consacré à des généralités sur l'agriculture irriguée : l'irrigation, l'eau d'irrigation : qualité et origine et l'importance de l'irrigation ;
- ✓ un chapitre présentant l'état général de l'irrigation en Algérie et les normes de qualité en vigueur.

I- Généralités

1- L'irrigation : définition

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

2- Provenance de l'eau d'irrigation

De tout temps, les sociétés humaines ont déployé des trésors d'imagination pour détourner de multiples manières l'eau nécessaire à leur culture et irriguer leurs champs.

Certaines méthodes se contentent de mobiliser les eaux de crues des rivières ou les eaux de pluie. Elles interviennent peu sur le cours des rivières et déplacent peu les eaux dans l'espace. Au bord de certains grands fleuves africains par exemple, les paysans cultivent les terrains susceptibles d'être légèrement inondés par les eaux grossies du fleuve à la saison des pluies, qu'ils ensemencent juste avant la montée des eaux.

Très utilisée en Asie, mais également en Afrique, notamment pour la culture du riz, la construction de tout un réseau de petits canaux et de digues permet de récolter les eaux de crue des rivières, de les distribuer en contrôlant leur niveau dans chaque parcelle et de les y retenir. En Inde et au Brésil, se développe également l'usage de petites retenues d'eau, dites collinaires, édifiées en amont des vallées. Ces petits barrages en terre, de faible profondeur, récupèrent et stockent, pendant la saison des pluies, les eaux de ruissellement et les eaux de pluie, lesquelles peuvent ensuite être utilisées au profit des cultures. Cas des lacs de l'arborétum de Djebel El Ouahch (Constantine)

D'autres méthodes cependant consistent à pratiquer de véritables détournements d'eau.

Le recours aux puits, notamment, permet de prélever toute l'année l'eau de certaines nappes souterraines, en d'autant plus grandes quantités que l'on sait aujourd'hui forer jusqu'à de grandes profondeurs et pomper l'eau mécaniquement.

Une autre pratique consiste à détourner l'eau des rivières, et à la transporter par canaux, parfois très loin de son lieu de prélèvement, jusqu'à des régions moins bien dotées où elle manque.

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

Mais, si elles permettent de bénéficier toute l'année de grandes quantités d'eau, de telles pratiques ne vont pas sans présenter des inconvénients. Ainsi, la multiplication de canaux et réservoirs en tout genre accroît-elle la perte d'eau par évaporation; en outre, les grands barrages modifient les régimes hydrauliques, la qualité des eaux et les équilibres de la flore et de la faune des cours d'eau sur lesquels ils sont établis.

3- L'irrigation dans le monde

La consommation d'eau agricole est très variable d'un pays à l'autre. Elle n'intéresse que 273 millions d'hectares dans le monde éparpillés très irrégulièrement sur tous les continents

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

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

donc être conséquente. C'est ce qui se passe au Japon, en Chine, en Inde et au Pakistan (Milos, 1971).

Des facteurs autres que la situation géographique interviennent également, qui doivent être pris en compte pour expliquer la répartition mondiale de l'irrigation. Par exemple, l'irrigation nécessitant des infrastructures parfois très onéreuses, la richesse des pays considérés est un élément important. Il explique notamment qu'en Afrique ou au Brésil l'irrigation soit moins développée.

En conséquence, les pays qui irriguent le plus sont ceux situés dans le sud-ouest asiatique, lesquels rassemblent plus de 60 % des terres irriguées de la planète, et certains pays du pourtour méditerranéen, comme l'Italie ou la Grèce.

4- Importance de l'irrigation

4.1- Les avantages

Tant qu'on ne saura pas faire pleuvoir où et quand on veut, l'irrigation restera le seul moyen d'augmenter les rendements et de les régulariser dans bien des régions du monde.

En effet, selon les espèces et variétés cultivées, selon les terres, et selon les techniques utilisées, l'irrigation peut permettre d'obtenir de deux à cinq fois plus (et même dix en zone aride) de production (Plauchu, 2003).

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

4.1.1-Apport sur le plan économique

Depuis les années 60 la pratique de l'irrigation est à l'origine d'une augmentation de la production alimentaire globale dans l'ensemble des pays du tiers monde (De Regt, 1990). Répondant ainsi à une demande de produits alimentaires qui a considérablement augmentée par suite de l'essor démographique qui s'est manifesté dans la plupart des pays en voie de développement où, dans certains, la population double tous les 25 ou 30 ans.

L'irrigation n'a pas été seulement un atout dans l'augmentation de la production, elle a favorisé l'extension des surfaces agricoles mais également une diversification de produits plus large consommation que dans le passé.

Cette évolution explique l'élévation du niveau de vie et les progrès de la diététique. Les changements dans les habitudes alimentaires ont souvent donné la préférence à des produits irrigués (légumes et fruits notamment). L'amélioration des conditions écologiques par l'intermédiaire de l'irrigation a permis à des régions ou à des pays en voie de développement de se spécialiser dans les productions pour lesquelles la demande était en augmentation.

4.1.2-La satisfaction

Tous les pays cherchent à satisfaire la demande nationale, mais ceux qui le peuvent s'efforcent d'exporter leurs surplus agricoles ou la totalité de certaines productions qui ne trouvent pas ou peu de débouchés sur le marché national. Certaines cultures de plantations irriguées, souvent héritage d'une colonisation, donnent des produits qui doivent être nécessairement exportés, c'est le cas par exemple de l'Algérie ou le Maroc qui doivent trouver des clients pour leurs agrumes (Conac, 1978).

4.1.3-L'irrigation un rempart à la famine

L'irrigation bien maîtrisée est un rempart utilisé de longue date pour endiguer la sous-alimentation et renforcer la sécurité alimentaire des sociétés, la preuve en est que :

- Le boom de la production agricole mondiale entre 1950 et 1990 doit beaucoup à l'irrigation (FAO, 1975). Entre ces deux années le rendement en céréales a plus que doublé et la récolte a presque triplé. Au début des années 50 on a étendu la surface cultivée, mais le boom, sans précédent historique, de la croissance des rendements et de la production est associé au doublement des surfaces irriguées, soutenue à partir des années 60 par la mise au point de nouvelles variétés de riz et de blé réagissant de manière optimale aux engrais et à l'eau (Tiercelin, 1998).
- la surface minuscule à l'échelle de la planète, fournit 55% des produits alimentaires de base, dont le riz et le blé. «...C'est l'irrigation qui a le plus contribué à l'accroissement de la production agricole enregistré dans une grande partie de l'Asie, de l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient» (Maton, 2006).

En conclusion, nous pouvons dire que l'usage de l'irrigation présente de nombreux avantages. Il permet d'augmenter la superficie des surfaces cultivées, en particulier dans les zones arides,

d'assurer parfois deux récoltes (ou plus) au lieu d'une seule dans l'année, notamment dans certaines zones tropicales humides, d'améliorer les rendements, et d'une façon générale d'intensifier et stabiliser la production en se libérant des variations climatiques.

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

4.2-Les inconvénients

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

L'agriculture irriguée rencontre de nos jours de nouveaux problèmes tels que le risque de salification qui peut être apprécié par la conductivité électrique (C_E) et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière, due aux échanges ioniques, concerne surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol; il est évalué par le coefficient d'absorption du sodium (SAR).

Mal conduite, elle peut être néfaste pour les sols. Lorsqu'ils sont trop secs, l'infiltration de l'eau se fait mal et si l'apport est trop important, une grande partie de l'eau stagne ou ruisselle le long des pentes. En s'évaporant, l'eau stagnante laisse en dépôt les sels qu'elle contient, favorisant une salinisation des sols qui deviennent progressivement incultes et doivent être abandonnés; c'est un phénomène que l'on observe surtout dans les régions arides et semi-arides. Quant au ruissellement de l'eau, il favorise l'érosion des sols, surtout lorsqu'ils sont secs. À l'inverse, des sols trop imbibés sont néfastes pour la plupart des végétaux dont ils asphyxient les racines. Les sols doivent donc être convenablement drainés afin de permettre à l'eau en excès de s'évacuer.

L'irrigation est l'activité qui consomme le plus d'eau, elle absorbe plus de 85 % de l'eau maîtrisée par l'homme (Horning, 1973, Plauchu, 2004). D'importantes quantités d'eau sont en effet nécessaires pour compenser les pertes des plantes et des sols par évapotranspiration. En outre une majeure partie de l'eau d'irrigation retourne directement dans l'atmosphère, où elle est momentanément perdue pour d'autres usages. Cela est d'autant plus vrai que plus une plante dispose d'eau, plus son évaporation est importante. Il existe cependant une limite à ce phénomène au-delà de laquelle un apport supplémentaire d'eau n'augmentera pas la transpiration végétale. Pour éviter d'utiliser trop d'eau, les quantités justes nécessaires aux cultures doivent donc être soigneusement estimées et l'irrigation contrôlée.

Quoi qu'il en soit, pour irriguer les champs, il faut de l'eau et beaucoup d'eau, une eau que l'on doit parfois aller chercher très loin.

Au niveau mondial, les prélèvements en eau de l'irrigation représentent aujourd'hui environ 70 % des prélèvements totaux, ce qui est énorme (Plauchu, 2004). À l'échelle locale, la consommation immodérée d'eau d'irrigation peut même parfois conduire à une réduction considérable des volumes disponibles. Ainsi, le lac Tchad, autrefois la plus grande réserve d'eau douce du continent africain, est aujourd'hui 20 fois plus petit qu'il n'était il y a 35 ans. Les agriculteurs des pays limitrophes puisent en effet toujours plus d'eau pour irriguer leurs champs et lutter contre la sécheresse grandissante de cette région du globe.

En outre, toute cette eau ne parvient pas aux plantes car les pertes sont importantes, surtout lorsqu'il s'agit de techniques d'irrigation traditionnelles. Or, celles-ci sont employées sur les deux tiers des surfaces irriguées du globe. Ces pertes sont dues soit à des fuites sur canalisations, soit à l'évaporation de l'eau qui stagne sur les sols. On estime qu'en Afrique, environ 40 à 60 % de l'eau d'irrigation est ainsi perdue.

Mal conduite, l'irrigation peut également avoir des conséquences dramatiques sur les sols, surtout dans les régions au climat sec et chaud où l'on irrigue toute l'année. En effet, si l'eau d'irrigation n'est pas drainée, elle stagne dans les champs, et s'évapore lentement, laissant en dépôt les sels dissous qu'elle contient. Cet excès de sels stérilise progressivement les terres qui doivent être abandonnées.

Le pompage abusif d'eau fluviale à des fins d'irrigation peut aussi progressivement conduire à l'assèchement des territoires situés plus en aval. À ce titre, l'exemple de la catastrophe écologique de la mer d'Aral, qui fut le quatrième lac du monde par sa superficie, est édifiant. Il illustre bien les très graves conséquences que peuvent engendrer des prélèvements excessifs d'eau.

Dans les années 1960, pour développer la culture irriguée du coton dans la région désertique du Kazakhstan, la majeure partie des eaux des deux fleuves qui alimentaient la mer d'Aral a été détournée. Ces prélèvements considérables ont abaissé de 15 mètres le niveau de la mer et diminué sa surface de 40 %. Dans le même temps, la salinité de ses eaux est passée de 10 à 30 grammes par litre. La faune a presque entièrement disparu et la pêche avec elle. Une mauvaise gestion de l'irrigation et une utilisation abusive d'engrais et de pesticides ont conduit à la salinisation des sols et à la désertification d'immenses étendues dans la région. La qualité des

eaux souterraines s'est également dégradée et le niveau des nappes phréatiques a fortement baissé.

5- La qualité de l'eau d'irrigation

Il arrive que, devant la rareté des ressources conventionnelles, les exploitants agricoles sont amenés à se rabattre sur différentes sources d'eaux pour l'irrigation de leurs cultures.

Sur certains sites, ils utilisent des eaux usées non traitées, pouvant provenir aussi bien des ménages que des industries ou pompées directement des oueds.

La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé et est aujourd'hui une pratique largement répandue sur le pourtour sud de la Méditerranée, de l'Espagne à la Syrie. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement ressentie. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents urbains est la plus pratiquée.

Dans ce contexte, les eaux usées sont valorisées comme une ressource supplémentaire en eau et comme apport appréciable en fertilisants. Cependant cette réutilisation engendre des risques pour l'environnement et pour les populations en contact permanent avec les eaux usées ou consommant les produits agricoles irrigués avec ces eaux ; d'où :

- il est recommandé, voire impératif aux autorités, de mesurer l'impact de cette réutilisation sur la qualité physico-chimique du sol ;
- d'évaluer quantitativement et qualitativement le flux de pollution provenant des eaux usées.

Cinq principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation ont été dégagés (Couture, 2006 a).

1. **Salinité** : contenu total en sels solubles.
2. **Sodium** : proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.
3. **Alcalinité et dureté** : concentration d'anions carbonate (CO_3^{2-}) et bicarbonate (HCO_3^-) en relation avec la concentration en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+})
4. **Concentration en éléments qui peuvent être toxiques**
5. **pH** : de l'eau d'irrigation

Les deux premiers critères sont d'importance majeure car un excès de sels augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol

semble avoir beaucoup d'humidité, les plantes flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration.

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates

(HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimé en mg/l ou, plus couramment, par la conductivité électrique. La conductivité électrique est exprimée en millisiemens/centimètre (mS/cm) qui est l'équivalent de 1 desiemens par mètre (dS/m) et en moyenne, à 640 ppm de sel (Couture, 2006 b).

Sodium

Proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation.

Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. La perméabilité des sols sableux peut ne pas se détériorer aussi vite que les sols plus lourds lorsqu'irrigués avec une eau de forte teneur en sodium, cependant un problème potentiel existe (Couture, 2006).

Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures sensibles comme les carottes, les haricots, les fraises, les framboises, les oignons, pour en nommer quelques unes.

De grande quantité de sodium combiné avec du chlorure donne à l'eau un goût salé. Si l'eau passe par un système d'aspersion et que le calcium et le magnésium sont bas, des teneurs moyennes à élevées de sodium peuvent défolier les plantes sensibles.

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'absorption du sodium (RAS). Le RAS décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium

et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation.

De l'eau avec un RAS de plus de 9, ne devrait pas être utilisée même si le contenu total en sel est relativement bas.

Un usage continu d'eau avec un RAS élevé provoque une déstructuration du sol.

L'eau avec un RAS se situant entre 0 et 6 peut généralement être utilisée sur tout type de sol avec peu de problème d'accumulation de sodium. Quand le RAS se situe entre 6 et 9, les risques de problème reliés avec la perméabilité du sol augmentent. Dans ce cas, le sol devrait être échantillonné tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol.

Lorsque l'eau d'irrigation est saline, une valeur de RAS encore plus basse devrait être utilisée. Les problèmes dus au sodium sont aussi reliés à la concentration totale en sel de l'eau d'irrigation. Par conséquent, des eaux d'irrigation avec des salinités entre 1,5 et 3,00 mS/cm avec un RAS au-dessus de 4 doivent être utilisées avec prudence. Des échantillons de sols doivent être prélevés annuellement afin d'éviter d'éventuels problèmes de salinité des sols.

L'irrigation d'appoint avec des eaux relativement chargées pourrait se faire avec un minimum de risques pendant la période d'hiver lorsque la demande atmosphérique est réduite. Des cultures considérées comme stratégiques en Afrique du Nord sont très résistantes à la salinité. Les pratiques culturales développées dans les oasis où la salinité de l'eau d'irrigation varie entre 3 et 6 g/l et qui sont basées sur l'utilisation massive du fumier et l'entretien de la structure perméable de la couche superficielle du sol mériterait une attention particulière.

Les eaux de ruissellement et saumâtre ont un potentiel pour le développement agricole beaucoup plus important que celui des eaux usées. Cependant, il est important de recycler les quantités d'eau produites par les centres urbains. Les exemples de réutilisation des eaux usées épurées dans les parcs et la foresterie offrent une alternative à la réticence d'utiliser ces eaux dans une région qui veut développer ses exportations et son tourisme.

6- Les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

L'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées.

De plus, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies, les agriculteurs, notamment dans les régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées. C'est ainsi que des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation ont été établies. Une eau est conforme à l'irrigation est une eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites imposées par des textes de lois et inscrites dans des tableaux de normes. L'exemple du, tableau 1 donne les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (Maynard et Hochmuth,

1997). Les normes varient selon les pays, mais dans la majorité des pays on fait référence, à quelques exceptions près, aux cinq critères de qualité sus cités.

Tableau 1
Barème de qualité pour l'eau d'irrigation

Types de problèmes	Sévérité du problème		
	Aucune	Légère	Elevée
Salinité			
- Conductivité (mS/cm)	< 0.75	0.75-3.0	> 3
- Matières dissoutes totales	< 700	700-2000	>2000
SAR (Sodium absorption Ratio)	< 3	3-9 >	> 9
Alcalinité ou dureté	80-120		>200
pH (risque de colmatage)	< 7	7-8	> 8
Fe mg/l (risque de colmatage)	< 0.2	0.2-1.5	> 1.5
Mn mg/l (risque de colmatage)	< 0.1	0.1-1.5	> 1.5

(Source : Maynard et Hochmuth, 1997).

Les normes ont pour objectif de :

- ✓ protéger le public et les ouvriers agricoles ;
- ✓ protéger les consommateurs des produits agricoles ;
- ✓ protéger les ressources en eau superficielle et souterraine et les sols ;
- ✓ protéger le matériel d'irrigation ;
- ✓ maintenir des rendements acceptables.

II.- L'irrigation en Algérie

L'Algérie compte 17 bassins-versants. Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques (Kadi, 1997). Globalement, la superficie irriguée actuellement est de l'ordre de 420.000 ha dont 100.000 ha dans les régions sahariennes et ce, sur une superficie agricole utile de 8.666.715 ha soit près de 5% de la surface agricole utile (SAU) (Messahel *et al.*, 2003). Les 320.000 ha irrigués dans le Nord du pays (soit 4,6% de la SAU) se répartissent en deux ensembles nettement différenciés à la fois par la taille des aménagements et par le mode de gestion, il s'agit :

1-Des grands périmètres irrigués (GPI) relevant de l'Etat gérés par l'Office National des Irrigations et du Drainage. Ces périmètres sont irrigués à partir de barrages pour la plupart et de forages dans le Nord du pays (tableau 2). Dans le Sud l'irrigation des périmètres est assurée à partir de forages profonds dans les grandes nappes souterraines de l'albien. Leur superficie totale équipée actuelle est de l'ordre de 200.000 ha. La surface irrigable représente environ 150.000 ha (nettement inférieure à la surface équipée en raison des pertes occasionnées par la dégradation des sols). La surface effectivement irriguée est de l'ordre de 40.000 ha seulement. Des programmes de remise en état et de rénovation des systèmes de distribution sont en cours pour accroître cette surface. Les cultures pratiquées dans les GPI (en 2008) sont en grande partie l'arboriculture (64,6 % des surfaces irriguées), le maraîchage (28,5 %), des cultures industrielles (6,1 %) et le reste céréales et fourrages. Il y a lieu de remarquer le faible développement des cultures industrielles malgré la vocation des GPI pour ces spéculations, probablement dû à l'absence de valorisation par les filières de transformation. Faiblesse également de la production des cultures fourragères (Benblidia, 2011)

Tableau 2

Superficies des GPI équipées, irrigables et irriguées par grande région

Régions	Superficies équipées (ha)	Superficies irrigables (ha)	Superficies irriguées (ha)	Proportions équipées %	Irrigables/ équipées %	Irriguées/ équipées %
Oranie	28.930	13.500	9459,50	15,2	46,7	32,7
Chélif	75.438	61.383	11513,54	39,6	81,4	15,3
Algérois	440.88	34.963	3717.11	23,1	79,3	8,4
Constantinois	34.612	30.446	8460,42	18,1	88,0	24,4
Sahara	7660	6939	6772	4,0	90,6	88,4
Total	190.728	147.231	39922,57	100	77,2	20,9

Source : Benblidia 2011

2-De la « Petite et Moyenne Hydraulique » ou PMH : il s'agit d'exploitations petites et moyennes constituées de petits périmètres et aires d'irrigation qui se sont remarquablement développés depuis une dizaine d'années à l'initiative de l'Administration et surtout, à

l'initiative de producteurs privés. La PMH englobe toutes les formes de développement de l'irrigation autres que celles délimitées dans le cadre des GPI dont la gestion relève de l'ONID (tableau 3).

Tableau 3
Répartition territoriale des superficies de PMH selon le mode d'irrigation

Région	SAU Irriguée (ha)	% Gravitaire	% Aspersion	% Localisé	% Citernage
Nord	221.200	62	22	15	0.9
Hauts Plateaux	258.482	64	16	20	0.4
Sud	216.482	70	7	23	0.0
Total	696.380	65	15	19	0.4

Source : Benblidia 2011

Les aides et subventions accordées par l'Etat aux exploitants dans le cadre du PNDAR (Plan de développement agricole 2000-2006) ainsi que la libéralisation de réalisation de forages et de creusement de puits ont permis à la PMH d'occuper une superficie de 720.000 ha en 2008 alors qu'elle n'était que de 350.000 ha en 2000. La PMH grâce à ses cultures principales, maraîchage (32 %) et arboriculture (44 %) contribue efficacement à la satisfaction des besoins en fruits et légumes frais de la population. Il faut noter cependant que ce rapide développement de la PMH s'est accompagné de prélèvements importants et mal contrôlés sur les ressources en eau souterraines et même de surexploitations de quelques grandes nappes (Benblidia, 2011).

L'irrigation gravitaire (tableaux 3 et 4) reste encore très répandue dans les exploitations de PMH. Mais on constate que les modes d'irrigation « économiques » se sont bien développés, en particulier le « goutte à goutte » dans les Hauts Plateaux et les régions sahariennes.

L'introduction du mode d'irrigation dit du « goutte à goutte » a permis la création de nombreux petits bureaux d'études pour le calcul des plans de réseaux, et le développement de la fabrication de matériels et de canalisations en plastique souple.

D'importantes subventions pour la mise en place d'équipements de la micro-irrigation ont été octroyées dans le cadre d'un vaste programme d'économie de l'eau pour réduire la demande en eau d'irrigation et limiter les pertes (les objectifs du Ministère de l'Agriculture dans le cadre de l'actuel Plan National de Développement Agricole dépassent 100.000 ha pour la micro-irrigation).

Tableau 4
Evolution des surfaces irriguées de 2000 à 2008

Année	Superficie irriguée totale (ha)	Système d'irrigation (ha)		
		Gravitaire	Aspersion	Goutte à goutte
2000	350.000	275.000	70.000	5000
2001	617.427	458.421	102.978	560.28
2002	644.978	433.561	127.570	83.877
2003	722.320	485.019	138.301	99.000
2004	793334	516.108	159.739	117.487
2005	825.206	524.503	153.006	147.697
2006	835.590	481.046	175.056	179.488
2007	907.293	557.327	183.182	166.784
2008	928.955	583.002	185.080	160.873

Source : (d'après bilan 2000-2008 MADR in Benblidia 2011)

Résultat à l'horizon 2014

Les structures concernées comptent développer les systèmes économiseurs d'eau, par l'extension et la reconversion des systèmes gravitaires existant en systèmes économiseurs d'eau.

La superficie irriguée totale devra être en 2014 de l'ordre de **1.120.000 ha** dont **810.000 ha** équipée de systèmes d'irrigation économiseurs d'eau. (La part d'irrigation « économe » passerait de **37,3 %** en 2009 à **72%** en 2014).

3- L'irrigation dans la wilaya de Constantine

3.1- Les ressources

La wilaya dispose de 6500 ha (5.08 %) de terres irrigables pour une S.A.U de 127.840 ha (Kherraz 1994). Mais les vicissitudes du climat font que la wilaya reçoit bon an mal an entre 400 et 600 mm de pluies et que les besoins pour irriguer les 6500 ha de terres irrigables demeurent la plupart du temps insuffisants

Le principe de prévention a fait que le recours à l'irrigation avec les eaux usées brutes à partir des trois grands affluents : Rhumel, Boumerzoug, et Smendou, est une nécessité qui se pratique depuis 1970.

La superficie irriguée à partir de ces trois grands affluents est estimée à 500 ha (Baghdadi, 1994).

En plus du pompage au fil de l'eau la wilaya dispose actuellement d'importantes ressources d'irrigation à savoir, 33 forages, 232 puits, 35 sources d'eau et 17 retenues collinaires. En 1994, elle ne disposait que de :

- **13 les retenus collinaires** avec une capacité de 5.450.000 m³, irrigant une superficie de 762 ha (66 exploitants) (Baghdadi, 1994) ; dont 9 seulement ont été exploitées en 2008,
- **48 sources** (actuellement 35) irrigant 945 ha dont les trois principales sont : Ain Touta, Ain-Bensbaa, Hamma Zouaoui, constituant l'aire d'irrigation de Hamma Bouziane (Baghdadi, 1994) ;

Mais la superficie effectivement irriguée est variable selon les années. En 1994, la wilaya n'est arrivée à irriguer, et dans des conditions difficiles que 2350 ha soit 1,8 % de la S.A.U (Baghdadi, 1994) .d'où un déficit énorme à combler de 24.900.000 m³

$$\text{Besoins } 6500 \text{ ha. } 6000 \text{ m}^3 = 39.000.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Disponibles } 2350 \text{ ha. } 6000 \text{ m}^3 = 14100000 \text{ m}^3$$

En 2008, la surface agricole irriguée est de 2173 ha, soit de 1.7% de la SAU.

La direction du secteur prévoit de passer à 5450 ha à l'horizon 2014 (Hannachi, 2009).

Jugée faible en ressources hydriques destinées à l'agriculture, la circonscription devrait patienter jusqu'à la réalisation des raccordements de tous les réseaux d'assainissement à la station d'épuration de Hamma Bouziane.

Selon la commission locale chargée de ce volet, «la menace des rejets domestiques et industriels pesant sur les plus importants cours d'eau (Rhumel, Boumerzoug et Smendou) affectent plus de 30% du potentiel irriguée», le réduisant de 3000 à 2000 ha annuellement.

L'objectif tracé afin de réanimer autant d'hectares tient toutefois en compte «des options et des actions retenues par les secteurs de l'hydraulique et de l'agriculture». Les différentes étapes que connaîtra l'irrigation durant le programme quinquennal concerneront la protection et

l'utilisation rationnelle PMH en exploitation, la mise en service des retenues collinaires en phase de réalisation. Aussi, il est prévu l'encouragement de l'investissement individuel dans le cadre des programmes MADR forages, puits,...). Cependant, l'opération la plus attendue est sans conteste la dépollution d'ici à 2012 des oueds, notamment le Rhumel. Suivront les extensions de la station de pompage de Hamma Bouziane et la réalisation d'autres au niveau des communes de la nouvelle ville Ali Mendjeli et Zighoud Youcef.

3.2-Les contraintes

A l'origine du déficit en eau d'irrigation, deux contraintes majeures sont distinguées

- ✓ le climat semi-aride, 300 à 400 mm / an avec une forte évaporation.
- ✓ l'absence d'infrastructure de stockage, constituant une entrave à la mobilisation des eaux superficielles, alors que la wilaya dispose de quantités relativement importantes. Un seul barrage, celui de Hammam Grouz, mis en service en 1987, pour la seule alimentation du chef lieu de wilaya, et il ne s'agit que d'un barrage relativement modeste, 18 million m³ / an (Kherraz, 1994). L'exploitation des eaux du barrage de Beni-Haroun n'est pas toujours opérationnelle.

Une troisième contrainte sur la qualité des eaux est la pollution. L'eau des grands affluents est menacée continuellement par les rejets industriels et ménagers qui se déversent en aval des zones industrielles et agglomération urbaines. Pour Djeha et Kara, (1992) :

« ...les cours d'eau et oueds de Constantine se sont mus en de véritables égouts à odeur nauséabonde et impropres à l'irrigation », Mihoub (1994), classe les eaux de l'oued- Rhumel comme polluées. De telles constatations ont déjà été faite par Bouchtab (1984) mais une vingtaine d'années plus tard, le problème reste toujours d'actualité voire aggravé par la faible pluviométrie de la région, (1996 est une année exceptionnelle 615.9 mm, d'après l'O.N.M) et une industrialisation et urbanisation à outrance, insouciant et ignorant des conséquences néfastes sur les écosystèmes « eau » et « sol ».

Chapitre II Matériel et méthodes

1- Matériel

1.1- Milieu d'étude

Les deux stations de prélèvements des échantillons d'eau retenues sont localisées dans la wilaya de Constantine (fig.1). Cette dernière, située à l'Est du pays, est limitée au sud par la wilaya d'Oum El Bouaghi à l'est par la wilaya de Guelma à l'ouest par la wilaya de Mila et au nord par la wilaya se Skikda.

Les coordonnées sont respectivement :

- ✓ station 1 : latitude : $36^{\circ}19'.59\ 40''$ N. Longitude : $6^{\circ}36'01.29''$ E (approximativement) ;
- ✓ station 2 latitude : $36^{\circ}18'.39\ 91''$ N. Longitude : $6^{\circ}40'26.86''$ E (approximativement) (réf. Carte topo 1/200.000 Edit.1960 Cne).

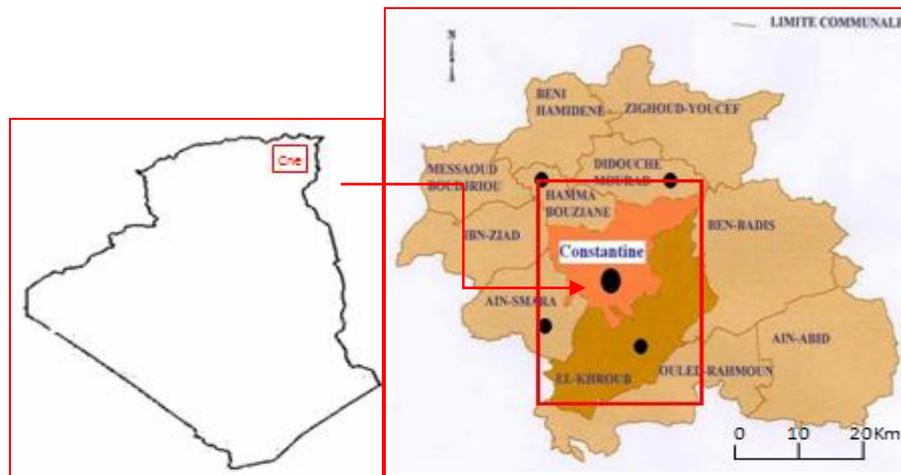


Figure 1- Esquisse de la wilaya de Constantine. En encadré la zone d'étude (D'après Monographie Wilaya de Constantine, modifiée)

D'après Mébarki (1982) la région constitue un des éléments de l'Atlas Tellien. Elle se situe plus précisément dans la zone centrale des massifs calcaires Constantinois correspondant au domaine des Hautes-Plaines Sud-Constantinoises constitué de deux grandes unités lithologiques:

- ✓ Les massifs carbonatés du néritique constantinois: composés de 1000 à 1200 m de calcaires jurassiques et crétacés, ils émergent en horsts très karstifiés de 10 à 100 km² limités par des abrupts imposants. Au pied de ces massifs, dans la zone d'éboulis,

émergent de grosses sources karstiques: Ain Fesguia (90 l/s: AEP d'E1-Khroub et de Constantine) à la base du Guérioun, Aïn Fourchi (pompages de 300 l/s Ils aux fins de l'irrigation) au sud d'Ain M'lila et à l'est du Djebel Nif Ennser, Aïn Boumerzoug (400 l/s: AEP de Constantine) au nord du massif du Fortas.

- ✓ Les trop-pleins non captés alimentent les oueds (Haut-Rhumel et Boumerzoug) qui drainent les différentes plaines quaternaires cloisonnées par les djebels calcaires.

Sur l'ensemble de ces plaines, les nappes phréatiques sont activement exploitées pour l'irrigation par gravité des cultures maraîchères.

D'un point de vue climatique, la région est soumise à un climat semi-aride avec une moyenne annuelle des précipitations de l'ordre de 557.37mm (moyenne sur 27 ans (1984-2010)).

On note 99 jours par an de pluies, cinq jours par an d'enneigement et 45 jours par an de gel. L'été est chaud à précipitations faibles (43.8 mm).

Cependant il y a lieu de distinguer deux saisons :

- ✓ la saison chaude s'étale de mai à octobre ;
- ✓ la saison froide de novembre à avril.

1.2- Stations d'étude

Les stations retenues pour la caractérisation des eaux d'irrigation usées se répartissent comme suit (fig.2) :

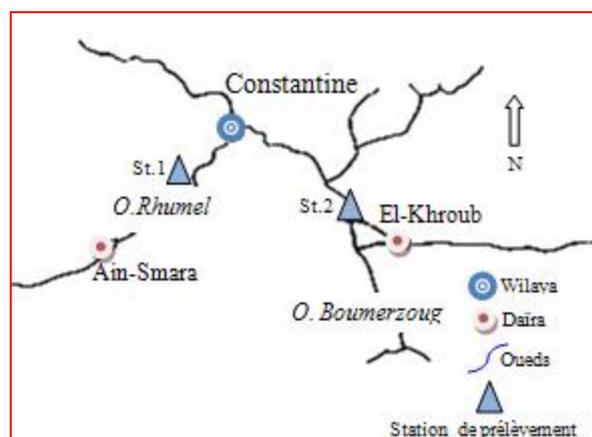


Figure 2- Esquisse situation géographique des stations de prélèvement

La station 1 est située, en aval de la zone industrielle d'Ain Smara et de l'usine de détergent de Chelghoum Laid. Elle est irriguée par les eaux usées de l'Oued Rhumel (figure.3)



Figure 3- Station 1 encadrée, irriguée à partir de l'Oued-Rhumel (Google : image satellite du 13 juin 2009).

La station 2 appartient à la ferme Ben Brihmat, irriguée à partir de l'Oued Boumerzoug qui collecte à la fois les eaux usées domestiques de la ville d'El-Khroub, et par le biais de l'Oued Hamimim, les effluents du complexe *PMO* (figure .4).



Figure 4- Station 2, irriguée à partir de l'Oued-Boumerzoug (Google : image satellite du 13 juin 2009).

2- Méthodes

2.1- Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation : méthodologie

L'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation nécessite l'utilisation d'une grille de qualité à laquelle on doit se référer pour juger si une eau convient ou non à l'irrigation.

Pour ce faire, nous avons opté pour une méthodologie préconisée par la FAO (1976) et adoptée par de nombreux pays (Inde, Pakistan, Syrie, USA, Belgique, etc.). Elle a été mise au point et

utilisée dans le cadre de l'agriculture californienne par le service de vulgarisation, la station expérimentale et le corps enseignant de l'université de Californie (Ayers et Westcot 1976).

En Algérie, cette méthodologie a été appliquée par Lekouara (1997) et Khanchouche (1998) dans leurs travaux sur l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation en provenance de la source chaude de Hamma Bouziane et des effluents des complexes de Ain Smara et Hamimim.

La méthodologie est basée sur une série de directives ou valeurs « guides » (tableau 5), ayant pour objectifs de prévenir et de résoudre au niveau du champ du cultivateur les problèmes d'ordre général rencontrés en irrigation en matière de salinité, de perméabilité et de toxicité spécifique par certains ions. Les directives devraient aider à situer les effets de la qualité de l'eau dans la perspective des autres facteurs influant sur la production agricole et permettre à l'homme de terrain de juger si l'eau utilisée convient ou non à l'irrigation.

Tableau 5.
Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation
(Bulletin FAO n° 29 ; 1976)

Nature des problèmes	Unité	Guide pour la qualité de l'eau		
		Pas de problèmes	Problèmes croissants	Problèmes graves
Salinité C_E	mS/cm	< 0.75	0.75 - 2.0	> 3
Perméabilité C_E SAR	mS/cm	> 0.5	1.5 - 0.2	< 0.2
Montmorillonite – Smectite		< 6	6.0 - 9	> 9
Illite – Vermiculite		< 8	8 – 16	> 16
Kaolinite – Sesquioxides		< 16	16 – 24	> 24
Toxicité spécifique de certains ions.				
Sodium (Na) Irrigation de surface Irrigation par aspersion	SAR aj. meq/l	< 3 < 3	3.0 - 9 9	> 9
Chlore (Cl) Irrigation de surface Irrigation par aspersion	meq/l meq/l	< 4 < 3	4.0 – 10 3	> 10

Effets divers			
Azote (NO ₃ ⁻)	mg/l	< 5	5.0 – 30
Bicarbonate (HCO ₃ avec aspersion)	meq/l	< 1.5	1.5 – 8.5
pH		Gamme normale : 6.5 -8.4	

Il est à préciser que ces directives ne sont pas faites pour évaluer certains constituants inhabituels ou particuliers parfois présents dans les eaux usées tels que les pesticides et métaux à l'état de traces.

2.1.1- Méthodes d'utilisation des directives

L'utilisation des directives (tableau 1) nécessite des dosages au terrain et au laboratoire. Les dosages à faire sont indiqués au tableau 6. Sur la base des résultats des dosages on calcule le SARaj : (coefficient ajusté d'adsorption du sodium).

Tableau 6
Différents paramètres à doser pour l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation

Paramètres	Symbole	Unité
Température	T	°C
Degré d'acidité ou d'alcalinité	pH	---
Conductivité électrique	C _E	mS/cm
Nitrates	NO ₃	mg/l
Chlorures	Cl ⁻	meq/l
Carbonates	CO ₃ ²⁻	meq/l
Bicarbonates	HCO ₃ ⁻	meq/l
Sulfates	SO ₄ ²⁻	meq/l
Sodium	Na ⁺	meq/l
Calcium	Ca ⁺⁺	meq/l
Magnésium	Mg ⁺⁺	meq/l
Taux de sodium adsorbé (calculé à partir de Na, Mg, CaCO ₃ ; HCO ₃)	SARaj.	--

2.1.2- Méthode de calcul du SARaj : utilisation des directives

Le SARaj est calculé au moyen de la formule :

$$SAR_{ajusté} = \frac{Na}{\sqrt{Ca + \frac{Mg}{2}}} [1 + (8.4 - pH)c]$$

Na ; Ca ; Mg : déterminés par l'analyse de l'eau sont exprimés en meq/l tandis que le pHc est calculé à l'aide des tables ci-dessous (tableau 7) qui se rapportent aux dosages obtenus par analyse de l'eau.

Les valeurs des tables sont ensuite introduites dans la formule du pHc (tableau 7) :

$$\text{pHc} = (\text{pK}_2 - \text{pKc}) + \text{p}(\text{Ca} + \text{Mg}) + \text{p}(\text{Alk})$$

$$(\text{pK}_2 - \text{pKc}) = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na en meq/l}$$

$$\text{p}(\text{Ca} + \text{Mg}) = \text{Ca} + \text{Mg en meq/l}$$

$$\text{p}(\text{Alk}) = \text{CO}_3 + \text{HCO}_3 \text{ en meq/l.}$$

Le pHc représente un pH théorique, calculé, de l'eau d'irrigation en contact avec de la chaux et en équilibre avec le CO₂ du sol.

Tableau 7.

Tables utilisées pour calculer le pHc (Bulletin F.A.O N°29, 1976).

P (ALK)	P (Ca + Mg)	pK ₂ - pK'c	Somme de la concentration (meq/l)
4.3	4.6	2	0.05
4	4.3	2	0.1
3.8	4.1	2	0.15
3.7	4	2	0.2
3.6	3.9	2	0.25
3.5	3.8	2	0.3
3.4	3.7	2	0.4
3.3	3.6	2.1	0.5
3.1	3.4	2.1	0.75
3	3.3	2.1	1
2.9	3.2	2.1	1.25
2.8	3.1	2.1	1.5
2.7	3	2.2	2
2.6	2.9	2.2	2.5
2.5	2.8	2.2	3
2.4	2.7	2.2	4
2.3	2.6	2.2	5
2.2	2.5	2.2	6
2.1	2.4	2.3	8
2	2.3	2.3	10
1.9	2.2	2.3	12.5
1.8	2.1	2.3	15
1.7	2	2.4	20
1.5	1.8	2.4	30
1.3	1.6	2.5	50
1.1	1.4	2.5	80

2.2- Travail de terrain

2.2.1- Prélèvement des échantillons

2.2.1.1- Echantillons ‘‘ Eau’’

Les prélèvements d’eaux brutes des deux oueds ont été effectués entre octobre 2010 et juillet 2011 aux dates suivantes :

25/10/2010

25/01/2011

16/5/2011

10/7/2011

Les prélèvements sont effectués dans des bouteilles (1/4L) en polyéthylène lavées à l’acide chlorhydrique (5%) ; puis rincées à l’eau distillée.

Au moment de l’échantillonnage les bouteilles sont rincées trois fois avec l’eau à échantillonner.

L’eau est prise à une profondeur de 15 à 30 cm de la surface de l’eau, en évitant la pénétration de l’air.

A chaque bouteille nous rajoutons deux gouttes de la solution de chlorure de mercure pour assurer une conservation jusqu’à l’analyse.

2.2.1.2- Echantillons ‘‘Sol’’

Les échantillons de sol sont prélevés à la tarière à une profondeur comprise entre 0 et 30 cm, (profondeur des racines fasciculées).

Les caractéristiques physiques du sol : ont été déterminés *in situ*

- ✓ La classe texturale a été déterminée par la méthode dite au toucher.
- ✓ La structure est déterminée de visu sur une motte de terre.
- ✓ La couleur est donnée par le code Munsell.

NB :

Le nombre minimal d'échantillons sur la base duquel une eau destinée à l'irrigation est dite conforme aux normes fixées est de:

- 6 par an à raison de 1 tous les 2 mois à partir de février pour les eaux superficielles;
- 2 par an pour les eaux souterraines pendant la période d'irrigation.

Pour les eaux usées épurées, le nombre minimal d'échantillons sur la base duquel une eau destinée à l'irrigation est dite conforme aux normes est fixé comme suit :

- 4 par an à raison de 1 par trimestre pour analyser les métaux lourds ;
- 24 par an à raison de 1 tous les 15 jours pour analyser les paramètres bactériologiques, parasitologiques et physico-chimiques.

Dans notre cas ces directives n'ont pas été respectées pour des raisons de logistique indépendantes de notre volonté.

2.2.2- Méthodes d'analyses physico-chimiques

Les méthodes d'analyses sont celles préconisées par les normes AFNOR (NF-T 90-10 ; 1997) et par Rodier (2005).

À chaque prélèvement, la température, le pH la conductivité électrique et le TDS (Total des sels dissous) et la turbidité ont été mesurés (testés) *in situ*.

Les échantillons d'eau ont été conservés à 4°C pendant le transport et au laboratoire, puis ont été analysés dans les 24 heures qui suivent. Lorsque les échantillons sont conservés, ils sont mis au réfrigérateur.

Avant de procéder aux opérations analytiques, il est essentiel que toutes les dispositions soient prises, telles que l'homogénéisation au moment du dosage.

2.2.2.1- La turbidité

Elle est appréciée de *visu* au moment de la prise des échantillons.

C'est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau; c'est l'inverse de la limpidité.

Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée (diffraction) ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite (APHAAWWA-WEF, 1998; US EPA, 1999).

2.2.2.2- La température

Sa mesure est simple, à l'aide d'un thermomètre à mercure.

La mesure de la température sur le terrain permet d'ajuster les valeurs de conductivité, d'apprécier l'origine plus ou moins profonde de l'eau et de calculer les équilibres de dissolution.

Elle joue un rôle important par exemple en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz dont, entre autres, l'oxygène. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius(°C). La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante, l'horaire de la mesure.

2.2.2.3- Le pH

Mesuré directement à l'aide d'un pH-mètre de terrain équipé d'une électrode verre-calomel, préalablement étalonné à l'aide des pH étalons 7 et 4.

On utilise la valeur du pH pour établir l'état des équilibres de dissolution et ainsi connaître le caractère agressif ou incrustant de l'eau (particulièrement par les carbonates). Comme la variation de la pression des gaz (CO₂, O₂) modifie le pH, il est important de le mesurer directement lors de la prise d'échantillon.

2.2.2.4- La conductivité électrique

Mesurée à l'aide d'un conductimètre de terrain équipé d'une cellule (constante de la cellule = 1), d'une sonde pour la mesure de la température et d'un convertisseur intégré convertissant les Siemens en g/l de sel (TDS). Les résultats sont directement lus sur un écran digital.

Cette mesure est très importante car elle donne directement une estimation de la minéralisation totale. La conductivité est naturellement également influencée par le pH, la valence des ions et leur degré d'ionisation.

2.3- Travail de laboratoire

2.3.1- Dosage des anions

2.3.1.1-Carbonates et bicarbonates

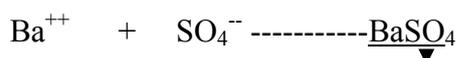
La détermination des carbonates et bicarbonates se fait suivant une méthode titrimétrique très répandue : un aliquote de l'eau est titré avec un acide (H₂SO₄ ou HCl) à faible concentration (0.1N) en présence successivement de phénolphtaléine (indicateurs des carbonates) et du méthyle orange (indicateur des bicarbonates).

2.3.1.2-Les chlorures

Nous avons suivi la méthode volumétrique de MOHR où les chlorures sont totalement précipités par l'argent (AgCl_2). La fin de la titration est marquée par l'indicateur chromate (K_2CrO_4) qui forme un précipité rouge (AgCrO_4) avec l'argent en excès.

2.3.1.3-Les sulfates

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfates de baryum par le chlorure de baryum. (Méthode turbidimétrique) :



Le précipité ainsi obtenu, très fin, est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble ainsi obtenu une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde 495 nm à l'aide d'un spectrophotomètre de marque Jenway. Modèle 6315 avec un trajet optique de 1 cm (cuve en quartz).

(Voir protocole détaillé en annexe).

2.3.1.4-Les nitrates.

La méthode la plus employée pour le dosage des nitrates est celle adoptées par l'agence française de normalisation (AFNOR, 1975 ; norme NFT 90-012), dite méthodes au salicylate de sodium.

Parallèlement, il existe plusieurs méthodes de dosage des nitrates dans les eaux (voir annexe). Mais, il parait qu'aucune méthode n'apporte réellement une amélioration par rapport à celle du salicylate.

Le dosage des nitrates impose que la mesure soit réalisée dans les plus courts délais après le prélèvement car le NO_3^- peut rapidement être réduit.

Les mesures de l'absorbance en VIS à 415 nm ont été réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre de marque Jenway. Modèle 6315 avec un trajet optique de 1 cm (cuve en quartz).

Remarques : valeur scientifique des données obtenues

Etant donné les conditions de travail au laboratoire et suite au fait que les analyses ont dû être réalisées dans une atmosphère à température souvent très variable – avec un impact évident sur la solubilité des éléments à doser – il est logique que les chiffres obtenus ont dû être contrôlés sérieusement sur leur valeur scientifique avant d’être interprétés.

En vue d’une telle évaluation objective, nous avons soumis les chiffres obtenus (Absorbance des étalons) à un contrôle au moyen de tests permettant de s’assurer de leur justesse et de leur reproductibilité (Annexe 1).

Le test que nous avons réalisé concerne le modèle d’étalonnage.

Les droites d’étalonnage sont-elles justes pour être utilisées ? Pour cela nous avons opéré une analyse de la variance de l’ajustement. (Annexe 1).

Après vérification de sa conformité, la droite d’étalonnage est utilisée pour trouver la concentration d’échantillons inconnus en reportant l’absorbance ($A\%$) mesurée depuis l’axe des y pour lire le résultat en concentration sur l’axe des x . Dans ce cas, on peut se passer éventuellement de la représentation graphique. Si A_e est l’absorbance correspondant à l’échantillon inconnu sur l’étalonnage $A\% = aC + C_0$ (équation de la forme : $y = ax + b$), La concentration correspondante est déduite de :

$$[C]_e = A_e - C_0 / a$$

$[C]_e$ = concentration en mg/l de NO_3^-

$A_e\%$ = absorbance ou densité optique (= D.O)

Les teneurs initiales en nitrates et sulfates sont évaluées grâce à des courbes d’étalonnage de l’absorbance en fonction des concentrations en mg/l d’étalons nitrates et sulfates pour chaque eau (fig.5 et 6). À titre d’exemple, pour la clarté du chapitre nous donnons uniquement ces deux droites. La même démarche est retenue pour le reste des campanes.

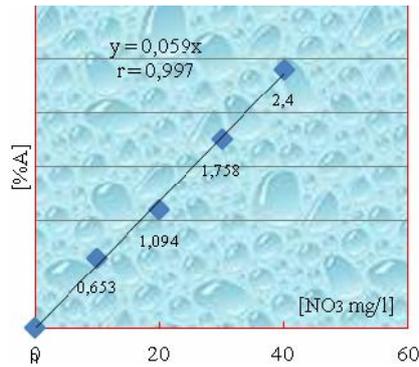


Figure 5- Droite de régression des étalons nitrates

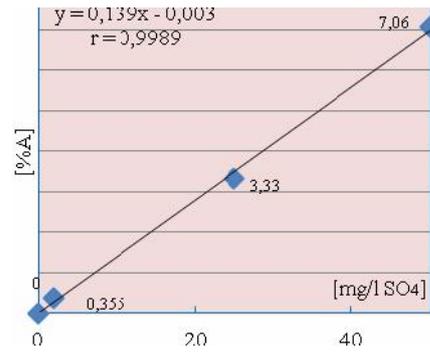


Figure 6- Droite de régression des étalons sulfates

2.3.2- Dosage des cations : Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ et calcul du SARaj.

Le dosage des cations est déterminé directement par spectrométrie de flamme. Les valeurs trouvées nous permettent de calculer le SARaj.

2.4- Méthodes statistiques

Tous les résultats ont subi un traitement statistique : moyenne, écart-type, pourcentage de variation, variance, corrélation, etc. Les logiciels Excel et Statistica 5.0 (Version française) ont été utilisés à cet effet.

Chapitre 3 Résultats et discussion

1- Résultats

Les résultats obtenus par les différentes analyses, au niveau des deux stations, sont donnés dans les tableaux 8, 9, 10 et 11.

D'après ces tableaux, nous observons une variabilité d'une station à l'autre et pour une même station d'une saison à une autre.

1.1- Résultats : "terrain".

Dans le tableau 8 ci-dessous sont consignés les résultats mesurés et repérés "in situ" en fonction du temps.

Tableau 8- Résultats physico-chimiques des paramètres globaux mesurés "in situ"
(LT = légèrement trouble ; L = limpide ; T = trouble)

	Période de prélèvement							
	25/10/10		25/01/11		16/05/11		10/07/11	
	O.R	O.B	O.R	O.B	O.R	O.B	O.R	O.B
pH	8.18	8.50	8.21	8.35	8.40	8.43	7.74	8.64
T°C	21.6	21.6	6.5	6.5	22.3	21.9	33	30
C_E mS/cm	1.81	1.37	2.02	1.13	1.88	0.99	1.108	0.99
Sel g/l	0.90	0.68	1	0.57	0.93	0.49	0.775	0.70
Turbidité	LT	L	L	L	T	L	L	L
Heure	12 :10	13 :00	11 :10	10 :40	10:30	11:40	13:10	11:02

O.R: station Oued Rhumel

O.B : station Oued Boumerzoug

1.1.1- Le pH

Le pH de l'eau est alcalin dans les deux stations durant toute la campagne (fig.7). Il varie entre 7.74 et 8.40 (O.R) et 8.35 et 8.64 (O.B). L'alcalinité est plus prononcée dans les eaux de l'Oued Boumerzoug que dans le Rhumel. On note toutefois une tendance vers une diminution en période estivale au niveau de l'Oued Rhumel.

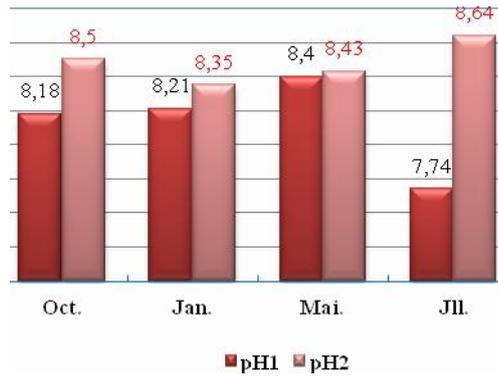


Figure 7- Evolution des pH en fonction du temps (pH₁= O.R et pH₂ = O.B)

1.1.2- La température

La température est un paramètre qui fluctue en fonction des saisons, de l'horaire de mesure ; de la position topographique (abritée/exposée). La station "Oued Rhumel", plus exposée, montre des températures légèrement plus élevées particulièrement en période estivale.

Les températures les plus basses sont observées en hiver (6.5°C) et tendent vers une augmentation en période estivale pour atteindre 33 et 30°C (respectivement O.R et O.B).

1.1.3- La conductivité électrique (C_E)

La lecture des résultats du tableau 8 et la figure 8 montrent :

- ✓ pour l'Oued Rhumel : le maximum de salinité (2.02 mS/cm) est enregistré lors des prélèvements de janvier ;
- ✓ pour l'Oued Boumerzoug, nous observons une minéralisation relativement moins importante. Le maximum de salinité est observé au mois d'octobre (1.37 mS/cm).

Dans les deux oueds, la teneur globale en sels tend à diminuer de la saison hivernale vers la période estivale. Les minimas enregistrés en sels sont : 1.108 et 0.99 mS/cm respectivement pour Oued Rhumel et Oued Boumerzoug.

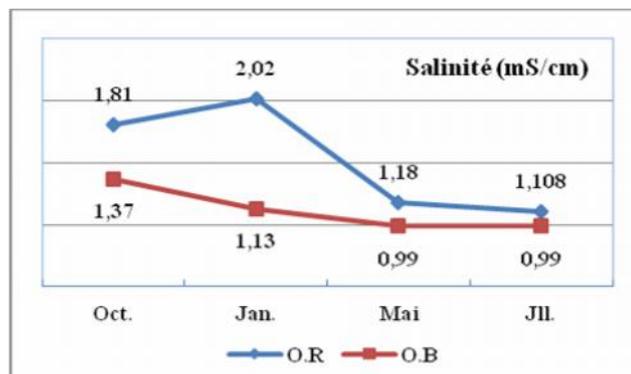


Figure 8- Evolution de la salinité (C_E) en fonction du temps. (O.R = Oued Rhumel ; O.B = Oued Boumerzoug).

1.2- Résultats "Sol"

Les caractéristiques physiques du sol : ont été déterminés *in situ*

Tableau 9- Caractéristique du sol mesure "*in situ*"

Caractéristiques	Station Oued Rhumel	Station Boumerzoug
Texture	Limono-argileuse	Limono-sablo-argileuse
Structure	Grumeleuse	Grumeleuse
Couleur	2.5Y5/2(grayish brown)	10Y3/2 (very dark grayish brown)
Calcaire	Calcarifère	Calcarifère

1.3- Résultats : laboratoire : qualité chimique des eaux

Les résultats sont donnés dans le tableau 10.

Tableau 10- Résultats chimiques exprimés en meq/l sauf les nitrates (mg/l).

	Période de prélèvement							
	25/10/10		25/01/11		16/05/11		10/07/11	
	St1	St2	St1	St2	St1	St2	St1	St2
Na⁺	14.87	9.28	6.95	3.40	6.66	2.60	5.65	4.08
Ca⁺⁺	13.56	10.04	14.83	8.02	8.02	6.8	8.42	9.02
Mg⁺⁺	13.50	10.01	1.85	1.96	7.99	6.77	9.80	10.04
NO₃⁻	21.29	21.52	37.78	15.01	21.08	19.97	26.97	26.13
CO₃⁻	1.6	1.2	0	1.2	0	0	0	0
HCO₃⁻	1.6	1	3	1	1.31	1.28	1.56	2.16
Cl⁻	8	6	8	4	1.7	1.30	7.50	4.31
SO₄⁻	3.56	3.68	3.77	3.01	10.09	4.43	5.35	3.90

Sur le plan qualitatif, la teneur en électrolytes montre une grande variabilité en fonction du temps.

Au niveau de l'Oued Rhumel, les ions Na⁺ et Mg⁺⁺ sont dominants lors du prélèvement d'octobre, avec 14.87 et 13.5 meq/l respectivement. Alors que la teneur la plus élevée en calcium (Ca⁺⁺) est observée en janvier (14.83 meq/l).

Au niveau de l'Oued Boumerzoug, les ions Ca⁺⁺, avec une teneur de 10.04 meq/l (octobre) et Mg⁺⁺ avec une teneur de 10.01/10.04 meq/l (octobre-juillet), sont les cations dominants sur le sodium (9.28 / 4.08 meq/l), durant les campagnes d'octobre-juillet.

Pour ce qui des anions ; les chlorures sont dominants dans les deux oueds, avec des teneurs de 8 ; 8 et 7.50 meq/l (Oued Rhumel) et 6 ; 4 et 4.31 meq/l (Oued Boumerzoug), excepté lors des prélèvements de mai où ils sont surclassés par les sulfates avec des teneurs de 10.04 pour 1.70 mS/cm et 4.43 meq/l pour 1.30 mS/cm respectivement pour le Rhumel et Boumerzoug.

Les carbonates sont absents lors des prélèvements de mai et juillet. La concentration la plus élevée est de 1.6 meq/l enregistrée en octobre dans l'Oued Rhumel.

Pour ce qui est des bicarbonates, les concentrations les plus élevées (2.16 meq/l) sont enregistrées en juillet au niveau de l'Oued Boumerzoug et 1.6 meq/l au niveau de l'Oued Rhumel au mois d'octobre.

Enfin, les nitrates représentent les teneurs les plus faibles, avec un maximum de 0.61 meq/l (soit 37.78 mg/l) enregistré au mois de janvier dans la station 1.

1.3- Résultats SARaj

Le calcul du SAR_{ajusté} a donné les valeurs consignées dans le tableau 11. Les deux oueds montrent une fluctuation identique en fonction du temps (fig.9). Les valeurs maximales sont observées au mois de janvier (4,17) et juillet (4,13) pour l'Oued Rhumel et 4,46 et 3,04 pour les mêmes mois pour l'Oued Boumerzoug. Les minimas sont observés en octobre et mai pour les deux oueds.

Tableau 11.
Evolution du SARaj en fonction du temps dans les deux oueds

Dates de prélèvement	SARaj.	
	Oued Rhumel	Oued Boumerzoug
25/10/10	0.45	0.38
25/01/11	4.17	4.46
16/05/11	1.40	1.19
10/7/11	4.13	3.04

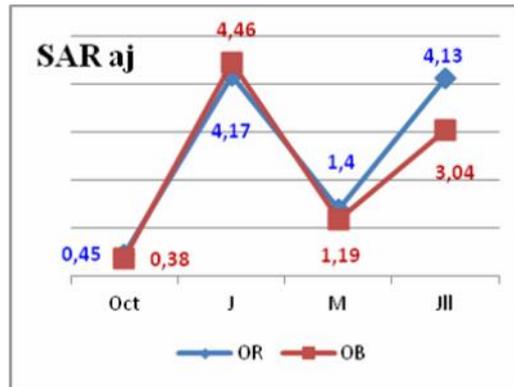


Figure 9- Les fluctuations du SARaj en fonction du temps

NB : Pour ce qui est des paramètres organoleptiques, nous avons fait uniquement mention de la turbidité que nous avons estimée de *visu*. Les autres paramètres tels que l'odeur, la saveur, étant des paramètres subjectifs, n'ont pas été mentionnés dans ce contexte.

Tableau 12- Récapitulatif
 Résultats des analyses physico-chimiques des eaux d'irrigation au niveau des deux stations
 (Oueds : Rhumel et Boumerzoug)

Stations d'irrigation	Localisation	Date	T°C	Ce mS/cm	meq/l										mg/l		
					Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Σ -C	Cl ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Σ-A	NO ₃ ⁻	pH	SAR	TDS g/l
Station 1	Oued Rhumel	25/10/10	21.26	1.81	14.87	13.56	13.50	41.93	8	1.6	1.6	3.56	14.76	21.29	8.18	0.45	0.90
		25/01/11	6.5	2.02	6.95	14.83	1.85	23.63	8	0	3	3.77	14.77	37.78	8.21	4.17	1
		16/5/11	22.3	1.88	6.66	8.02	7.99	22.67	1.7	0	1.31	10.09	13.10	21.08	8.40	1.40	0.93
		10/7/11	33	1.10	5.65	9.02	9.80	24.47	7.50	0	1.56	5.35	14.41	26.97	7.74	4.13	1.10
Station 2	Oued Boumerzoug	25/10/10	21.26	1.37	9.28	10.04	10.01	29.33	6	1.2	1	3.68	11.88	21.52	8.50	0.38	0.68
		25/01/11	6.5	1.13	3.4	8.02	1.96	13.38	4	1.2	1	3.01	9.21	15.01	8.35	4.46	0.57
		16/5/11	21.9	0.99	2.60	8.02	6.77	17.39	1.30	0	1.28	4.43	7.01	19.97	8.43	1.9	0.49
		10/7/11	30	0.99	4.08	9.02	10.04	23.14	4.31	0	2.16	4.90	11.37	26.13	8.64	3.04	0.70

Σ - C = Somme des cations

Σ - A = Somme des anions

SAR = Sodium adsorbable ratio

TDS = Total des sels dissous

2-Discussion

2.1- Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation

L'examen des valeurs données dans le tableau 8 et leur comparaison avec les directives de la F.A.O relatives à l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation (tableau 5) permet de tirer les conclusions suivantes :

2.1.1-Effet de la salinité.

Les résultats du tableau 8, illustrés par les histogrammes de la figure 10 montrent, que durant les quatre campagnes de prélèvement, la teneur totale en sels (exprimée par la conductivité électrique) des eaux brutes des deux oueds se trouve comprise entre les valeurs 0.75 et 2 mS/cm, dépassant la valeur 750 μ S/cm, limite au dessus de laquelle les eaux sont classées dans la catégorie "Problèmes croissants=P-C".

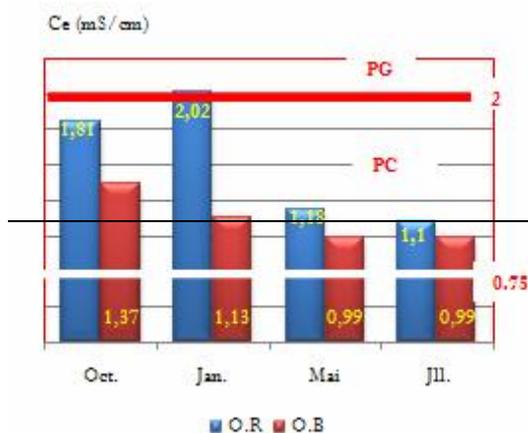


Figure 10- Evolution de la salinité (C_E) en fonction du temps.
(PC = Problèmes croissants ; PG = Problèmes graves).
(O.R = Oued Rhumel ; O.B = Oued Boumerzoug).

Pour l'Oued Rhumel, nous observons que la conductivité électrique varie en fonction des saisons. La teneur la plus élevée en sels est enregistrée lors du prélèvement de janvier. Logiquement, et tenant compte de la pluviométrie cumulée, enregistrée en cette période soit 213.3 mm représentant environ 52 % de la pluviométrie totale (ONM, 2010) et les faibles températures du moment, on devrait s'attendre à une dilution des eaux de l'oued. Or c'est le contraire qui est observé : un enrichissement des eaux en électrolytes, principalement en ions calciques (tableau 8).

Ceci laisse penser que cette minéralisation ne peut donc être due qu'à un apport extérieur provoqué par le charriage et le lessivage des terres agricoles avoisinantes, fortement calcaires.

Charriage favorisé par une topographie en pente et l'absence de couverture végétale en cette période hivernale. C'est ce qu'on appelle un transfert pédologique latéral.

En effet, il est connu que les eaux "pures" des pluies sont corrosives et finissent par enlever au sol superficiel les minéraux et les sels facilement solubles et que la géologie du bassin versant fait partie des nombreux facteurs qui ont une influence sur la conductivité de l'eau.

À côté de ça, les pluies hivernales ont provoqué une augmentation brutale du débit de l'oued, remettant en suspension les boues accumulées dans le lit modifiant ainsi l'équilibre d'adsorption, lentement établi lors de la sédimentation. La remise en suspension des particules met en solution une grande quantité d'électrolytes qui viennent s'ajouter aux apports latéraux. La situation observée au mois de janvier a fait que le processus de dilution se trouve masqué par un processus important de solubilisation des sels.

Après la période hivernale, les pluies de printemps étant très faibles, celles de juin et juillet, pratiquement absentes, on observe aux mois de mai-juillet une diminution de la salinité globale, ce qui est logique si on considère qu'en cette période tous les processus : climatiques, physico-chimiques, favorisent l'insolubilisation des sels : rupture des apports due à une réduction des courants en amont ; absence de lessivage due à la rareté des pluies, une forte évaporation provoquant une diminution du degré d'hydratation des cations se traduisant par une floculation et une sédimentation des particules engendrant un retrait des électrolytes de la solution.

Ces observations se trouvent mieux corroborées par l'analyse des corrélations. La lecture de la matrice de corrélation (en Annexe 3) montre que sur les 66 corrélations possibles 38 sont très significatives à hautement significatives (pour $p \leq 0.05$).

Les calculs des coefficients de corrélations pour les différents cations démontrent que c'est surtout l'ion calcium qui coïncide assez bien avec l'évolution de la C_E avec un ($r = 0.56$ hautement significatif). La nature calcaire de la parcelle y contribue fortement à la salinisation des eaux de l'Oued Rhumel par le biais du ruissellement enrichi en différents sels de calcium :

$$\text{Ca/CO}_3 \quad r = 0.44^{++}$$

$$\text{Ca/HCO}_3 \quad r = 0.76^{+++} ;$$

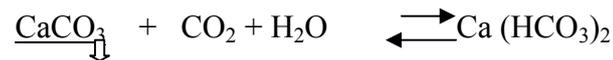
$$\text{Ca/Cl}_2 \quad r = 0.68^{+++} ;$$

$$\text{Ca/NO}_3 \quad r = 0.55^{++} .$$

Par contre pour le Mg^{++} et surtout le Na^+ les coefficients de corrélations sont beaucoup moins nets (tableau Annexe). Pour le Mg^{++} le coefficient est en effet significatif dans la mesure où ce paramètre évolue en sens inverse du cation dominant Ca^{++} (C_E/Mg^{++} : $r = -0.33^{++}$).

En ce qui concerne les anions on constate que ce sont surtout les bicarbonates qui sont les éléments les plus importants ($r = 0.44^{++}$).

La richesse en bicarbonates HCO_3^- qui se trouvent fortement liés au calcium ($r = 0.76^{+++}$) ne peut s'expliquer que par une dissolution du calcaire des parcelles avoisinantes :



Les autres anions sont généralement très peu représentés.

Le même raisonnement peut se tenir pour l'Oued Boumerzoug, la teneur en sels présente la même tendance, une diminution de la salinité de la période hivernale vers la période estivale.

La lecture de la matrice de corrélation (Annexe 3) montre que sur les 66 corrélations possibles 18 sont hautement significatives. La teneur globale en sels est liée à la présence de l'ion sodium avec un coefficient de corrélation $r = 0.91$ hautement significatif et à un moindre degré à l'ion calcium ($r = 0.78^{+++}$).

Pour ce que est des anions, la relation est hautement significative entre la salinité globale et les carbonates et chlorures, avec des valeurs $r = 0.84$ et 0.78 respectivement. Eux-mêmes fortement liés au sodium

$$Na^+/Cl^- \quad r = 0.83^{+++} \text{ et ;}$$

$$Na^+/CO_3^- \quad r = 0.57^{+++}.$$

La concentration des anions : bicarbonates, nitrates et sulfates est relativement faible et la corrélation avec la conductivité électrique est insignifiante.

A la différence de l'Oued Rhumel, le point de prélèvement au niveau de l'Oued Boumerzoug présente une topographie plane, un sol supportant en permanence une végétation type maraîchère. Ceci fait que les apports par le biais du ruissellement sont amoindris. Les fluctuations de la salinité sont plutôt sous l'influence des eaux usées domestiques de la ville du Khroub et des effluents industriels du Complexe PMO-PMA qui déverse ses eaux salines dans l'Oued Hamimim raccordé à l'Oued. Boumerzoug.

En conclusion, on remarque que la salinité se présente différemment dans chaque station. Ce qui dénote l'influence de l'environnement immédiat sur la station considérée.

L'Oued Rhumel se caractérise par un profil salin de type calcique ($r = 0.56^{+++}$) à dominance d'anions bicarbonates ($r = 0,44^{++}$) et que les fluctuations de la salinité sont essentiellement sous l'influence du bilan hydrique.

Pour l'Oued Boumerzoug, le profil salin est de type sodique à dominance d'ions carbonates et chlorures ($r = 0.83^{+++}$ et 0.78^{+++} respectivement). Et que les fluctuations de la salinité sont sous l'influence des apports des eaux usées domestiques de la ville du Khroub, des effluents du complexe industriel PMA-PMO et de l'activité agricole de la ferme.

Théoriquement, et selon les directives de la FAO, la teneur en sels durant les quatre campagnes ne serait pas sans danger sur les cultures et pourrait compromettre les rendements dans les deux exploitations agricoles si on se trouvait dans l'obligation d'irriguer.

En effet, avec le climat capricieux que connaît la région on peut s'attendre à des périodes de sécheresse même en période hivernale.

Si l'irrigation devient une nécessité, il est impératif que les exploitants doivent s'assurer au préalable, de la qualité physique de leur sol et du bon drainage de ce dernier. Un drainage médiocre favoriserait l'accumulation des sels dans la zone racinaire et restreindrait la disponibilité de l'eau dans le sol pour les cultures. Pour extraire de l'eau la plante doit surmonter non seulement le potentiel hydrique du sol mais également le potentiel osmotique des sels. Le préjudice serait encore plus grave avec l'introduction des cultures sensibles aux sels, plus particulièrement en période critique : au moment de la germination.

Par conséquent l'utilisation de ces eaux devrait être effectuée moyennant certaines restrictions. Les risques de salinisation des sols qu'entraînerait l'irrigation par de telles eaux présentent un critère préjudiciable à sa qualité et peut être considérée comme nuisible pour les cultures sensibles, particulièrement sous le climat, semi-aride, à forte évaporation qui caractérise la région.

2.2- Evaluation du problème de perméabilité

Un problème de perméabilité lié à la qualité de l'eau se pose quand la vitesse de pénétration ou de circulation de l'eau dans et à travers le sol diminuent sous l'effet de certains sels ou de

L'absence de sels dans l'eau, au point que la culture n'est plus suffisamment alimentée en eau et que le rendement diminue.

2.2.1- Effet de la salinité sur la perméabilité

Les valeurs de la salinité globale trouvées dans les deux oueds sont, durant toute la campagne, comprises entre 0.99 et 2.02 mS/cm. elles sont supérieures à celle qui correspond dans les directives à la catégorie "Pas de problèmes" : donc aucun problème de perméabilité liée à la salure globale n'est à envisager.

Les risques d'imperméabilisation des sols qu'entraînerait l'irrigation par de telles eaux seraient quasiment faibles à nuls, si les sols sont sablonneux et bien drainants.

2.2.2- Effet du sodium (SARaj) sur la perméabilité

Les valeurs calculées du SARaj durant les quatre campagnes, dans les deux oueds, sont inférieures à celles qui correspondent dans les directives à la catégorie "Pas de problèmes", et ce, quelle que soit la nature texturale et le type d'argile des deux sols (fig. 11).

La salinité et la teneur en ions Ca^{++} , Mg^{++} et SO_4^{--} sont suffisamment élevées pour compenser ou atténuer dans une certaine mesure le problème que peut poser un SARaj élevé.

Mais attention, si le problème de perméabilité ne se pose pas, compte tenu des valeurs du SAR, un risque de salinisation des sols n'est pas à écarter si les sols sont de texture argileuse. Le risque serait encore plus grave si les argiles sont de type gonflant (Montmorillonite).

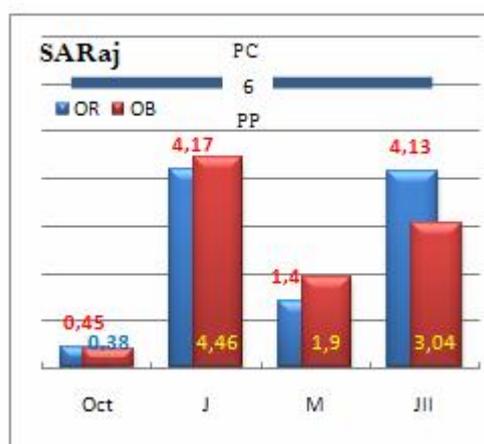


Figure 11-Effet du sodium (SARaj) sur la perméabilité

2.3- Evaluation du problème de toxicité

La toxicité pose un problème différent de ceux de la salinité et de la perméabilité car elle se manifeste dans le végétal lui-même comme résultat de l'absorption de certaines substances contenues dans l'eau d'irrigation.

Il se pose un problème de toxicité quand certains constituants de l'eau sont absorbés par les cultures et s'accumulent en quantités susceptibles d'entraîner une diminution des rendements.

Les directives de la FAO traitent de la toxicité des ions B ; Na, Cl. La toxicité de ces ions est liée à la méthode d'irrigation utilisée et de la valeur du SARaj s'agissant du sodium. Un SARaj compris entre 3 et 9 serait à l'origine de "problèmes croissants", supérieur à 9 on est dans la catégorie de "Problèmes graves".

2.3.1- Les risques de toxicité spécifique aux ions sodium

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément a pour origine l'altération de la roche et du sol, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation.

Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol, ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau (Couture, 2006).

Pour l'évaluation du risque de toxicité les directives utilisent les valeurs du SARaj. D'après les résultats trouvés on observe que les valeurs du SAR en période hivernale et estivale (4.17 et 4.46 respectivement pour l'oued Rhumel et l'Oued Boumerzoug) se situent dans la catégorie des "problèmes croissants".

L'emploi d'une eau d'irrigation riche en ions sodium fait que les cultures absorbent le sodium en même temps que l'eau celui-ci se concentre dans les feuilles tandis que l'eau s'échappe par transpiration. Il peut en résulter des dégâts (toxicité) si l'accumulation du sodium atteint une concentration dépassant la tolérance de la culture. Les symptômes caractéristiques en sont la brûlure et le roussissement du feuillage ainsi qu'une nécrose des tissus situés sur le bord des feuilles.

Si le problème ne se pose pas en période hivernale, considérant qu'en cette période (sauf exception) la pluviosité enregistrée arrive à satisfaire aux besoins des cultures et qu'en cette période le processus d'évapotranspiration reste faible (donc pas de recours à l'irrigation)

En période estivale, l'irrigation avec une telle eau peut être pratiquée étant donné, comme vu plus haut que la salinité et la teneur en ions Ca^{++} et Mg^{++} sont suffisamment élevées pour compenser ou atténuer l'effet nocif des ions Na^+ . Mais l'irrigation par aspersion peut poser des problèmes de toxicité particuliers qui tiennent à l'absorption du sodium par les feuilles.

Apparemment, si le problème ne se pose pas au niveau de la parcelle 1, où l'on pratique une culture céréalière, le problème peut se poser au niveau de la parcelle 2, étant donné que cette exploitation pratique une culture maraîchère à longueur d'année. Dès fois les aléas du climat font que les pluies deviennent rares (en hiver) et l'installation de la sécheresse peut perdurer des mois obligeant les exploitants à recourir à l'irrigation. Dans ce cas la pratique d'une irrigation de surface est recommandée.

2.3.2- Toxicité de l'ion chlore

D'après les directives, il y a problème de toxicité par le chlore si la concentration est comprise entre 4 et 10 meq/l au-delà de 10 meq/l de Cl^- les problèmes deviennent graves.

Au regard des résultats trouvés (fig. 12) les eaux des deux oueds présenteraient des risques de toxicité croissants en fonction des saisons, par conséquent en fonction des cycles de développement des cultures sur pied.

Au niveau de la parcelle 1 à vocation céréalière, aucun problème de toxicité ne devrait subvenir.

En octobre, la parcelle est en friche malgré une teneur en chlore élevée (SAR_{aj} : 0.47 et Cl^- : 8) ;

En janvier : absence de végétation, sol dénudé, malgré un SAR et une teneur en Cl classés dans la catégorie "Problèmes croissants".

En juillet : la moisson est déjà faite, pas de nécessité d'irriguer.

En mai, les valeurs trouvées (SAR_{aj} , 1.4 et $\text{Cl}^- = 1.7$) classent l'eau d'irrigation dans la catégorie "Pas de problèmes".

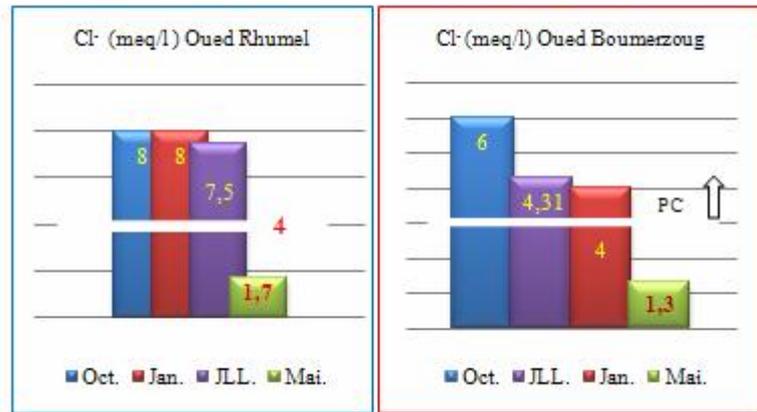


Figure 12-Evolution de l'ion chlore en fonction des saisons

Au niveau de la parcelle 2 à vocation maraîchère, le risque encouru est pressenti durant le mois de juillet, où les valeurs trouvées sont supérieures aux valeurs indiquées dans les directives pour la catégorie ‘Problèmes croissants’. Il sera difficile d’obtenir une production satisfaisante avec des cultures sensibles.

Dans les conditions extrêmes de faible humidité, l’irrigation par aspersion peut entraîner une brûlure du feuillage et une défoliation sur des cultures normalement considérées comme tolérantes au chlore.

Le problème ne se pose pas durant la période hivernale, l’irrigation n’étant pas nécessaire: les pluies subviendront aux besoins des cultures.

Ces teneurs en chlorures et sulfates pourraient s’expliquer par la géologie des terrains de la région ou par une contamination directe de l’eau par des rejets domestiques surtout riches en détergents (Usine de détergents Chelghoum-Laid) ou par l’utilisation des pesticides dans l’agriculture.

2.4- Effets divers sur les cultures sensibles

2.4.1- Les nitrates

L’azote est un nutriment qui stimule la croissance des végétaux. En quantité excessive, il perturbe la production ou retarde la maturation des cultures.

L’azote contenu dans l’eau d’irrigation joue le même rôle que celui des engrais et des doses excessives posent des problèmes tout comme les excédents d’engrais.

La production de cultures sensibles à l’azote peut être influencée par des concentrations d’azote supérieures à 5 mg/l (5 kg de N par 1000 m³ d’eau).

Pour de nombreuses cultures graminéennes et céréalières, une croissance végétative excessive peut entraîner la verse.

Les valeurs trouvées (tableau 10 et fig.13) apparaissent comme non négligeables dans les eaux des deux oueds.

Au niveau de l'Oued Rhumel, la teneur en nitrates (37.78 mg/l) dosée au mois de janvier est supérieure à la valeur indiquée dans les directives pour la catégorie "Problèmes graves". Cet apport massif de nitrates pourrait avoir pour origine un charriage par les eaux de pluie des reliquats d'engrais azotés (NH_4NO_3) non consommés par la culture précédente (blé), auxquels s'ajoutent les nitrates issus de la minéralisation des matières organiques après moisson.

Au niveau de l'Oued Boumerzoug et à la même période, la tendance est inversée (fig.13), la consommation de nitrates par les cultures et une dilution des eaux usées de la ville du Khroub seraient à l'origine de cette diminution des nitrates dans les eaux de cet oued.

Il faut dire que les fluctuations des nitrates subies dans des périodes bien définies de l'année sont sous l'influence des facteurs du milieu : bilan hydrique, minéralisation, eutrophisation.

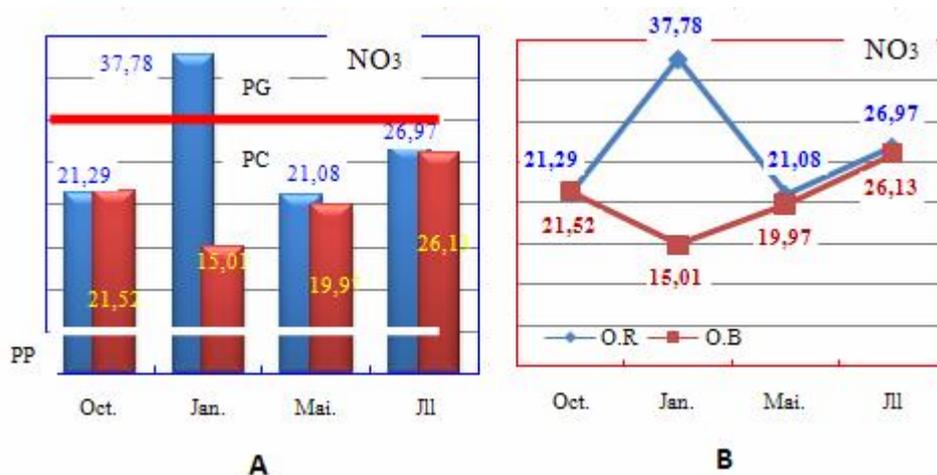


Figure 13- Effet des nitrates sur les cultures sensibles.

2.4.2- Le pH

Pour l'Oued Rhumel, les pH de ses eaux sont situés dans la gamme normale (6,5 à 8,4) avec une légère tendance à l'acidification observée au mois de juillet, probablement due à une nitrification (minéralisation des matières organiques accrue en cette période estivale mais qui se trouve toutefois tamponnée par la présence d'un milieu fortement calcique.

Pour l'Oued Boumerzoug, le pH se trouve hors de la gamme normale excepté au mois de janvier. Il faut s'attendre à des problèmes de nutrition par séquestration de certains minéraux nutritifs tels que le Ca^{++} et le Fe^{++} qui seraient à l'origine de nécrose et de diminution des rendements.

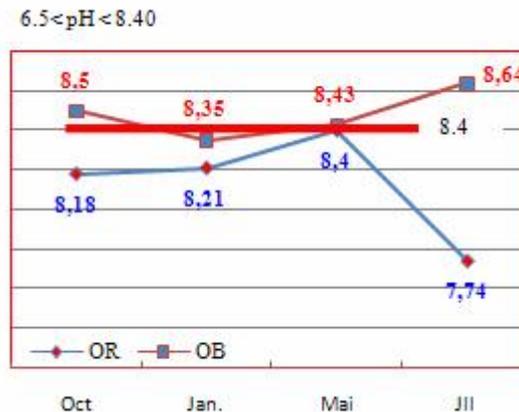


Figure 14- Evolution des pH en fonction du temps (pH₁ = O.R et pH₂ = O.B)

2.4.3- Les bicarbonates

D'après les directives, il y a problème avec les bicarbonates quand leur teneur dépasse 1.5 meq/l.

Pour l'Oued Rhumel, les taux de bicarbonates trouvés classent les eaux dans la catégorie "problème croissant" excepté le prélèvement de mai (fig.15). Mais dans cette parcelle à vocation céréalière la pratique de l'irrigation est absente en l'absence de végétation. Au mois de mai, le problème ne se pose pas étant donné que taux de bicarbonate est inférieur à la valeur indiquée par les directives pour la catégorie "Pas de problème".

Par contre, la parcelle à vocation maraîchère, on doit s'attendre à un risque croissant le mois de juillet. Le taux de bicarbonate est de 2.16 meq/l correspondant à un "problème croissant" qui se manifeste par un dépôt blancs sur les fruits ou sur les feuilles, et qui ne sont pas entraînés par les arrosages suivants ce dépôt nuit à la qualité commerciale et au goût des fruits. L'irrigation par aspersion est à déconseiller.

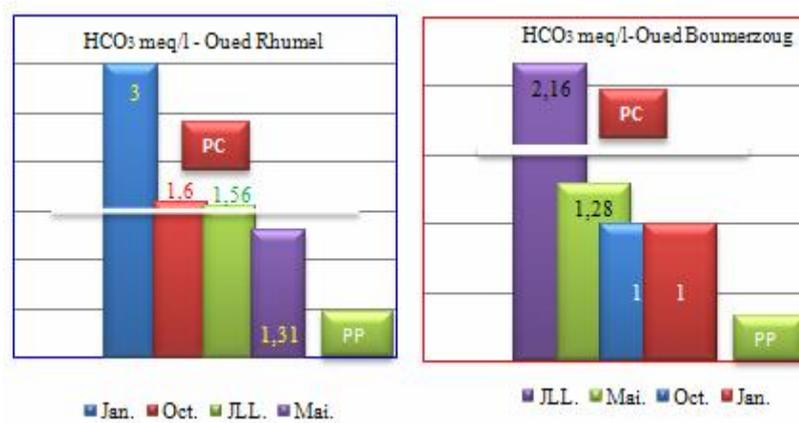


Figure 15- Evolution Du taux de bicarbonate en fonction du temps

3- Aptitudes des eaux à l'irrigation

Dans la présente étude, on a fait l'estimation des quelques paramètres de salinité en rapport avec l'usage agricole pour quatre campagnes saisonnières.

L'analyse et l'interprétation des résultats obtenus, selon Richards (1954), nous permettent de prévoir et évaluer les risques probables sur la nature des sols et de la végétation quant à l'utilisation de ces eaux usées.

D'après Richards, le risque de salinisation des sols peut être apprécié par la conductivité électrique et celui de l'alcalinisation des sols par le SAR.

En tenant compte de ces deux paramètres : $C_{E25^{\circ}C}$ et du SAR (voir annexe 5) Richards a proposé un diagramme de classification comportant 16 classes correspondant au couple risques salins-risques alcalins.

Cette classification a été très utilisée et l'est encore de nos jours. Elle est très utile et fiable pour caractériser une eau d'irrigation. Cependant, elle ne peut pas servir pour estimer un risque de salinisation ou de sodisation.

En tenant compte de cette classification et après avoir reporté tous les points d'eau des différentes campagnes sur le diagramme de Richards (fig. 16), selon la conductivité électrique et la valeur de SAR, on a pu dégager la présence des deux classes suivantes :

C3.S1 : eau de qualité moyenne à médiocre. A utiliser avec précaution. Nécessité de drainage avec doses de lessivage et/ou apports de gypse.

C4.S1 : eau de qualité médiocre à mauvaise. Exclure les plantes sensibles et les sols lourds. Utilisables avec beaucoup de précaution dans les sols légers et bien drainés avec doses de lessivage et/ou apports de gypse.

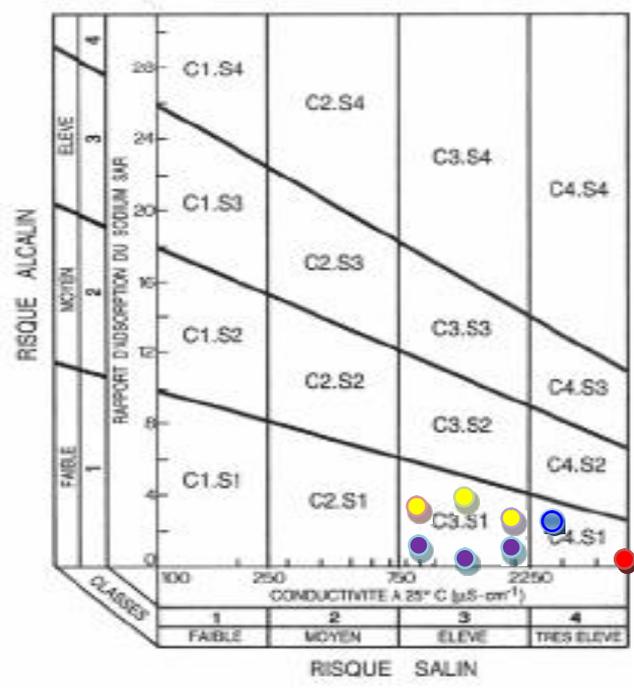


Figure 16-Diagramme de classification des eaux d'irrigation (Richards, 1954)

- : Station Oued Rhumel (Période Octobre-mai-juillet)
- : Station Oued Rhumel (Période janvier)
- : Station Oued Boumerzoug (Période Octobre-mai-juillet)
- : Station Oued Boumerzoug (Période janvier)

Conclusion

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées des oueds Rhumel et Boumerzoug, utilisées à des fins d'irrigation dans deux exploitations agricoles, comparés aux valeurs guides (FAO) ont conduit aux conclusions suivantes :

Pour ce qui est de la teneur en sels, les résultats obtenus durant les quatre campagnes dépassent la valeur des $750\mu\text{S}/\text{cm}$. Selon les Directives de la FAO, les eaux des deux oueds se classent dans la catégorie : '*Problèmes croissants*'. Le résultat de nombreuses cultures serait éventuellement compromis par l'utilisation prolongée de ces eaux.

Les eaux de l'Oued Rhumel présentent un profil salin de type calcique à dominance d'anions bicarbonates ayant pour origine les apports latéraux des sols avoisinants riches en calcaire. Une analyse statistique (corrélations) a démontré que les fluctuations de la salinité sont sous la dépendance des saisons.

Alors que les eaux de l'Oued Boumerzoug, présente un chimisme sodique à dominance d'ions carbonates et chlorures. Les fluctuations de la salinité sont sous l'influence des apports des eaux usées domestiques de la ville du Khroub, des effluents du complexe industriel PMA-PMO et de l'activité agricole de la ferme.

Pour ce qui est de l'effet de la salinité sur la perméabilité. Les valeurs de la salinité globale trouvées dans les deux oueds sont comprises entre 0.99 et 2.02 mS/cm. Elles sont supérieures à celles qui correspondent dans les directives à la catégorie '*Pas de problèmes*'. Aucun problème de perméabilité liée à la salure globale n'est donc à envisager.

Pour ce qui est de l'effet du sodium (SARaj) sur la perméabilité Les valeurs calculées du SARaj, dans les deux oueds, sont inférieures à celles qui correspondent dans les Directives à la catégorie '*Pas de problèmes*', et ce, quelle que soit la nature texturale et le type d'argile des deux sols.

Pour ce qui est des risques de toxicité spécifique aux ions sodium. Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Pour évaluer ses effets, les directives utilisent les valeurs du SARaj. Pour les deux oueds les résultats trouvés en saison hivernale

sont de 4.17 et 4.13 respectivement pour l'Oued Rhumel et l'Oued Boumerzoug. Elles sont supérieures à celles qui correspondent dans les directives à la catégorie '*Problèmes croissants*'. La plupart des cultures arboricoles et autres plantes pérennes de type ligneux sont particulièrement sensibles. Ces spéculations ne font pas partie du cahier de charge de deux exploitations. En plus, étant en période hivernale le besoin d'irriguer n'a pas raison d'être.

Mais il arrive, qu'avec le climat capricieux que connaît la région on peut s'attendre à des périodes de sécheresse qui s'installe et perdure même en hiver.

Si l'irrigation devient une nécessité, il est impératif que les exploitants doivent s'assurer au préalable, de la qualité physique de leur sol et du bon drainage de ce dernier. Le préjudice serait encore plus grave avec l'introduction des cultures sensibles aux sels, plus particulièrement en période critique : au moment de la germination.

En période estivale, les valeurs calculées du SAR sont de 4.13 et 3.04 respectivement pour le Rhumel et l'Oued Boumerzoug. Ces valeurs s'inscrivent également dans la catégorie '*Problèmes croissants*'. Mais tenant compte de la texture limono-argileuse des deux sols (sols filtrants) favorisant le lessivage des ions sodium et de la teneur en ions Ca^{++} et Mg^{++} , suffisamment élevée pour compenser ou atténuer l'effet nocif des ions Na^+ ; il ne devrait donc pas y avoir de problème de toxicité par le sodium dû à l'utilisation des eaux des deux oueds. Toutefois, l'irrigation par aspersion peut poser des problèmes de toxicité particuliers qui tiennent à l'absorption du sodium par les feuilles.

Pour ce qui est de la toxicité de l'ion chlore

Logiquement aucun problème de toxicité par le chlore ne se poserait au niveau des deux parcelles même si les valeurs trouvées se classaient dans la catégorie : '*Problèmes croissants*' ou '*Problèmes graves*'. En effet, l'anion Cl^- , très mobile, la texture limono argileuse des parcelles, combiné à un lessivage par les eaux de pluies ou les eaux d'irrigation font que ce dernier ne se concentre pas dans le sol. A côté de ces caractéristiques et à la différence des cultures d'arbres et autres plantes ligneuses pérennes la plupart des cultures annuelles ne sont pas sensibles au chlore.

Pour ce qui est des nitrates

Les teneurs trouvées dans les deux eaux sont toutes supérieures à la valeur indiquée dans les Directives pour la catégorie '*Problème croissant*'. Voire dans la catégorie '*Problèmes*

graves'' au niveau de l'Oued Rhumel, avec une teneur en nitrates de 37.78 mg/l dosée au mois de janvier.

Ces teneurs élevées ne peuvent provenir que des reliquats d'azote non assimilé par les cultures ou suite à la minéralisation des matières organiques.

L'azote contenu dans l'eau d'irrigation joue le même rôle que celui des engrais et des doses excessives posent des problèmes, tout comme les excédents d'engrais. La production de cultures sensibles à l'azote peut être influencée par des concentrations d'azote supérieures à 5 mg/l. Pour de nombreuses cultures graminéennes et céréalières, une croissance végétative excessive peut entraîner la verse.

Pour ce qui est du pH des eaux d'irrigation

Pour l'Oued Rhumel, le pH de ses eaux est situé dans la gamme normale (6,5 à 8,4) avec une légère tendance à l'acidification observée au mois de juillet.

Pour l'Oued Boumerzoug, le pH se trouve hors de la gamme normale excepté au mois de janvier. Il faut s'attendre à des problèmes de nutrition par séquestration de certains minéraux nutritifs tels que le Ca^{++} et le Fe^{++} qui seraient à l'origine de nécrose et de diminution des rendements.

Pour ce qui est des bicarbonates

Pour l'Oued Rhumel, les taux de bicarbonates trouvés classent les eaux dans la catégorie '*Problème croissant*' excepté le prélèvement de mai. Mais dans cette parcelle à vocation céréalière la pratique de l'irrigation est absente en l'absence de végétation. Au mois de mai, le problème ne se pose pas étant donné que le taux de bicarbonate est inférieur à la valeur indiquée par les Directives pour la catégorie '*Pas de problème*'.

Par contre, la parcelle à vocation maraîchère, on doit s'attendre à un risque croissant le mois de juillet. Le taux de bicarbonate est de 2.16 meq/l correspondant à un '*Problème croissant*' qui se manifeste par un dépôt blancs sur les fruits ou sur les feuilles, et qui ne sont pas entraînés par les arrosages suivants. Ce dépôt nuit à la qualité commerciale et au goût des fruits. L'irrigation par aspersion est à déconseiller.

Enfin, et contrairement aux idées reçues voire aux textes de lois interdisant l'usage des eaux usées à des fins d'irrigation (JORA n°30, 1983), il s'avère qu'actuellement l'emploi des eaux usées peut être un appoint appréciable particulièrement dans les régions où la qualité de l'eau fait défaut. En effet, si l'irrigation est sans nul doute un atout essentiel, elle reste un facteur parmi tant d'autres. Et une eau de très bonne qualité est loin d'être la panacée et peut être mal

valorisée si l'on ne tient pas compte de l'ensemble des facteurs : sol, climat, culture, drainage, etc.

Références bibliographiques

AFNOR, 1994. Agence Française de Normalisation.

Recueil de **normes** françaises 1994, Qualité de l'eau. Paris: **AFNOR**, 1994 Norme NFT 90-012

APHA, AWWA, WEF 1998. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation;

Standard methods for the examination of water and wastewater. 20^e édition.

Ayers RS et Westcot DW. 1976.

La qualité de l'eau en agriculture.

Bull. FAO N° 29 Rome 81p.

Baghdadi H. 1994.

L'irrigation agricole dans la wilaya de Constantine. Situation actuelle et perspective de développement

Colloque Journées sur l'eau. 3-4 mai 1994. Constantine.

Benblidia, 2011

L'efficacité d'utilisation de l'eau et approche économique. Etude nationale. Algérie. Version finale.

Plan bleu. Centre d'activités Régionales. PNUE/PAM

Bouchtab K. (1984)

Contribution à l'étude de la pollution organique par les azotes et de la microbiologie de l'Oued Kebir-Rhumel.

Mém. D.E.S Ecologie. Univ. Constantine. 96p.

Boumelih M. 2006.

Des eaux usées pour l'irrigation à Chelghoum Laid

<https://www.djazairiss.com/fr/elwatan/34852>

Conac F. 1978.

Irrigation et développement agricole. L'exemple des pays méditerranéens et danubiens

https://web.supagro.inra.fr/pmb/opac_css/index.php?lvl...id

Couture I. 2006. (a)

Analyse d'eau pour fin d'irrigation MAPAQ

Monterégie-Est AGRI-VISION 2003-2004. 8p

Couture I. 2006. (b)

Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation

Colloque sur l'irrigation l'eau, source de qualité et de rendement 10 février 2006, Hôtel Mortagne, Boucherville

De Regt B. 1990.

L'irrigation et la culture du riz au Suriname.

Revue. Le Courrier n°24 Nov.- décembre pp 94-95.

Djeha H et Kara K. 1992.

Contribution à l'étude de la pollution des cours d'eau de Constantine par les cyanures suite aux rejets industriels des unités de construction mécanique de Ain-Smara et d'El-Khroub. Effets du cyanure de potassium sur la croissance et le développement du *Pisum sativum*.

Mémoire d'Ing. Ecologie. Univ. Constantine. 121 p.

FAO 1975. Food Alimentation Organisation

Les besoins en eau des cultures.

Bull.FAO n° 24. Rome.

FAO 1976. Food Alimentation Organisation

La qualité de l'eau en agriculture.

Bull. d'irrigation et drainage n°29. Rome.

Hannachi N. 2009.

Faibles ressources hydriques agricoles à Constantine

<http://www.latribune-online.com/index.php?news=15372>

Horning H M., 1973.

Rôle de l'aménagement rationnel de l'eau d'irrigation au niveau des exploitations.

Séminaire régional FAO/PNUD Damas. 7-13 décembre 1971.pp 10-21.

JORA 1983. Journal Officiel de la République Algérienne

Loi 87-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux, p 1270.

JORA n°30 du 19-07-83 Chapitre II. Eau d'irrigation

JORA, 2006. Journal Officiel de la République Algérienne.

Arrêté interministériel du 22 janvier 2006 fixant les proportions d'éléments contenus dans les eaux minérales naturelles et les eaux de source.

El Asslouj J ; e Kholtei S ; El Amrani N et Hilali A. 2007

Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées. *Afrique SCIENCE 03(1) (2007) 109 - 122*

Kadi A 1997.

La gestion de l'eau en Algérie

Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 42(2) April 1997 191

Khanchouche 1998

Contribution à l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation dans trois exploitations agricoles (Oued Boumerzoug-El-Khroub). Wilaya de Constantine.

Mémoire d'Ing. Ecologie. Univ. Constantine. 73 p.

Kherraz K. 1994.

Situation du secteur hydraulique. Constat et Perspectives.

Colloque Journées sur l'eau. 3-4 mai 1994. Constantine.

Lekouara F. 1997.

Contribution à l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation dans trois exploitations agricoles. (Ain-Smara-Hamma-Bouziane). Wilaya de Constantine.

Mémoire d'Ing. Ecologie. Univ. Constantine. 73 p.

Maton, 1983.

Maton, L. (2006). Représentation et simulation des pratiques culturales des agriculteurs à l'échelle régionale pour estimer la demande en eau d'irrigation.

Application à un bassin versant maïsicole du sud ouest de la France.

Thèse de Doctorat. INP-Toulouse, France, 223p.

Maynard D.N.et G.J. Hochmuth. 1997.

Knott's Handbook for Vegetable growers. 582p.

(http://www.agr.gc.ca/pfra/water/microirr_htm), 4p.

Mébarki A. 1982.

Le Bassin du Kébir-Rhumel : Hydrologie de surface et aménagement des ressources en eau.
Thèse 3^e Cycle en géographie physique. Univ. Nancy II. 304 p.

Messahel1 M; Benhafid M.S et Cherif M 2003.

Efficiencie des systèmes d'irrigation en Algérie.

Mihoub D.1994.

Barrage de Hammam Grouz, rejets domestiques et industriels.
Colloque Journées sur l'eau.3-4 mai 1994. Constantine.

Milos H. 1971.

L'eau et l'environnement

Bull. FAO. 8 :32-38pp. Rome.

Ollier Ch.et Poirée M. 1983.

Irrigation : les réseaux d'irrigation, théorie, technique et économie des arrosages.
Ed.Eyrolles. Paris.455p.

ONM 2010. Office Nationale de la Météorologie.

Données climatiques : températures et précipitations moyennes (2010).

Plauchu. 2004.

Economie de l'environnement

Richards L. A. 1954

Diagnosis and improvement of saline and alkali
Soils. Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C, p160.

Rodier J. 2005.

L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer
8^e édition. Ed. : Dunod.1382 pages.

Tiercelin, J-R. 1998.

Traité d'irrigation, *Lavoisier TEC & DOC, Paris, 1011p*
cfppa.reunion.free.fr/cfppa/cdr/irri_books.htm

US EPA. 1991,

Integrated Risk Information System, Nitrate.

ANNEXE 1

ANALYSE DE LA VARIANCE DE L'AJUSTEMENT

Le test que nous avons réalisé concerne le modèle d'étalonnage. Nous avons opéré une analyse de la variance de l'ajustement. Les droites d'étalonnage sont-elles justes pour être utilisées ?

Formules pour le calcul de la variance :

$$S_M = \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 = \text{somme des carrés associés à la variance du modèle.}$$

$$S_R = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \text{sommes des carrés associés à la variance résiduelle.}$$

$$S_T = \sum (Y_i - \bar{Y})^2 = \text{sommes des carrés associés à la variance totale du modèle.}$$

Formules pour le calcul de la variance

Origine de la variation	Somme des carrés	ddl	Carrés moyens	Test F
Modèle	$S_M = \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$	p	$V_M = S_M / p$	V_M / V_R
Résidu	$S_R = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$	n-p-1	$V_R = S_R / (n-p-1)$	
Total	$S_T = \sum (Y_i - \bar{Y})^2$	n-1		

Tous les modèles d'étalonnage pour les quatre prélèvements ont été acceptés. Pour abrégé nous donnerons uniquement un exemple de calcul concernant la station 1 : Oued Rhumel.

Exemple

Résultats des mesures de l'absorbance des étalons

(Etalonnage du 25/10/10/)

Etalons	[C] mg NaNO ₃ /l	%Absorbance
T	0	0
1	10	0,653
2	20	1,094
3	30	1,758
4	40	2,4

ANALYSE DE LA VARIANCE DE L'AJUSTEMENT (Suite)

Les données

SM	\hat{Y}_i	\bar{Y}	$\hat{Y}_i - \bar{Y}$	$(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$
	0,59	1,48	-0,89	0,7921
	1,18	1,48	-0,30	0,09
	1,77	1,48	0,29	0,0841
	2,36	1,48	0,88	0,7744
				1,7406
SR	Y_i	\hat{Y}_i	$Y_i - \hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$
	0,653	0,59	0,063	0,003969
	1,094	1,18	-0,086	0,007396
	1,758	1,77	-0,012	0,000144
	2,4	2,36	0,04	0,0016
				0,013109
ST	Y_i	\bar{Y}	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$
	0,653	1,48	-0,83	0,683929
	1,094	1,48	-0,39	0,148996
	1,758	1,48	0,28	0,077284
	2,4	1,48	0,92	0,8464
				1,756609

Origine de la variation	Somme des carrés	ddl	carrés moyens	Test F
Modèle	1,7406	1	1,7406	266
Résidu	0,013109	2	0,0065545	
Total	1,756609	3		

Au niveau de confiance 99% la table de Fischer-Snedecor donne la valeur critique $F(1,2) = 98,50$. La valeur trouvée étant supérieure à ce seuil le modèle d'étalonnage Peut-être accepté.

La même démarche est appliquée pour le reste des campagnes

ANNEXES 2

Calcul du SAR

Le SARaj est calculé au moyen de la formule :

$$SAR_{ajusté} = \frac{Na}{\sqrt{Ca + \frac{Mg}{2}}} [1 + (8.4 - pHc)]$$

$$pHc = (pK_2 - pKc) + p(Ca + Mg) + p(Alk)$$

$$(pK_2 - pKc) = Ca + Mg + Na \text{ en meq/l}$$

$$p(Ca + Mg) = Ca + Mg \text{ en meq/l}$$

$$p(Alk) = CO_3 + HCO_3 \text{ en meq/l.}$$

Calcul du SAR ajusté le 25/10/10

25/10/10	Ca	Mg	Na	CO ₃	HCO ₃	SAR
Station 1	13.58	13.50	0.64	1.6	1.6	0.17
Station 2	10.00	9.97	0.40	1.2	1	0.126

SAR*₁

$$Ca + Mg + Na = 13.58 + 13.50 + 0.64 = 27.72 \text{ meq/l}$$

$$p(Ca + Mg) = 13.58 + 13.50 = 27.08 \text{ meq/l}$$

$$p(Alk) = 1.6 + 1.6 = 3.2 \text{ meq/l}$$

$$(pK_2 - pKc) = 2.4$$

$$p(Ca + Mg) = 1.8 \text{ meq/l}$$

$$p(Alk) = 2.5$$

$$pHc = 6.7 \quad SAR^*_1 = \frac{0.64}{3.68 [2.7]} = 0.45$$

SAR*₂

$$Ca + Mg + Na = 10 + 9.97 + 0.40 = 20.37 \text{ meq/l}$$

$$p(Ca + Mg) = 10 + 9.97 = 19.97 \text{ meq/l}$$

$$p(Alk) = 1.2 + 1 = 2.2 \text{ meq/l}$$

$$(pK_2 - pKc) = 1.7$$

$$p(Ca + Mg) = 2.0 \text{ meq/l}$$

$$p(Alk) = 2.7$$

$$pHc = 6.4 \quad SAR^*_2 = \frac{0.40}{3.15 [3]} = 0.38$$

Calcul du SAR ajusté le 25/01/11

25/10/10	Ca	Mg	Na	CO ₃	HCO ₃	SAR
Station 1	14.83	1.85	6.95	0	3	1.70
Station 2	8.02	1.96	3.4	0	1.2	2.41

SAR*₁

$$Ca + Mg + Na = 14.83 + 1.85 + 6.95 = 23.63 \text{ meq/l}$$

$$(pK_2 - pKc) = 2.4$$

$$p(\text{Ca} + \text{Mg}) = 14.83 + 1.85 = 16.68 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Alk}) = 3 = 3 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Ca} + \text{Mg}) = 2.05 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Alk}) = 2.5$$

$$pH_c = 6.95 \quad SAR^*_1 = \frac{6.95}{4.08} [2.45] = 4.17$$

Calcul du SAR (suite)

SAR*₂

$$\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} = 8.02 + 1.96 + 3.4 = 13.38 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Ca} + \text{Mg}) = 9.98 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Alk}) = 0 + 1.2 = 1.2 \text{ meq/l}$$

$$(pK_2 - pK_c) = 2.3$$

$$p(\text{Ca} + \text{Mg}) = 2.3 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Alk}) = 2.95$$

$$pH_c = 1.85 \quad SAR^*_2 = \frac{3.4}{1.41} [1.85] = 4.46$$

Calcul du SAR ajusté le 16/05/11

16/05/10	Ca	Mg	Na	CO ₃	HCO ₃	SAR
Station 1	8.02	7.99	6.66	0	1.31	2.34
Station 2	6.8	6.77	2.6	0	1.28	1.0

SAR*₁

$$\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} = 8.2 + 7.99 + 6.66 = 22.67 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Ca} + \text{Mg}) = 8.2 + 7.99 = 16.19 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Alk}) = 0 + 1.31 = 1.31 \text{ meq/l}$$

$$(pK_2 - pK_c) = 2.4$$

$$p(\text{Ca} + \text{Mg}) = 4.05 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Alk}) = 2.35$$

$$pH_c = 0.6 \quad SAR^*_1 = \frac{6.66}{2.84} [0.6] = 1.40$$

SAR*₂

$$\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} = 6.8 + 6.77 + 2.6 = 16.17 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Ca} + \text{Mg}) = 13.57 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Alk}) = 0 + 1.28 = 1.28 \text{ meq/l}$$

$$(pK_2 - pK_c) = 2.35$$

$$p(\text{Ca} + \text{Mg}) = 2.15 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Alk}) = 2.9$$

$$pH_c = 7.50 \quad SAR^*_2 = \frac{2.6}{2.6} [1.9] = 1.9$$

Calcul du SAR ajusté le 10/07/11

10/07/11	Ca	Mg	Na	CO ₃	HCO ₃	SAR
Station 1	8.42	9.80	5.65	0	1.56	1.87
Station 2	9.02	10.04	4.08	0	2.16	1.32

SAR*₁

$$\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} = 8.42 + 9.80 + 5.65 = 23.87 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Ca} + \text{Mg}) = 8.42 + 9.80 = 18.22 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Alk}) = 0 + 1.56 = 1.56 \text{ meq/l}$$

$$(pK_2 - pK_c) = 2.4$$

$$p(\text{Ca} + \text{Mg}) = 2.05 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Alk}) = 2.75$$

$$pH_c = 7.2 \quad SAR^*_1 = \frac{5.65}{3.01} [2.2] = 4.13$$

SAR*₂

$$\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} = 9.02 + 10.04 + 4.08 = 23.14 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Ca} + \text{Mg}) = 9.02 + 10.04 = 19.06 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Alk}) = 0 + = 2.16 \text{ meq/l}$$

$$pH_c = 7.1$$

$$4.08$$

$$3.08 [2.3]$$

$$(pK_2 - pK_c) = 2.4$$

$$p(\text{Ca} + \text{Mg}) = 2.05 \text{ meq/l}$$

$$p(\text{Alk}) = 2.65$$

$$\text{SAR}^*_2 =$$

$$= 3.04$$

Na	Ca	Mg	Cl	CO ₃	HCO ₃	NO ₃	CE	S.A.R	pH
Na	0.502	0.634	0.336	0.991	-0.159	-0.421	0.301	-0.751	0.226
	Ca	-0.275	0.719	0.439	0.771	0.569	0.523	0.060	0.142
		Mg	0.024	0.715	-0.804	-0.853	-0.408	-0.672	-0.227
			Cl	0.368	0.519	0.496	-0.215	0.363	-0.578
				CO ₃	-0.233	-0.468	0.174	-0.732	0.113
					HCO ₃	0.948	0.442	0.584	0.073
						NO ₃	0.184	0.811	-0.154
							CE	-0.370	0.911
								S.A.R	-0.566

ANNEXES 3

Corrélations entre les différents paramètres mesurés

Station. 1 Oued Rhumel

pH	pH									
T	0,91	T								
Ce	-0,16	-0,24	Ce							
Na ⁺	0,24	0,17	0,91	Na ⁺						
Ca ⁺⁺	0,51	0,27	0,72	0,87	Ca ⁺⁺					
Mg ⁺⁺	0,86	0,91	0,17	0,58	0,58	Mg ⁺⁺				
CO ₃ ⁻	-0,52	-0,70	0,84	0,57	0,47	-0,36	CO ₃ ⁻			
NO ₃ ⁻	0,98	0,97	-0,19	0,22	0,42	0,91	-0,60	NO ₃ ⁻		
SO ₄ ⁻	0,39	0,73	-0,42	-0,17	-0,34	0,56	-0,81	0,55	SO ₄ ⁻	

Station. 2 Boumerzoug

Cl ⁻	0,31	0,02	0,78	0,83	0,97	0,36	0,65	0,20	-0,56	Cl ⁻	
HCO ₃ ⁻	0,85	0,75	-0,63	-0,30	0,07	0,51	-0,76	0,81	0,37	-0,08	HCO ₃
SAR	-0,21	-0,50	-0,42	-0,58	-0,23	-0,67	0,10	-0,36	-0,65	-0,06	0,20

ANNEXE 4

Principales techniques d'irrigation

Irrigation gravitaire : efficacité 20 à 60%.

L'eau est acheminée par un réseau de canaux et répartie sur les parcelles sous l'effet des forces de gravité occasionnées par la pente des ouvrages et du sol.



Irrigation par aspersion : efficacité : 65 à 85%

L'eau est mise sous pression et pulvérisée sur les cultures d'une façon analogue à la pluie aux moyens d'appareils appropriés

Irrigation localisée ou micro-irrigation :
efficience : 85 à 95%

L'apport d'eau, à faible débit et intervalles fréquents, est limité en zones occupées par les racines des végétaux ; le système "goutte à goutte" est le plus utilisé



ANNEXE 5

Tableau I- Classification des eaux selon Richards (1956)
 (C_E corrigé à 25°C)*

Stations	Date	C_E 25 °C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	SAR	Classe
Oued Rhumel	25/10/10	1942.13	0.45	$C_3.S_1$
	25/01/11	3090.6	4.47	$C_4.S_1$
	17/05/11	2030.4	1.40	$C_3.S_1$
	10/07/11	943.8	4.13	$C_3.S_1$
Oued Boumerzoug	25/10/10	1942.13	0.38	$C_3.S_1$
	25/01/11	3090.6	4.46	$C_4.S_1$
	17/05/11	1055.34	1.9	$C_3.S_1$
	10/07/11	897.93	3.04	$C_3.S_1$

* $C_{E25^\circ\text{C}} = C_{\text{mesurée}} \times f_i$ (facteur de correction)

Risque salin

Conductivité électrique C_E 25°C
 Classe de risque :

$C_E \leq 250 \mu\text{S}/\text{cm}$	Risque faible
$250 < C_E \leq 750 \text{ m}$	Risque moyen
$750 < C_E \leq 2250$	Risque élevé
$C_E > 2250$	Risque très élevé

Risque alcalin

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad Na, Ca et Mg en me.l^{-1}$$

Classes de risque:

$SAR \leq 10$	Risque faible
$10 < SAR \leq 18$	Risque moyen
$18 < SAR \leq 26$	Risque élevé
$SAR > 26$	Risque très élevé

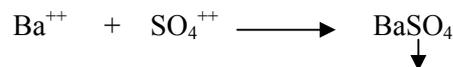
Interprétation des classes correspondant aux couples ‘Risques salins-risques alcalins (Richards, 1956)

C1 S1	Eau de bonne qualité. Précaution avec les plantes sensibles
C1 S2	Qualité moyenne à bonne. A utiliser avec précaution dans les sols lourds mal drainés et pour les
C2 S1	plantes sensibles (arbres fruitiers).
C2 S2	Qualité moyenne à médiocre. A utiliser avec précaution. Nécessité de drainage avec doses de
C1 S3	lessivage et / ou apport de gypse.
C3 S1	Qualité médiocre à mauvaise. Exclure les plantes sensibles et les sols lourds. Utilisables avec
C1 S4	beaucoup de précautions dans les sols légers et bien drainés avec doses de lessivage et / ou apport
C2 S3	de gypse.
C3 S2	Qualité mauvaise. A utiliser avec beaucoup de précautions, que dans les sols légers et bien
C4 S1	drainés et pour les plantes résistantes. Risques élevés. Lessivage et apports de gypse
C2 S4	indispensables.
C4 S2	Qualité très mauvaise. A n'utiliser que dans les circonstances exceptionnelles.
C3 S3	Eau déconseillée pour l'irrigation.
C3 S4	
C4 S3	
C4 S4	

ANNEXE 6 DOSAGE DES SULFATES

Principe

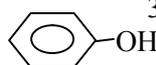
Les sulfates sont précipités sous forme de sulfate de Baryum par le chlorure de baryum.



Le précipité ainsi obtenu, très fin, est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble ainsi produit une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 495 nm.

Réactifs

- Solution de chlorure de baryum et de gélatine.
 - Gélatine 40 g. (20g)
 - Chlorure de baryum (BaCl₂) 200 g dissoudre à part ;
 - Eau distillée q.s.p 2000ml.
 - Phénol 3 g environ.



- Remarque 1 : le phénol est ajouté pour éviter une décomposition d'origine bactérienne de la gélatine
- Remarque 2 : dans le cas où la gélatine contient des sulfates il apparaît un trouble de BaSO₄ que l'on élimine par centrifugation.

- Solution mère de sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ à 10.000 mg/l (= ppm) en SO_4^- dissoudre 13.755 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ préalablement desséché à l'étuve à 100°C puis au dessiccateur sous vide, dans de l'eau distillée ajuster à 1000 ml exactement
- Solution étalon :
Prendre successivement : 50, 40, 30, 20, 15, 10 et 5 ml de la solution mère de SO_4^- , compléter chaque prélèvement à 1000 ml par de l'eau distillée.
On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement : 500, 400, 300, 200, 100 et 50 ppm en SO_4^- . Les stocker soigneusement dans des flacons étiquetés.

Dosage

- Prélever 5 ml des solutions étalons et les mettre dans des erlens de 50 ml.
- Préparer autant de blancs que de série de 10 échantillons, étalons compris : mettre 5 ml d'eau distillée dans des erlens de 50 ml.
- La prise d'essai (PE) sur les extraits à analyser dépend uniquement de la conductivité électrique (C_E) de ces extraits, préalablement mesurée.
 - Si $C_E < 1.6$ mS/cm PE = 5 ml.
 - Si $1.6 \leq C_E < 3$ mS/cm PE = 2 ml complétés à 5 ml à l'eau distillée. Le facteur de dilution est alors de 2.5.
 - Si $3 \leq C_E < 6$ mS/cm PE = 10 ml complétés à 50 ml à l'eau distillée. Prélever 5 ml de cette solution diluée. Le facteur de dilution est alors de 2.5.
 - Si $C_E \geq 6$ mS/cm. PE = 5 ml dilués à 50 ml à l'eau distillée. Prélever 5 ml de cette solution diluée. Le facteur de dilution est de 10.
 - On place les prises d'essai dans des erlens de 50 ml.
 - Les prises d'essai de solutions étalons, blancs et échantillons dilués ou non, font toutes 5ml et sont traitées de manière identique à savoir :

On ajoute à chaque PE 20 ml de solution de chlorure de baryum (BaCl_2) et de gélatine.

On agite pour uniformiser le trouble et on laisse reposer pendant 20 mn jusqu'à la mesure. Une nouvelle agitation aurait pour conséquences la formation de bulles d'air et par conséquent une perturbation des mesures.

On effectue les lectures au colorimètre ($\lambda = 495$ nm) en réglant le zéro avec le blanc.

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en sulfates exprimés en mg/l d'extrait.

Résumé.

A Constantine, la réutilisation des eaux usées brutes en agriculture irriguée date de 1970 et est toujours d'actualité.

Dans le cadre de cette étude, les eaux usées, des deux principaux oueds de Constantine : le Rhumel et Boumerzoug, utilisées à des fins d'irrigation, dans deux stations agricoles, ont fait l'objet d'une évaluation qualitative. Les stations diffèrent par leur emplacement géographique où l'influence de l'activité humaine et industrielle n'est pas la même d'une station à une autre. La méthodologie suivie, pour l'évaluation de la qualité de ces eaux est celle préconisée par la FAO (1976).

Les résultats trouvés, comparés aux directives de la FAO, ont mis à jour certaines "anomalies" pouvant être à l'origine de problèmes agronomiques (salinité), pédologiques (perméabilité) et de toxicité, dus à des teneurs excessives en sodium, chlore, bicarbonate et azote. Le problème de salinité est rencontré dans les deux stations.

Le constat établi est que la pratique de l'irrigation se fait de façon anarchique sans aucune étude préalable d'évaluation de la qualité des eaux. Les agriculteurs irriguent plusieurs types de cultures sans le moindre contrôle.

Désormais, une règle s'impose à savoir : *tout approvisionnement avec des eaux usées destinées à l'irrigation doit faire l'objet non seulement d'une évaluation qualitative préalable mais doit inciter les exploitants à plus de rigueur dans la gestion et le pilotage de l'irrigation.* Si les exploitants peuvent toujours utiliser ces eaux à des fins d'irrigation il leur incombe de prendre certaines précautions. Ils doivent : (1) s'assurer que leur sol présente une perméabilité suffisante ; (2) faire preuve de compétence en matière d'irrigation (date, dose, fréquence). A défaut, éviter la culture de plantes sensibles aux sels pour ne planter que des "tolérantes". Faute de quoi les autorités compétentes sont en droit de leur appliquer le "Principe de Précaution".

Mots clés : eaux usées, oueds, irrigation ; exploitations agricoles

SUMMARY

In Constantine, the re-use of rough used water in irrigated agriculture back to dates 1970 and is always of actuality in spite of the effective law prohibiting the use of these waters.

In the course of this study, used water, of the two principal wadis: Rhumel (O.R) and Boumerzoug (O.B), used for irrigation, in two agricultural stations, have been subject of a qualitative evaluation. The stations differ by their geographical place where the influence of human and industrial activity is not the same from one station to another. The methodology followed in the evaluation of the quality of these waters is the one recommended by the FAO.

Compared to the directives of the FAO, The results found, have revealed some "anomalies" that might be at the origin of agronomic problems (salinity), pedological (permeability) and of toxicity, due to excessive contents of sodium, chlorine, bicarbonate and azote. The problem of salinity is encountered in both stations the result established is that the practice of irrigation of irrigation happens in an anarchic way without any prior study of evaluating water quality. The farmers irrigate several types of cultures without the least control.

Henceforth, a rule is necessary to know: all supplies with wastewater intended to irrigation must be the subject, not only of a prior qualitative evaluation, but should encourage farmers for more rigors in the management and control of irrigation. If farmers can always use these waters for irrigation, it is their responsibility to take certain precautions. They must: (1) ensure that their soils present a sufficient permeability, (2) demonstrate competence in terms of irrigation (date, dose, frequency). Failing this, avoid growing plants sensitive to salt and to plant only "tolerant". Otherwise, the competent authorities have the right to apply the "Precautionary Principe"

Key words: used waters, wadis, irrigation; agricultural exploitations.

ملخص:

في قسنطينة، إعادة استخدام مياه الصرف الصحي الخام في الزراعة المرورية بدأت منذ العام 1970، ولا تزال مستعملة إلى يومنا هذا.

في إطار هذه الدراسة، تم إعداد تقييم نوعي لمياه الصرف الصحي للأودية الرئيسية في قسنطينة و هي: واد الرمال، واد بومرزوق، والتي تستخدم لأغراض الري، في محطتين زراعتين. هاتان المحطتان تختلفان في موقعهما الجغرافي أين تأثير النشاط البشري والصناعي ليس نفسه من محطة لأخرى. المنهجية المتبعة لتقييم نوعية هذه المياه هي التي أوصت بها منظمة الأغذية والزراعة (FAO,1976).

النتائج المحصل عليها، مقارنة مع المبادئ التوجيهية لمنظمة (FAO)، كشفت بعض الحالات غير العادية التي قد تكون سببا في المشاكل الزراعية (الملوحة)، تربة (نفاذية)، وسمية، ويرجع ذلك إلى وجود مستويات مفرطة من الصوديوم، الكلور، النترات والبيكربونات. مشكلة الملوحة متواجدة في كلتي المحطتين.

الاستنتاج الذي وصلنا له هو أن ممارسة الري تتم بشكل عشوائي من دون أي دراسة أولية لتقييم نوعية المياه. يقوم المزارعون بري عدة أنواع من المحاصيل دون أي فحص.

هناك قاعدة يجب أن تعرف: "أي تزود بالمياه الصرف الصحي للري يجب أن يخضع ليس فقط لتقييم نوعي" ولكن يجب أن نحث أيضا مستعملي هذه المياه على الصرامة في تسيير و إدارة عملية الري.

يمكن للمزارعين الاستمرار في استخدام هذه المياه للري و لكن يجب أن يتخذوا بعض الاحتياطات. يجب عليهم: (1) ضمان تربة ذات نفاذية كافية، (2) إثبات الكفاءة في الري (تاريخ، جرعة، والتردد). و كذلك، تجنب زراعة النباتات الحساسة للملوحة أي زراعة النباتات "المتسامحة". و يحق للسلطات المختصة تطبيق "مبدأ الحيطة" على المزارعين.

كلمات مفتاحيه: مياه مستعملة, وديان, ري, مساحات زراعية.

