



UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
MARRAKECH



MEMOIRE
Présenté pour obtenir le titre de :
Licence es Sciences et Technique
Eau et environnement

**CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX
USEES BRUTES UTILISEES EN IRRIGATION DANS LA ZONE
DE TAMELLALT
(REGION DE MARRAKECH TENSIFT-HAOUZ)**

Réalisé par :

Karima EL MOUJAHID
Radia CHAHA

Encadré par :

- Pr. Nadia KHAMLI -Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech
- Mr SGHIR Fathallah-Office de Mise en Valeur agricole du Haouz
- Mr. MORRENO Abdessamad- Office de Mise en Valeur agricole du Haouz

Soutenu : Le 24 juin 2013 devant le jury :

Pr. Samia BERRADA Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech

Pr. Nadia KHAMLI Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech

2012-2013
Dédicace

Nous dédions ce travail :

A nos chers parents

Pour leur soutien, leur patience, leur sacrifice et leur amour,

Vous méritez tout éloge,

Vous qui avez fait de nous ce que nous sommes aujourd'hui.

Nous espérons être l'image que vous vous êtes fait de nous,

Que Dieu vous garde et vous bénisse.

A nos chers frères et sœurs,

Pour leur affection et leur encouragement qui ont toujours

été pour nous des plus précieux,

Que ce travail soit pour vous le gage de notre profond amour

A tous nos amis

A tous ceux qui nous ont aidés.

A tous ceux que nous aimons, nous dédions ce travail ...

Remerciements

C'est avec un réel plaisir que nous exprimons ici notre reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements aux membres de jury. Veuillez trouver dans ce travail notre sincère respect et notre profonde reconnaissance.

Nous voudrions remercier du fond du cœur toutes celles et ceux qui ont bien voulu apporter leur contribution à la réalisation de ce travail et particulièrement:

Notre encadrant **Professeur Nadia KHAMLI** pour sa réactivité, sa grande disponibilité, ses conseils concernant l'orientation de notre mémoire et aussi son soutien tout au long de notre projet.

Nos professeurs du département des Sciences de la terre de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, qui nous ont apportés du soutien durant nos études et envers tous nos amis qui ont été toujours près de nous avec leurs encouragements, critiques et conseils, ainsi tous ceux qui ont, d'une manière ou d'une autre, contribué à la réalisation de ce travail.

Nous remercions l'équipe de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz, en particulier **Monsieur MORENO Abdessamad** pour son encadrement, sa présence, ses remarques constructives et ses encouragements et **Monsieur SGHIR Fathallah**.

Nous remercions chaleureusement nos parents et nos proches pour leur aide, leur patience et leur dévouement, qui nous a aidés tout au long de notre stage et de la réalisation de notre mémoire.



ORMVAH : Office Régionale de Mise en Valeur Agricole du Haouz

RADEEMA : Régie Autonome de Distribution de l'Eau et de l'Electricité de Marrakech

CNER : Centre National d'Equipement Routière

CE : Conductivité électrique

DBO5 : Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

EUB : Eau usé brute

MES : Matières En Suspension

mg/L : Milligramme par litre

mL : Millilitre

méq/l : milliéquivalent par litre

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

DO : densité optique

AEP : alimentation en eau potable

SAR : Sodium Absorption Ratio (Coefficient d'absorption du sodium)

Als : Argileux Limoneux sableux

SOMMAIRE

Introduction.....	1
CHAPITRE II : Présentation générale du centre de Tamellalt	3
II: Présentation générale de la zone d'étude	4
II-3 : Cadre administrative.....	4
II-4 : Situation géographique	4
II-5 : Contexte géologique	5
II-6 : Contexte climatique	7
II-6-1: Climat	7
II-6-2: Pluviométrie	7
II-6-3: Température	8
II-7 : Population.....	8
II-8 : Distribution d'eau potable.....	9
II-9 : Description du réseau d'assainissement	10
II-9-1: Caractéristiques des rejets du centre TAMELLALT	10
II-9-2: Rejets des huileries.....	10
II-9-3: Rejets de l'abattoir	11
II-9-4: La laiterie de Tamellalt.....	11
CHAPITRE III : Caractérisation physico-chimique des eaux usées et du sol irrigué par les eaux usées à Tamellalt.....	13
I: Technique d'échantillonnage et modes opératoires	14
I-1 : Emplacement des points de prélèvement des eaux et du sol analysés.....	14
I-2 : Technique d'échantillonnage des eaux usées et du sol	15
I-2-1: Technique d'échantillonnage des eaux usées.....	15
I-2-2: Technique d'échantillonnage du sol	16
I-3 : Méthodes d'analyses des échantillons des eaux usées et du sol	17
I-3-1: Méthodes d'analyses des échantillons des eaux usées.....	17
a) Potentiel hydrogène (pH)	17
b) La température.....	17
c) La conductivité électrique.....	17
d) La matière en suspension	17
e) La demande biochimique en oxygène (DBO5)	19

f)	La demande chimique en oxygène (DCO)	19
g)	Le bilan ionique de l'eau.....	21
I-3-2:	Méthodes d'analyses des échantillons du sol	24
a)	Potentiel hydrogène (pH)	25
b)	Calcaire totale	25
c)	Matière organiques (MO)	25
d)	Le phosphore assimilable	26
e)	Le potassium.....	27
II:	Présentation des résultats et interprétations.....	27
II-3 :	Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées	27
II-2. :	Discussions des résultats	29
II-3 :	Résultats des analyses du sol.....	37
II-4. :	Discussion.....	38
III:	L'impact sanitaire de la réutilisation des eaux usées	40
Conclusions générales		41

INTRODUCTION

la réutilisation des eaux usées à des fins agricoles est une pratique répandue partout dans le monde particulièrement dans les pays en voie de développement et qui se répand de plus en plus du fait de la rareté croissante des ressources en eau, surtout dans les régions arides et semi- arides, et de la disponibilité de grands volumes d'eaux usées facilement mobilisables par les usagers.

Actuellement, les eaux usées (souvent non traitées) sont utilisées pour la production de plus de 10% des récoltes irriguées du monde. On estime à 20 millions d'hectares, les terres agricoles, qui sont irriguées avec des eaux usées (Chris et al. 2004).

Dans le contexte climatique du Maroc caractérisé par des sécheresses récurrentes, le recours aux eaux usées s'est présenté comme une alternative très intéressante pour résoudre les problèmes de manque d'eau, notamment dans les régions affectées par la pénurie d'eau à la périphérie des grandes villes continentales pourvues d'un réseau d'assainissement. Même interdite, cette pratique s'est beaucoup développée et intéresse plus de 7000 ha, soit environ 70 millions de mètre cube d'eaux usées réutilisées chaque année en agriculture sans qu'aucune précaution sanitaire ne soit appliquée (Jemali et al, 2002).

A Tamellalt (notre zone d'étude) la réutilisation des eaux usées brutes en agriculture datent de 2001 et les agriculteurs irriguent plusieurs types de cultures sans le moindre contrôle.

Le présent travail a pour objectif la caractérisation physico-chimique des eaux usées brutes et du sol irriguée par ces eaux dans la zone de Tamellalt afin de démontrer l'impact de l'utilisation des eaux sur ces sols agricoles.

Pour atteindre ces objectifs nous avons effectué des analyses physico-chimiques des échantillons d'eau et du sol au laboratoire de la Régie Autonome de Distribution d'eau et d'Electricité (RADEEMA) et au laboratoire de pédologie de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Haouz (ORMVAH).

Les paramètres mesurés sont : la conductivité, le pH, la température, DBO5, DCO, O₂ dissous, MES et certains éléments majeurs à savoir : HCO₃⁻, Cl⁻, K⁺, Na⁺, SO₄²⁻, Ca²⁺

et Mg^{2+} sur les échantillons des eaux usées. La conductivité, le pH, les teneurs en matière organique (MO), en calcaire total, en phosphore assimilable et en potassium ont été déterminées sur les échantillons du sol.

L'étude s'est déroulée en 3 étapes :

-La première s'est basée sur une bibliographie exhaustive du centre Tamellalt, malgré les difficultés trouvées pour rassembler les informations qui concernent ce jeune centre.

-La deuxième a concerné le travail sur le terrain. Cette étape a été conduite avec la collaboration de l'Office Régionale de Mise en Valeur Agricole du Haouz de Marrakech pour faire le maximum de prélèvements d'échantillons d'eau et du sol.

-La troisième étape a été réalisée au laboratoire de l'ORMVAH de Marrakech et au laboratoire de la RAADEMA.

CHAPITRE II :

PRÉSENTATION
GÉNÉRALE DU CENTRE
DE TAMELLALT

II: Présentation générale de la zone d'étude

II-3 : Cadre administrative

Le centre de Tamellalt est le chef lieu de la commune du même nom dépendant du cercle d'El Attaouia, du Caïdat de Sidi Rahal et de la province d'EL Kelaat Sraghna. Celle-ci fait partie de la région de Marrakech Tensift - Haouz (Fig 1).

II-4 : Situation géographique

Le centre de Tamellalt est situé à 50 Km NE de Marrakech, sur la route nationale N°8. Il se trouve à 31 km au Sud de la ville de Kelaat sraghna (Fig. 1)

Les coordonnées géographiques du centre sont 7°30' de longitude Ouest et 31°49' de latitude Nord. Les altitudes varient entre 575 et 585 m NGM.

Les communes rurales les plus proches du centre de Tamellalt sont (Fig. 1):

- Au Nord : Jouala à 8 km.
- À l'Ouest : Zamran oriental et occidental à 15 km
- À l'Est : Tlouh à 5 km
- Au Sud : Oualad Arad à 10 km

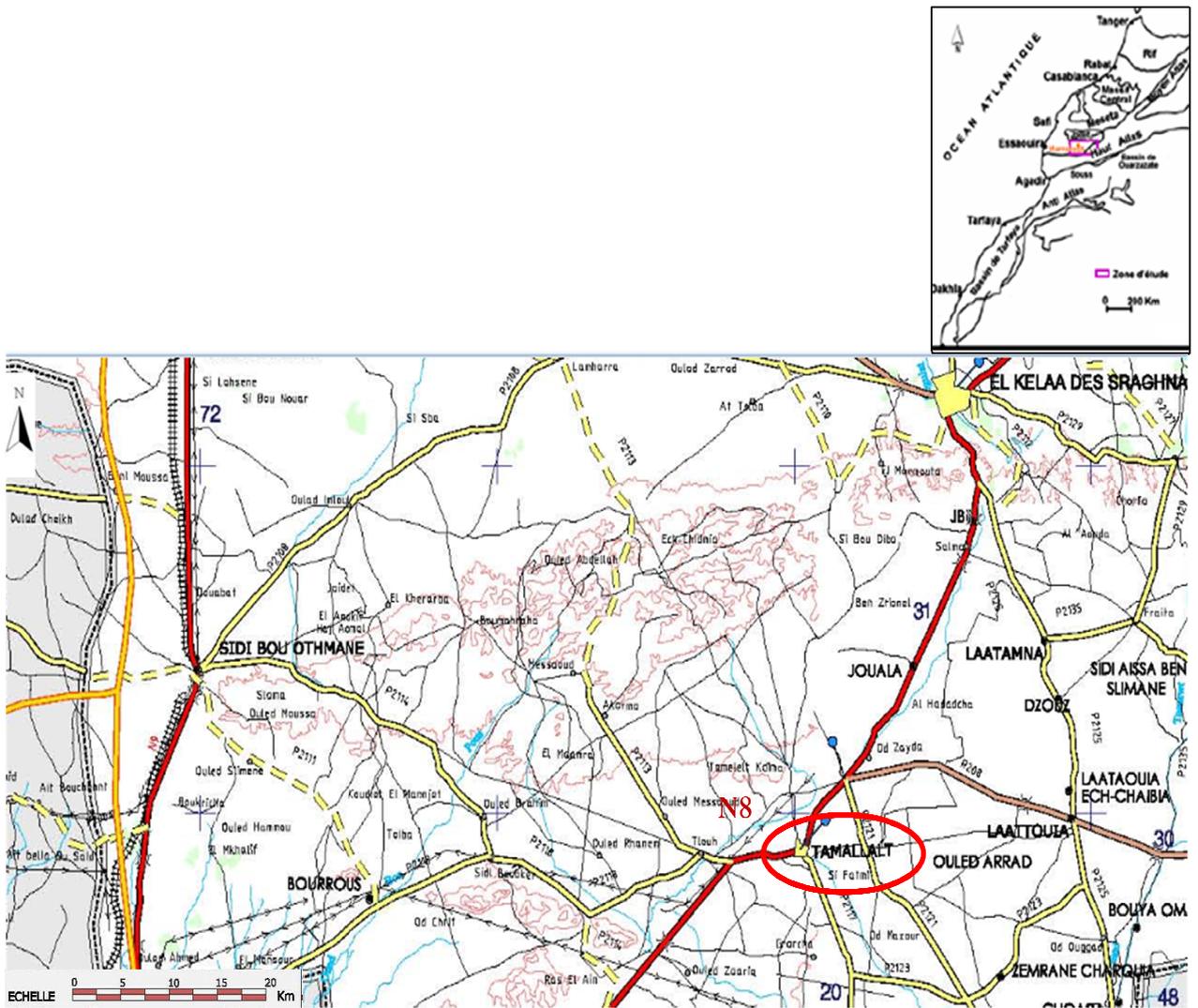


Fig. 1 : Situation géographique du centre Tamellalt (CNER JAN2010)

II-5 : Contexte géologique

La zone d'étude appartient à la plaine du Haouz, plus précisément, Haouz oriental et central. Elle est caractérisée par une topographie plane et monotone, s'étendant sur une largeur de 150 km d'Est en Ouest.

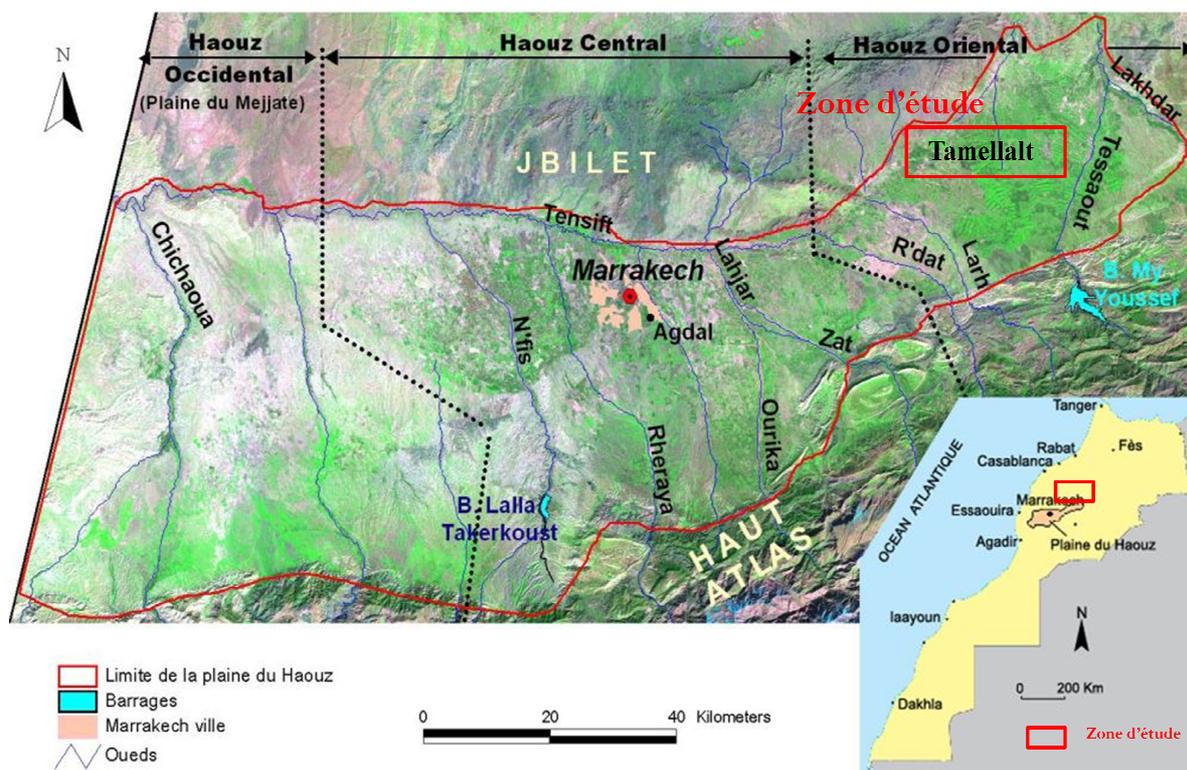


Fig.2 : L'emplacement de la zone d'étude dans la région du Haouz

(Image TM de résolution 30m)

<http://www.erudit.org/revue/rseau/2009/v22/n1/019820ar.html>

Dans cette région, le socle primaire, essentiellement constitué de séries schisteuses très redressées, modelées par l'orogénie hercynienne (Fig. 3). Les couvertures secondaires et paléogènes, déposées en discordance sur une topographie restée très irrégulière, n'apparaissent toutefois qu'en bordure de l'Atlas. Plongeant vers le Nord, elles disparaissent très rapidement, à la seule exception du Permo-Trias, plus largement distribué.

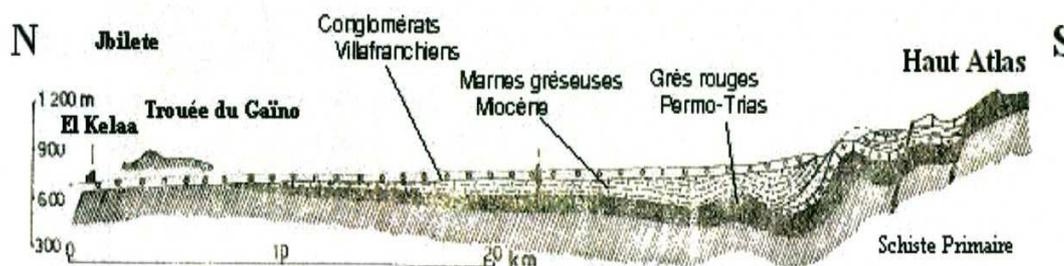


Fig.3 : Coupe géologique schématique de la plaine du Haouz aux environs Tamellalt

(Ambroggi et Thuile, 1952)

Cette lacune, mise en évidence par des forages profonds, a eu pour effet de faire directement reposer sur les terrains primaires des sédiments post-écènes de caractères continentaux, et cela juste après que les premiers mouvements de l'orogénie tertiaire aient provoqué l'individualisation, au niveau du Haouz, d'un grand fossé de subsidence.

Ce fut un bassin d'origine tectonique, induit par le jeu de deux grands systèmes de failles et de flexures. Ils ont conduit à la mise en place, entre le haut Atlas et les Jbilet, de formations néogènes et quaternaires discordantes sur le substratum. Ce remplissage, venu sur un paléo relief très différencié, se caractérise par une forte variation de puissance évaluée à plusieurs centaines de mètres aux confins de l'Atlas. L'épaisseur du remplissage diminue toutefois progressivement vers le Nord pour s'annuler au niveau du Tensift où le socle primaire réapparaît (Fig 3).

II-6 : Contexte climatique

II-6-1: Climat

Sur l'ensemble de la plaine du Haouz règne un climat continental du type semi-aride, caractérisé par une pluviométrie et une hygrométrie faible, une forte évaporation et des températures moyennes élevées aux écarts mensuels et journaliers importants.

II-6-2: Pluviométrie

D'après le graphique de précipitation mensuel, les quantités enregistrées sont rares et peu abondantes et groupées pendant la saison froide entre les mois d'octobre et avril.

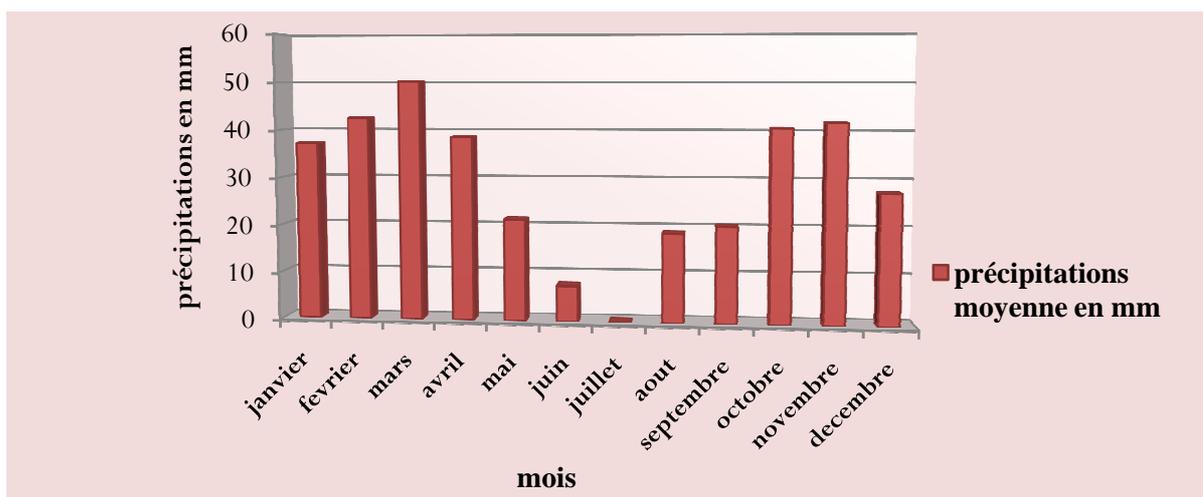


Fig.4 : précipitations mensuel moyenne en mm durant les années 2009-2012 (Centre Agricole

N °408 Tamellalt)

II-6-3: Température

L'analyse des variations des températures mensuelles, permet de constater l'existence de deux saisons, une chaude et l'autre froide.

La température maximale est enregistrée au cours de deux mois par année, au mois d'août et au mois de juillet, de l'ordre de 38°C alors que la température minimale enregistrée en Janvier est de l'ordre de 18°C.

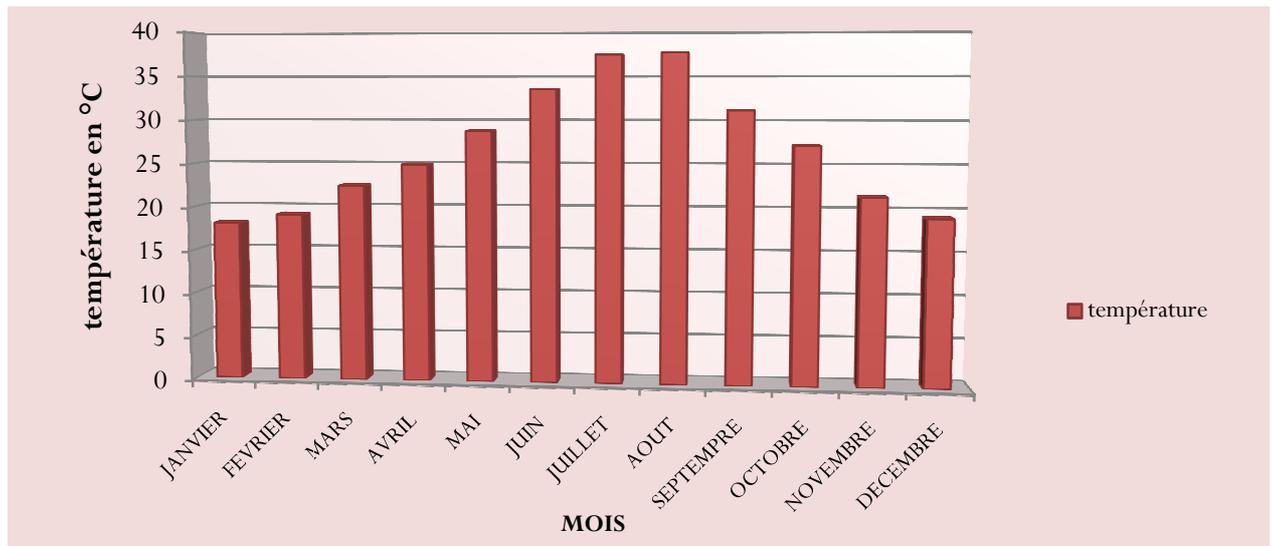


Fig.5 : Répartition mensuel de la température durant les années 2008-2012 (Centre Agricole N °408 Tamellalt)

II-7 : Population

Années	Populations (hab.)
1994	8701
2004	12 212
2010	14 713
2015	18 335
2020	22 849
2030	35 484

Tableau 1 : Evolution de la population de Tamellalt depuis les années 1994

(ONEP Juillet 2011)

La population de la commune urbaine Tamellalt était de 8701 habitants d'après le recensement de 1994 (ONEP juin 2011). Durant la période allant de 1994 à 2004, la ville a connu une croissance démographique significative, avec un taux d'accroissement de l'ordre de 3,4%.

II-8 : Distribution d'eau potable

La distribution d'eau potable est gérée par la direction provinciale de l'Office Nationale de l'eau Potable (ONEP).

	2006	2010	2015	2020	2030
Demande AEP secteur administrative et domestique (en l/hab /j)	63	65	69	70	75
Demande AEP secteur industriel (en m3/j)	8	35	78	144	236

Tableau 2 : la demande d'alimentation en eau potable (AEP) dans le centre Tamellalt

La demande d'alimentation en eau potable du secteur administratif et domestique durant la période allant de 2006 à 2010 n'a pas connu une variation significative. D'après les perspectives cette demande pourra atteindre une valeur de 75 l/hab. /j à l'horizon 2030.

Par contre la demande d'alimentation en eau potable du secteur industriel à presque quadruplé. Elle est passée de 8 à 35 m3/j de l'année 2006 à 2010 et il est prévu atteindre près de 236 m3/j à l'horizon 2030. L'évolution temporelle de la demande AEP est représentée par la figure 6.

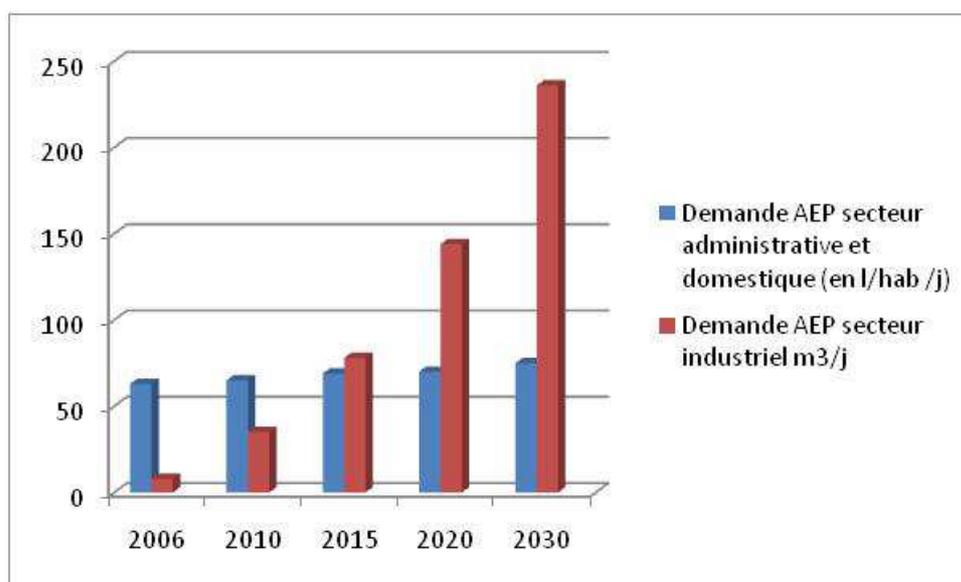


Fig.6 : Évolution de la demande d'AEP du centre urbain Tamellalt

La croissance démographique et le développement des activités humaines vont engendrer donc un accroissement des volumes d'eaux usées et des charges polluantes qu'elles véhiculent (d'origine industrielle en particulier) d'où les énormes problèmes qui se poseront.

II-9 : Description du réseau d'assainissement

Tamellalt est doté d'un réseau d'assainissement de type unitaire couvrant la quasi-totalité de la municipalité, à l'exception de quelques habitations qui disposent de puits perdus pour l'évacuation de leurs effluents (quartier Toumi, quartier Iklass et le souk hebdomadaire).

Le réseau d'assainissement est constitué de 6 collecteurs principaux et de canalisations secondaires et tertiaires qui desservent les différents quartiers et aboutissent tout au même point de rejet. Le linéaire total du réseau est d'environ 12000 m.

	Collecteurs A	Collecteurs B	Collecteurs C	Collecteurs D	Collecteurs D1	Collecteurs Exutoire
Diamètre (mm)	500	500	500	500-800	400	800
Linéarité (m)	600	760	600	1600	593	300

Tableau 3: Linéarité et diamètre du réseau d'assainissement actuel (ONEP 2009)

II-9-1: Caractéristiques des rejets du centre TAMELLALT

Le débit des eaux usées rejetées par le centre de TAMALLALT a été estimé à 507 m³/j pour l'année 2006 (ONEP Juillet 2011). La projection à l'horizon 2020 conduit à un volume journalier d'effluent des rejets qui atteindra 1386 m³/J (ONEP Juillet 2011).

II-9-2: Rejets des huileries

Le centre de Tamellalt abrite une activité industrielle principalement agroalimentaire de type d'exploitation d'oliveraies. Les unités modernes existantes au centre sont : Olico Maroc et Maroc Olive, en plus il existe plusieurs huileries traditionnelles.

Les margines et les eaux usées issues de ces unités sont toutes évacuées vers le réseau d'assainissement du centre sans le moindre contrôle.

Signalons juste qu'aussi bien pour les huileries traditionnelles que pour les huileries modernes, un traitement adapté des effluents devra être mis en place pour chaque unité. Les rejets de ces huileries ne pourront pas en effet être repris sur le système d'assainissement des eaux usées du centre en raison des grandes charges en pollution. Leur reprise dans le réseau imposerait un surdimensionnement de l'unité de traitement pour les périodes de production de l'huile d'olive, qui serait sous dimensionné le reste de l'année.

II-9-3: Rejets de l'abattoir

L'abattoir de Tamellalt est constitué d'une grande salle qui reçoit les bovins et les petits ruminants. Un petit mur sépare la saignée des petits ruminants des grands ruminants. Les canaux d'évacuation sont construits de telle sorte qu'il n'y ait pas de séparation des eaux usées et du sang. Toutes les eaux (eaux usées et sang) sont mélangées et évacuée à la sortie de l'abattoir par un long canal évacuateur, puis ils sont rejetés dans le réseau d'assainissement sans aucun traitement préalable.

II-9-4: La laiterie de Tamellalt

Lors de la campagne de caractérisation des eaux usées du centre de Tamellalt faite par l'ONEP en 2011, les rejets de la laiterie BAHJA ont été pris en compte dans l'estimation des charges polluantes total du centre de Tamellalt. Les estimations prévoient que les rejets de la laiterie n'augmenteront pas au cours des prochaines années.

Volume journalier	5000 L/jour
DBO5	1500 mg/l
DCO	3000 mg/l
MES	2600 mg/l
Estimation charge polluante	
DBO5	7,5 Kg /j
DCO	15 Kg /j
MES	13 Kg /j

Tableau 4 : les rejets quotidiens de laiterie Bahia (ONEP Juillet 2011)

Jusqu'à l'heure de notre étude, à Tamellalt, les eaux usées issues de la laiterie, des huileries et de l'abattoir sont toutes évacuées par le réseau d'assainissement du centre puis déversées dans le milieu naturel sans aucun traitement.

CHAPITRE III :

CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX USÉES ET DU SOL IRRIGUÉ PAR LES EAUX USÉES À TAMELLALT

I: Technique d'échantillonnage et modes opératoires

I-1 : Emplacement des points de prélèvement des eaux et du sol analysés

Dans le site d'étude, les eaux usées non traitées ruissellent dans des canaux à ciel ouvert et traversent oued Zaahran. Les agriculteurs les utilisent pour l'irrigation des cultures céréalière et fourragères.

Nous avons prélevé quatre échantillons d'eaux usées. Le premier échantillon, exactement au niveau de l'exutoire des eaux usées de Tamellalt (à 2 km à l'Ouest du centre), c'est l'échantillon (P1). Le deuxième échantillon (P2) est prélevé sur le trajet des eaux usées (déversées sur le sol) à 3km de l'exutoire. Le troisième échantillon d'eau usée brute (P3) est prélevé en amont d'un champ irrigué par ces eaux alors que l'échantillon d'eau usée brute (P4) est prélevé en aval de ce champ.

En parallèle avec l'échantillonnage des eaux usées, nous avons effectué des prélèvements de sol de deux parcelles irriguées, l'une irriguée par les eaux usées, échantillon (S1) et l'autre non irriguée par les eaux usées, échantillon (S2).



Fig.7 : Position des points de prélèvements des eaux usées et du sol échantillonnés dans la plaine de Tamellalt.

prélèvements	X	Y	Z
Eaux usées			
P1	31°49'13''	7°31'33''	580
P2	31°49'49''	7°32'57''	573
P3	31°49'51''	7°33'	572
P4	31°49'51''	7°33'10''	571.5
Sol			
S1	31°49'39''	7°33'	572
S2	31°49'52''	7°49'99	573

Tableau 5 : les coordonnées géographiques des points de prélèvement

I-2 : Technique d'échantillonnage des eaux usées et du sol

I-2-1: Technique d'échantillonnage des eaux usées

Les échantillons des eaux usées ont été prélevés directement du rejet. Ces eaux prélevées étaient échantillonnées dans des bouteilles en plastique bien fermées, nommées par des codes et conservées dans une glacière jusqu'au moment d'analyse.

- Le but de notre étude est de caractériser les eaux usées brutes utilisées en irrigation. Pour cela, des analyses physico-chimiques ont été effectuées au laboratoire de pédologie de l'ORMVA (Office Régional de mise en Valeur Agricole) du Haouz et au laboratoire de la Régie Autonome de Distribution d'eau et d'Electricité (RADEEMA).

Les paramètres mesurés sont : la conductivité, le pH, la température, DBO₅, DCO, O₂ dissous, MES, et certains éléments majeurs à savoir : HCO₃⁻, Cl⁻, K⁺, Na⁺, SO₄²⁻, Ca²⁺ et Mg²⁺.

I-2-2: Technique d'échantillonnage du sol

Pour les analyses du sol, nous avons effectué des prélèvements de sol dans deux parcelles, l'une irriguée par les eaux usées brutes et l'autre non irriguée par les eaux usées.

Afin d'étudier une caractérisation à l'échelle verticale, nous avons procédé à un prélèvement à l'aide d'une tarière agricole dans les horizons 0-20 cm, 20-40 cm et supérieur à 40cm.

L'échantillonnage du sol c'est le prélèvement de plusieurs échantillons du sol afin de faire des analyses chimiques et physiques.

Plusieurs prélèvements élémentaires doivent être effectués dans un champ pour obtenir un résultat fiable, on a procédé à des prélèvements selon la diagonale : marcher en suivant les diagonales du champ. Prendre un échantillon tous les 10 m environ (distance à adapter en fonction de la dimension du champ). Stocker dans le seau 1 ou 2 poignées de chaque prélèvement préalablement émiétté et mélangé.

	Les horizons	Profondeur en cm
Sol irrigué par les eaux usées	h_0	0-20
	h_1	20-40
	h_2	>40
Sol non irrigué par les eaux usées	h_0	0-20
	h_1	20-40
	h_2	>40

Tableau 6 : prélèvements du sol selon les horizons

I-3 : Méthodes d'analyses des échantillons des eaux usées et du sol

I-3-1: Méthodes d'analyses des échantillons des eaux usées

a) Potentiel hydrogène (pH)

Le pH est un paramètre non conservé, il caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend des facteurs multiples dont l'origine de l'eau. Le pH détermine l'acidité, l'alcalinité et la neutralité d'une eau. Il se mesure à l'aide d'un pH-mètre in situ.

b) La température

La température joue un rôle important dans la solubilité et la dissolution des sels dissous, dans la solubilité des gaz, sur la conductibilité électrique et dans la détermination du pH, la mesure de la température se fait sur terrain à l'aide d'un thermomètre (Assiri A., 2001).

c) La conductivité électrique

Elle permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation totale de l'eau. La conductivité s'exprime en micro Siemens par centimètre. Elle a été réalisée sur le terrain. (Y. El Guamri, D. Belhyti, 2006).

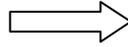
d) La matière en suspension

Les matières en suspension représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux usées. Leurs effets sur les caractéristiques physicochimiques de l'eau sont très néfastes (modification de la turbidité des eaux, réduction de la pénétration de la lumière mettant en péril photosynthèse et diminution de l'oxygène dissous) (Assiri A., 2001).

Les MES sont déterminées en utilisant la méthode par filtration sur un disque filtrant puis pesée différentielle après séchage à 105°C jusqu'à poids constant.



Pesée des filtres vides (P1)



Filtration d'un volume V d'eau usée sous vide(V1)



Repesée du filtre (P2)



Séchage du filtre pendant 2H

Figure 8 : Protocole expérimentale adopté pour la mesure de la MES

La quantité de matière en suspension dans un litre d'eau est déterminée par la relation :

$$\text{MES (mg/l)} = (P2 - P1) / V$$

e) La demande biochimique en oxygène (DBO5)

La demande biologique en oxygène après 5 jours (DBO5) correspond à la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies pour oxyder (dégrader) les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau maintenue à 20°C à l'obscurité pendant 5 jours. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables des rejets.

On réalise une première mesure de la concentration en dioxygène dissous dans les échantillons des eaux usées brutes immédiatement après prélèvement. L'opération est répétée cinq jours plus tard après incubation à 20°C et à l'obscurité. La différence entre les deux valeurs mesurées constitue la DBO5 (demande biochimique en oxygène à cinq jours). La DBO5 est mesuré par un oxymètre d'oxygène.



Photos 1: dispositif expérimentale de mesure de la DBO5 au laboratoire

f) La demande chimique en oxygène (DCO)

Certains polluants sont difficilement biodégradables par les micro-organismes d'où la nécessité de les oxyder par des oxydants chimiques forts consommant de le dioxygène.

La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimiques totale (Thomas O., 1985).

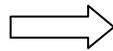
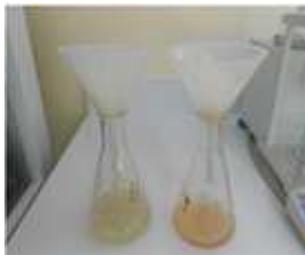
La relation entre la DBO5 et le DCO donne une idée sur la nature du polluant :

Plus il se rapproche de 1, plus le rapport DCO / DBO5, indique la biodégradabilité d'un rejet d'eaux usées :

- de 1,5 à 2 : effluents d'industries agroalimentaires (meilleure biodégradabilité).
- de 2 à 3 : effluent urbain domestique.
- >3 : effluent plus ou moins difficilement biodégradable (industrie).

La DBO, la DCO et la matière organique(MO) d'un échantillon sont liées par la relation empirique suivante:

$$MO = (2 DBO5 + DCO) / 3$$



- ajout 3.5 ml de solution sulfurique
- 1.5 ml de solution digestion



Filtration des eaux à analyser

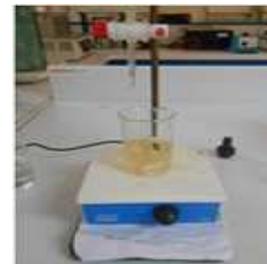
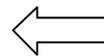


Lecture de la DCO à 260mm



Chauffage à 150°C

Filtration des eaux usées



Agitation au vortex

Figure 9 : Protocole expérimental de la mesure de la DCO

g) Le bilan ionique de l'eau

Le bilan ionique de l'eau est l'ensemble des anions et des cations. Au laboratoire l'analyse de ces ions se fait par deux méthodes : le dosage volumétrique pour les chlorures, les bicarbonates, les carbonates, le calcium, les sulfates et le magnésium et par Spectrophotométrie à flamme pour le sodium, le potassium.

Les méthodes de dosage décrites ci-après ont été tirées de Jackson (1965) et Rodier (1984).

➤ Les chlorures

Les ions Cl^- sont dosés par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3 , 0.02N) en présence de chromate de potassium (KCrO_4). Les chlorures vont précipiter sous forme de chlorure d'Argent (AgCl).

Calcul:

$$\text{mg /L} = V(\text{AgNO}_3) * 5 * 35,5$$



Photo 2 : Dosage des chlorures (labo du ORMVAH)

➤ Les bicarbonates

Le dosage des bicarbonates se fait par acidimétrie à l'aide d'une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 à 0.02N.

Dans le premier titrage : L'indicateur coloré utilisé est la phénolphtaléine, qui donne une solution incolore donc traduit par l'absence des carbonates.

Dans le deuxième titrage : L'indicateur coloré utilisé est le vert de Bromocrésol qui donne une couleur bleue.

Calcul :

Soient, n (ml) volume d'acide sulfurique versé pour le dosage de carbonates, et N (ml) volume d'acide sulfurique versé dans le dosage de bicarbonates.

S'il n y a pas de carbonates:

$$\text{méq (HCO}_3^-)/L = N \text{ (ml)} * 0,02 * 1000 * 0,1 = N \text{ (ml)} * 2 * 61 \text{ (mg/L)}$$

➤ Le calcium

Il se dose par complexométrie dans un milieu alcalin à pH = 10 en présence de la soude (NaOH). Nous titrons par l'acide éthylène diamine tétra-acétique (E.D.T.A.), avec le murexide comme indicateur coloré (violet).

Calcul :

Soit n (ml) le volume d'EDTA ajouté (0,02N)

$$\text{méq (Ca}^{2+}/L) = n \text{ (ml)} * 0,02 * 0,1 * 1000 = 2n$$

$$\text{mg (Ca}^{2+}/L) = 2n * 20$$



Photo 3: dosage du calcium (labo de ORMVAH)

➤ Le Magnésium

Les ions Mg^{2+} sont dosés par complexométrie (E.D.T.A) après l'ajout de la solution tampon et le NET comme indicateur coloré. Ils sont calculés par la différence de la dureté totale et du Calcium exprimés en méq/l.

Calcul :

Soit N (ml) le volume d'EDTA (0,02N) versé.

$$\text{méq } (Mg^{2+} / l) = ((N-n) * 0,02 / 10) * 1000 = 2(N-n)$$

$$\text{mg } (Mg^{2+} / l) = 2(N-n) * 24$$

➤ Le sodium et le potassium

Le dosage de sodium et de potassium se base sur la méthode de spectrophotométrie à flamme. Son principe se base sur la dissociation des atomes pendant leur passage dans la flamme, et qui émettent de l'énergie à leur excitation. Chaque élément va émettre une longueur d'onde bien précise qui sera détectée par des filtres optiques de chaque élément. Le principe consiste à réaliser une courbe d'étalonnage de l'élément à doser avec des concentrations connues, puis évaporer dans la flamme du photomètre l'eau à analyser et déterminer la teneur du Na^+ ou K^+ en connaissant la longueur d'onde d'absorption de chacun d'eux.

Calcul :

$$\text{mg Na}^+ \text{ par litre} = (\text{meq Na}^+ / \text{litre} * 23) / 2$$

$$\text{mg K}^+ \text{ par litre} = \text{meq K}^+ / \text{litre} * 39$$

➤ Les sulfates

Après l'ébullition et en présence des chlorures de baryum (BaCl_2), les ions SO_4^{2-} se titrent par un complexe d'acide éthylène diamine tétra-acétique (E.D.T.A).

Calcul :

Soient : N ml de complexes (E.D.T.A) utilisés pour complexer (Ca + Mg).

V ml utilisés pour complexer Ca + Mg + Ba en excès + Mg ajouté.

t ml utilisés pour complexer Ba et Mg.

$$\text{meq SO}_4 \text{ par litre} = ((t + N) - v) * 2$$

$$\text{mg SO}_4 \text{ par litre} = 2 * (t + N) - v * 48$$

I-3-2: Méthodes d'analyses des échantillons du sol

Prétraitement du sol : après échantillonnage des sols on les passe dans un tamis de 2mm pour enlever les particules grossières et les racines des plantes.

a) Potentiel hydrogène (pH)

Mesure l'activité en ions H_3O^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14.

b) Calcaire totale

Le calcaire est décomposé par HCL en donnant du CO_2 . La mesure de la quantité de CO_2 libérée est réalisée à pression constante et volume variable au moyen du calcimètre de Bernard.

Mode opératoire : peser 1g de terre au centigramme près et l'introduire dans le vase à réaction. Humecter l'échantillon avec un peu d'eau, remplir le tube à hémolyse avec HCL introduire avec précaution dans le vase à réaction, puis fermer la vase avec le bouchon et agité.

Taux du calcaire	< 1 %	1 à 5 %	5 à 15 %	15 à 30 %	30 à 50 %	> 50 %
appréciation	Non calcaire	Peu calcaire	Modérément calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire	Excessivement calcaire

Tableau 7 : Normes d'interprétation du taux du calcaire du sol

Classifications du sol selon (AUBERT)

c) Matière organiques (MO)

La matière organique est oxydée par le bichromate de potassium en milieu acide.

Mode opératoire :

Dans un erlenmeyer de 500 ml on met : 1g (pesées au centigramme) de terre, 10ml de bichromate de potassium (K_2CrON) mesurés avec précision et 20 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré (mesurés avec une éprouvette) Agiter 30 secondes et laisser reposer. Ajouter ensuite 200ml de H_2O et laisser décanter pendant 20 min.

Dosage

- Prélever 25 ml de la suspension mise à décanter
- 10ml de H₃PO₄ concentré
- Quelques gouttes de diphénylamine sulfonate de Ba
- Titrer avec une solution de Sel de Mohr N/2 (FeSO₄.(NH₄)₂SO₄) jusqu'au virage du bleu-violet au vert clair.

d) Le phosphore assimilable

Le phosphore joue un rôle important dans la plupart des activités biochimiques complexes de la plante et entre dans la composition organique permanente des tissus. Il est à ce titre un constituant essentiel des végétaux.

Mode opératoire :

Peser 5g de la terre tamisée à 2 mm dans un flacon d'agitation, on lui ajoute 100 ml de solution de Bicarbonate de sodium (NaHCO₃⁻) et environ une cuillère de charbon actif, et on les met dans l'agitateur pendant 30 min.

Après filtration des solutions à travers le papier filtre Wattman, on prélève 1 ml de solution, on lui ajoute 8 ml de l'eau distillée et 1 ml d'acide ascorbique. On fait la lecture sur place dans un Photomètre.



Photos 4:lecture de la DO

e) Le potassium

Il joue un rôle primordial dans l'absorption des cations, dans l'accumulation des hydrates des protéines, le maintien de la turgescence de la cellule et la régulation de l'économie en eau de la plante.

Mode opératoire :

Peser 5g de la terre tamisée à 2 mm dans un flacon d'agitation, on lui ajoute 50 ml d'Acétate d'Ammonium et on l'agite pendant 2 h. Après filtration des solutions, on fait la lecture dans un spectromètre à flamme.

II: Présentation des résultats et interprétations

II-3 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées

L'évaluation de la pollution d'une eau usée se fait d'après la détermination d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques, ces caractéristiques permettent d'apprécier sa qualité. La variation des paramètres majeurs et globaux des eaux usées brutes de Tamellalt est représentée dans le tableau ci dessous:

		P1	P2	P3	P4
T en °C		24	22	20	20
pH		7	7,77	7,8	7,9
Conductivité	μS/cm	2840	2970	2760	2870
	mS/cm	2.84	2,69	2,5	2,6
Sel soluble mg/l		2008	1902	1768	1839
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	656,7	621.2	532.5	585.7
	még/l	19	18	15	17
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	mg/l	488	427	793	805.2
	még/l	8	7	13	13.2
Calcium (Ca ⁺⁺)	mg/l	120	148	140	128
	még/l	6	7.40	7	6.40
Magnesium (Mg ²⁺)	mg/l	31.4	36.3	36.3	41.1
	még/l	2.58	2.98	2.98	3.4
Sulfates (SO ₄ ⁻²)	mg/l	52.8	62.4	14.4	43.2
	még/l	1.1	1.3	0.3	0.9
Sodium (Na ⁺)	mg/l	95.1	70.9	78.1	68.5
	még/l	4.1	3.1	3.3	2.9
Potassium (K ⁺)	mg/l	95.2	103.5	57.4	106.6
	még/l	2.4	2.6	1.4	2.7
DBO5 mg d'oxygène /l		620	513	450	346
DCO mg d'oxygène/l		1395	1026	886	653
MES mg/l		1426	324	128	108
O2 dissous mg/l		0,08	0,11	0,61	1,76

Tableau 8 : Résultats des paramètres globaux et majeurs des eaux usées de Tamellalt (mai 2013)

II-2. : Discussions des résultats

➤ Température

La température enregistrée à la sortie du rejet est de **24°C** et ne dépasse pas 35°C, considérée comme la valeur limite des rejets directs dans le milieu récepteur selon le Comité Normes et Standards du Ministère de l'Environnement du Maroc (1994). On remarque aussi que la température des eaux usées diminue de quelques degrés le long du parcours de ces rejets, cette variation de la température est dite à l'échange de la chaleur avec le milieu externe.

➤ pH

La valeur du pH enregistrée au niveau du rejet est de **7**, elle est presque similaire à celle enregistrée dans les eaux usées de la ville de Kenitra et de Mechraa Belksiri (Oulkheir, 2002 ; El Guamri et Belghyti, 2006). Cette valeur est acceptable selon les normes marocaines de qualité des eaux destinées à l'irrigation. Notons aussi que les valeurs du pH restent relativement neutres le long du trajet parcouru par les eaux usées.

➤ Conductivité électrique

La valeur de la conductivité électrique enregistrée au niveau du rejet est de **2.84** mS/cm et ne dépasse pas également les limites des normes marocaines de qualité des eaux destinées à l'irrigation (12 mS/cm)(Annexe2). A l'échelle des quatre stations cette valeur varie de **2.84** mS/cm à **2.5** mS/cm. La diminution de la conductivité peut être liée à la diminution de la température et/ou à la consommation des nutriments par les plantes qui poussent en bordure de l'Oued Zahran.

➤ Matière en suspension

La concentration de la MES enregistrée au niveau du rejet est de l'ordre de **1426** mg/l. Cette valeur est largement supérieure aux normes marocaines de rejet indirect (600 mg/l), par contre elle est légèrement inférieure aux normes des eaux destinées à l'irrigation (2000 mg/l). Nos résultats, sont supérieurs à ceux trouvés à Marrakech (194,34 mg/l) et à Mechraa Belksiri (419,17 mg/l) (Guamri et Belghyti, 2006).

Les valeurs de la concentration en MES diminuent fortement dans les autres stations. Cette diminution peut être due à la décantation des particules agglomérées le long du canal à ciel ouvert, ou à l'absorption bactérienne.

➤ DCO et DBO5

La valeur de la DCO enregistrée au niveau des eaux usées du rejet direct est de l'ordre de **1395** mg/l, donc cette valeur est très supérieure à 1000 mg/L considérée comme valeur limite du rejet indirect. Par ailleurs, ces eaux jetées dans le milieu naturel sont de très mauvaises qualités (> 80mg/l) selon les normes de qualité des eaux de surface.

L'analyse des résultats de la DBO5, montre que la concentration de l'eau usée brute au niveau du rejet direct de Tamellalt est de l'ordre de 620 mg/l. Ce résultat est un peu proche de celui trouvé à El jadida (705,3 mg/l) (Salama Y. al.2012), par contre supérieur à celui trouvé à Mechraa Belksiri (282,5mg/l) (Guamri et Belghyti, 2006).

Nous remarquons que les valeurs de la DBO5 et la DCO5 continuent à diminuer d'une station à une, cela signifie donc que la concentration de la matière organique contenue dans les eaux usées diminue au fur et à mesure du déplacement de ces eaux dans le milieu naturelle.

➤ Oxygène dissous

L'analyse des résultats obtenus de l'oxygène dissous montre que les valeurs extrêmes minimales et maximales enregistrées sont de **0.08** mg/L au niveau du rejet et de **1.76** mg/L à l'aval du champ. L'oxygène dissous a servi pour la dégradation d'une partie des matières organiques contenue dans les eaux usées d'où les faibles valeurs à la sortie de rejet. Lors de la l'écoulement dans le milieu naturel, les valeurs de O2 dissous augmentent en raison de la diminution de la température, contact de la surface d'eau avec l'atmosphère, et la diminution de la charge en suspension.

➤ Evaluation de la pollution organique des eaux usées de la zone d'étude Tamellalt

Pour donner une image sur le degré de pollution d'une eau usée, le calcul des rapports DBO5/DCO, DCO/DBO5 et l'estimation de la matière oxydable (MO) présentent un grand intérêt.

Le calcul de ces rapports et l'estimation de la Matière Oxydable pour chaque station d'eau usée étudiée fait ressortir les valeurs regroupées dans le tableau suivant :

paramètres	P1	P2	P3	P4
DCO/DBO5	2.25	2	1.97	1.89
DBO5/DCO	0.45	0.5	0.51	0.53
MO	878.3	684	595.3	448.33

Tableau 9: Coefficients des eaux usées du centre Tamellalt

➤ **coefficient de biodégradabilité (DCO /DBO5)**

Les eaux usées peuvent être classées en deux catégories: biodégradables et non-biodégradables. Le calcul du coefficient de biodégradabilité des effluents des eaux brutes permet de définir la biodégradabilité de l'effluent, il est calculé par le rapport :

$$K=DCO/DBO5$$

Et il dépend de la nature et de l'origine des eaux usées qui peuvent être domestiques ou industrielles (Metahri M.S, 2012).

- $K < 1,5$: les matières oxydables sont essentiellement des matières fortement biodégradables.
- $1,5 < K < 2,5$: les matières oxydables sont moyennement biodégradables
- $2,5 < K < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables
- $K > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables

D'après les résultats mentionnés dans le tableau en a $k=2.25$, donc les eaux usées du centre Tamellalt sont moyennement biodégradables et renferment une charge polluante très élevées de l'ordre de 878.3 mg/l.

➤ **Coefficient DBO5/DCO**

Pour caractériser une pollution industrielle, on considère souvent le rapport DBO5/DCO. Dans notre étude, ce rapport est faible, il est de l'ordre de 0,45 (Tableau 9). Donc, on peut conclure qu'il n'y a pas de pollution industrielle dans les eaux usées de ce rejet.

Il existe une corrélation positive, hautement significative ($R^2=0,984$) entre la DBO5 et le DCO des eaux usées du centre de Tamellalt.

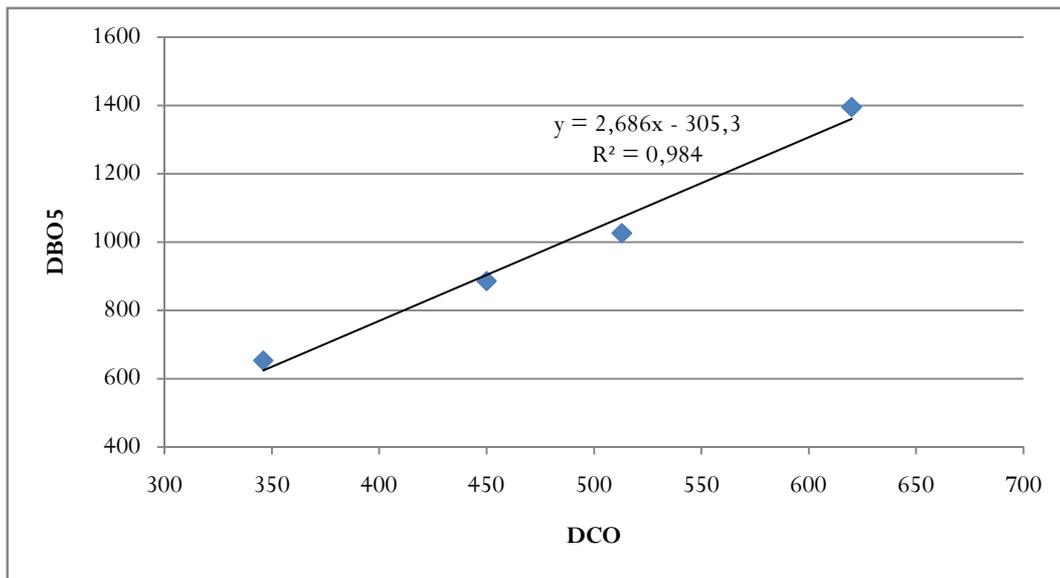


Fig.10 : Corrélation entre la DBO5 et la DCO des eaux usées du centre Tamellalt

Par ailleurs, la corrélation est aussi significative entre l'oxygène dissous et la DBO5 (Fig. 11) et montre un $R^2=0,821$. Cette corrélation négative montre que plus les eaux coulent plus leurs DBO5 diminuent et plus elles s'enrichissent en O2 dissous.

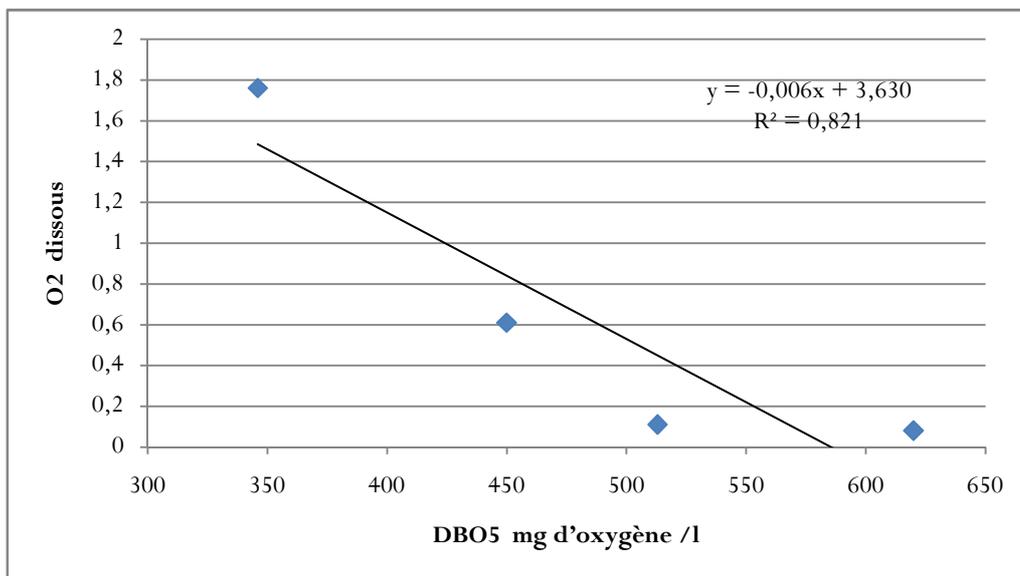


Fig.11: Corrélation entre la DBO5 et l'oxygène dissous des eaux usées du centre Tamellalt

Les éléments majeurs

Les résultats des analyses des cations montrent que seuls les chlorures dépassent les normes des eaux destinées à l'irrigation avec une concentration très élevée de 656,7 mg/l ce qui peut causer des dommages pour les plantes.

On constat aussi que la plupart des éléments majeurs en tendance a augmenté en passant de la station P3 à P4, cette variation de la concentration, est due au lessivage des minéraux argileux qui constitue le sol puisqu'il s'agit d'un sol argileux limoneuse sableux.

argile	limons fin	limons grossier	sable fine	sable grossière
36,1	28,1	5,7	21	9

Tableau 10 : Structure du sol dans la zone d'étude (étude SCET, Maroc 1976)

Faciès chimique

Afin de déterminer le faciès chimique des eaux usées du centre Tamellalt, nous avons utilisé le diagramme de Piper. L'analyse de ce diagrammes (Fig. 12) montre que les eaux usées de Tamellalt présentent un faciès chloruré, sulfaté calcique et magnésien.

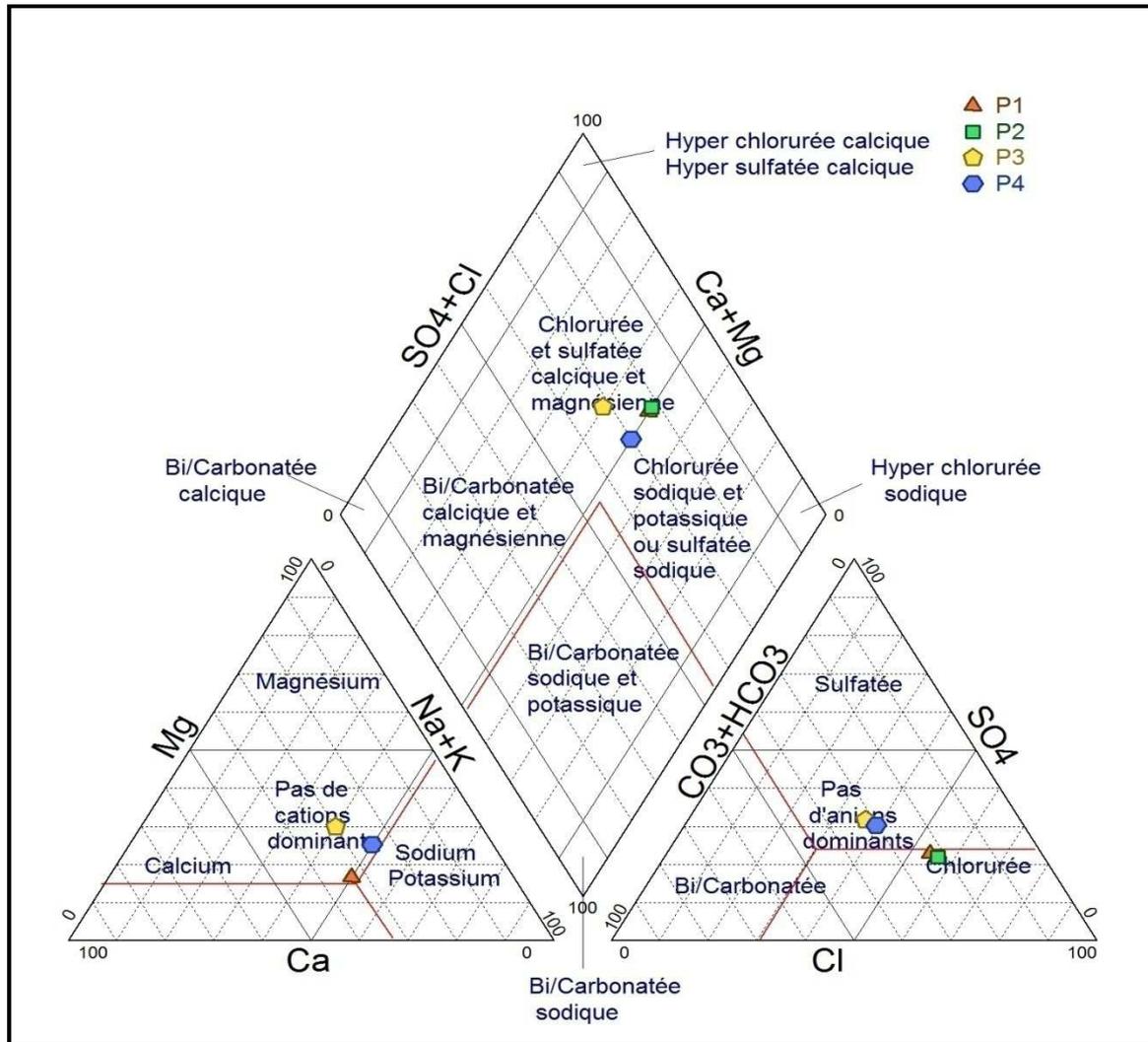


Fig. 12: Représentation des eaux usées de Tamellalt dans le Diagramme de Piper

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau 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 I., 2003-2004).

Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures.

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'absorption du sodium (SAR). Le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés relativement en grande quantité dans l'eau d'irrigation.

L'eau avec un SAR 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 SAR se situe entre 6 et 9, les risques de problème liés à 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.

$$\text{SAR} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg}) / 2]^{1/2}$$

Dans notre étude le SAR est compris entre 0 et 6 pour les quatre prélèvements, le SAR du rejet est très proche de la valeur limite donc son utilisation dans l'irrigation à long terme engendra des problèmes de d'accumulation de sodium.

	P1	P2	P3	P4
SAR	5,6	3,8	4,3	3,8

Tableau 11 : résultat de calcul du SAR des différents prélèvements

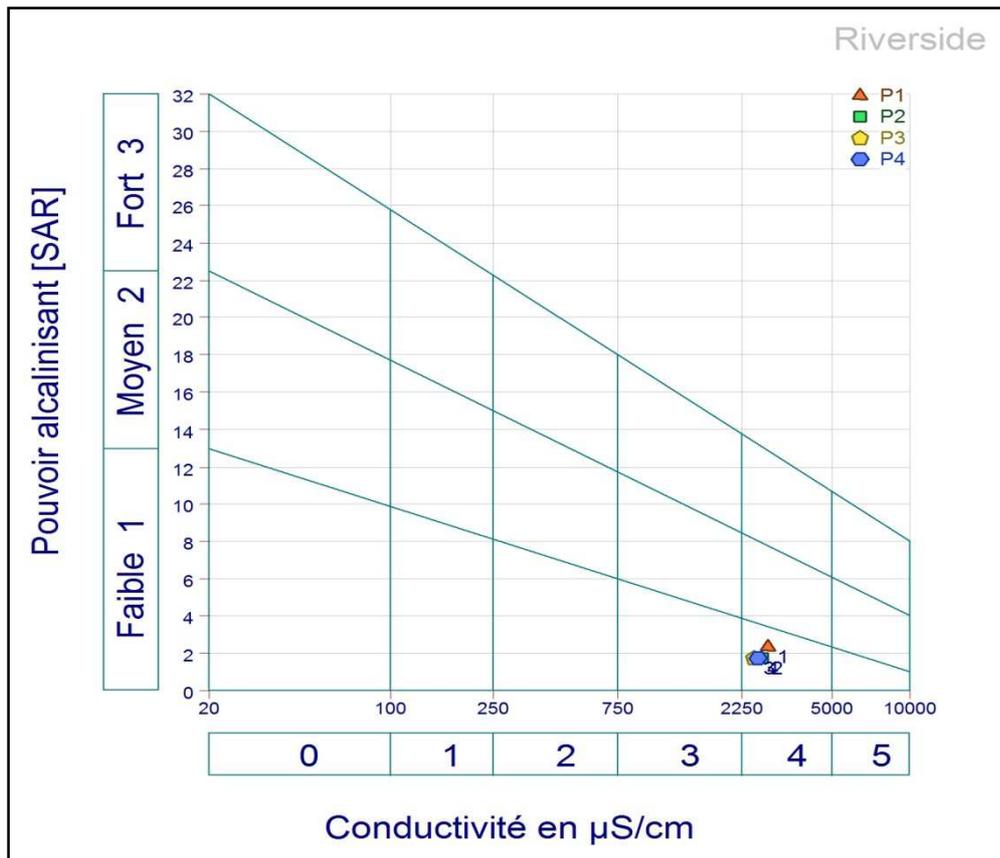


Fig.13 : Qualité des eaux usées du centre Tamellalt d’après le diagramme de Riverside

D’après le diagramme de Riverside, on remarque que les eaux usées de centre Tamellalt se placent dans la classe C4-S1. Ces eaux usées appartiennent à la classe C₄ des conductivités qui est la classe des eaux très fortement salées et il y a donc un grand risque qu’elles provoquent la salinisation des sols irrigués. Par contre ces eaux usées appartiennent à la classe S₁ des eaux excellentes à faibles dangers d’alcalinisation.

Conclusions

Les eaux usées du centre de Tamellalt ont un faciès chloruré, sulfaté calcique et magnésien, et se situent dans la classe C4-S1. Elles renferment une charge polluante très élevées de l’ordre de 878.3 mg/l et sont moyennement biodégradables. C’est un paramètre à prendre en considération lors du choix du mode de traitement des eaux usées du centre.

D'après les analyses physico-chimiques des eaux usées brutes étudiées, nous remarquons que les valeurs de la totalité des paramètres se situent dans la norme marocaine de qualité des eaux destinées à l'irrigation à l'exception des chlorures qui dépassent la limite de la norme. Par contre les paramètres de pollution organiques (DBO5, DCO, MES) situent ces eaux dans la tranche qui dépassent les normes du rejet indirect. Aussi la plupart des paramètres ont tendance à diminuer en fonction de la distance parcourus, nous pouvons dire qu'il s'agit d'une épuration naturelle.

II-3 : Résultats des analyses du sol

Sur le Tableau 11 sont représentées les analyses réalisées sur les niveaux de sol échantillonnés.

	Les horizons	prof en cm	Texture	Calcaire T en %	Matière Org %.	pH	CE à 25 mS/cm	Sels en g/kg	P ₂ O ₅ g/kg	K ₂ O g/kg
Sol irrigué par les eaux usées	h ₀	0-20	Als	4,5	2,08	8,2	0,32	1,14	19.07	20.32
	h ₁	20-40	Als	4,5	0,88	8,6	0,23	0,82	8.86	14.58
	h ₂	>40	Als	8,5	0,96	8,75	0,20	0,72	6.03	15.05
Sol non irrigué par les eaux usées	h ₀	0-20	Als	4,3	1,121	8,4	0,19	0,66	1.8	11.04
	h ₁	20-40	Als	4,5	0,88	8,6	0,47	1,67	6.12	13.39
	h ₂	>40	AL	4,5	0,96	8,77	0,77	2,74	2.18	1.25

Tableau 12 : Résultats des analyses des échantillons du sol

II-4. : Discussion

➤ pH du sol

A l'échelle de la parcelle irriguée par les eaux usées, l'horizon h_0 (0-20cm) présente un pH de **8,2**, le niveau intermédiaire h_1 (20-40 cm) paraît plus alcalin avec un pH de **8,6** et le troisième niveau h_2 (>40cm) a également un pH alcalin de **8,75** comparable à celui de h_1 .

Apparemment, l'irrigation par les eaux usées n'a pas modifié le pH du sol puisque les valeurs du pH dans la parcelle irriguée par les EU sont presque identiques à celles du sol non irrigué (témoin) par ces eaux.

➤ Conductivité électrique et salinisation

Dans notre étude nous avons mesuré la conductivité du sol afin de montrer l'effet d'utilisation des eaux usées en irrigation. En effet ces valeurs nous renseignent sur les quantités du sel dans le sol. La salinisation d'un sol est l'accumulation excessive de sels solubles (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^-)) dans la partie superficielle des sols .

L'augmentation de la salinité des sols peut avoir des conséquences néfastes sur la production végétale, et sur la baisse de la fertilité des sols.

A Tamellalt, l'évolution de la conductivité électrique dans les horizons du sol irriguée par les eaux usées est inverse à l'évolution de la conductivité du sol témoin. Nous remarquons que les valeurs de la conductivité électrique de la parcelle irriguée par les EU varient de **0,32** mS/cm (horizon superficiel h_0) à **0,20** mS/cm (horizon inférieur h_2). Alors que pour la parcelle non irriguée par les EU la conductivité varie de **0,66** mS/cm (horizon superficiel h_0) à **2,74** mS/cm (horizon inférieur h_2). Ces résultats sont en fait concordance avec les teneurs en sels dosés dans les horizons des deux parcelles. Il y a en effet une légère accumulation de sels dans le niveau superficiel de la parcelle irriguée par les EU (**1,14** g/Kg) comparativement à l'horizon inférieur h_2 (**0,72** g/Kg) puisque l'horizon superficiel est bien irrigué. Par contre dans la parcelle non irriguée par les EU, les sels s'accumulent dans son horizon profond (**2,74g/kg**)

➤ Calcaire total

La teneur en calcaire total dans l'horizon profond de la parcelle irriguée par les EU est supérieure à celle de la parcelle témoin. On peut suggérer que l'irrigation par les EU a entraîné le lessivage des horizons superficiels et l'accumulation du calcaire dans l'horizon profond avec une valeur de **8,50%** qui est modérément calcaire. Dans la parcelle non irriguée par les EU, les teneurs en carbonates restent comparables pour les trois horizons de la parcelle. A l'échelle de cette parcelle on a une homogénéité en taux de calcaire entre les trois niveaux.

➤ Matière organique

Les teneurs les plus élevées en MO ont été trouvées dans les niveaux superficiels avec un taux maximal observé dans la parcelle irriguée par les eaux usées (de l'ordre de **2.08 %**). Ces valeurs sont le résultat direct de l'irrigation par les EU riches en matière organique et en matière en suspension. On remarque également que les teneurs en MO du sol diminuent dans les horizons inférieurs. Cependant, si ces apports en MO permettent l'augmentation des réserves du sol agricole en carbone organique, ils ont l'inconvénient d'altérer sa porosité et donc son hydrodynamisme. Le développement d'algues dans les couches superficielles du sol provoque un colmatage biologique.

➤ fertilité du sol

Concernant les éléments fertilisant du sol : le Potassium et le Phosphore assimilables, les valeurs maximales sont enregistrées dans la parcelle irriguée par les eaux usées, avec une valeur maximale du phosphore de **19.07 g/kg** et de **20.32 g/kg** comme valeur maximale du potassium (horizon superficiel h₀). Ces teneurs en P et K diminuent dans les horizons inférieurs de la parcelle irriguées par les EU. Dans la parcelle témoin, les teneurs en P sont moins importantes (entre 1 et **6.2 g/kg**) alors que l'enrichissement des niveaux superficiels en K (**11 g/kg**) peut être dû à l'utilisation d'un fertilisant. L'économie de fertilisants est l'un des avantages de l'irrigation par les eaux usées, mais elle a l'inconvénient de provoquer le déséquilibre nutritionnel des plantes.

Conclusions

Les analyses du sol de la région d'étude montrent que l'irrigation avec les eaux usées brutes présente des effets positifs sur la richesse du sol en éléments fertilisants (potassium, phosphore et la matière organique) ainsi que des effets négatifs à savoir :

- ✓ Salinisation des horizons de surface de sol.
- ✓ augmentation de l'alcalinité des horizons profonds du sol.

III: L'impact sanitaire de la réutilisation des eaux usées

Les eaux usées contiennent de nombreuses substances présentant des dangers pour la santé humaine. Ce sont les micro-organismes pathogènes (virus, bactéries et parasites) et les micropolluants (métaux lourds et micropolluants organiques).

Le degré de ce danger dépend à la fois des concentrations en contaminants dans ces eaux, et du degré d'exposition des populations. Ce degré d'exposition dépend de l'usage qui sera fait de l'eau. Celui-ci pouvant être agricole, industriel ou urbain.

Les eaux usées peuvent servir à irriguer les cultures. Dans ce cas, il peut y avoir une contamination par ingestion :

- de micro-organismes éventuellement présents à la surface des plantes consommées
- de métaux lourds, certains d'entre eux s'accumulant dans les plantes, et pouvant atteindre des niveaux préjudiciables à la santé.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Cette étude sur les eaux usées du centre de Tamellalt et sur le sol irriguée par ces eaux, revêt un intérêt double :

D'une part elle a permis de dégager un ensemble de caractéristiques physico-chimiques qui pourront orienter le choix de la filière d'assainissement adaptée, et d'autre part, elle a montré les impacts positifs et négatifs sur le sol irrigué par ces eaux usées.

Lors du choix du mode de traitement des eaux usées du centre, il faut prendre en considération que les eaux usées de Tamellalt renferment une charge polluante très élevées de l'ordre de 878.3 mg/l et sont moyennement biodégradables mais ne présentent pas de pollution industrielle.

Les paramètres de pollution organiques (DBO5, DCO, MES) situent ces eaux dans la tranche qui dépassent les normes du rejet indirect. Ces résultats montrent la nécessité d'un traitement préalable de ces eaux usées pour améliorer leur qualité selon les normes du rejet indirect dans le milieu naturel. Cependant, la plupart des paramètres ont tendance à s'améliorer au cours de l'écoulement, il s'agit d'une épuration naturelle.

Les valeurs des paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes étudiées les situent dans la norme marocaine de qualité des eaux destinées à l'irrigation à l'exception des chlorures qui dépassent la limite de la norme. En effet Les eaux usées du centre Tamellalt ont un faciès chloruré, sulfaté calcique et magnésien. Leur conductivité montre que ce sont des eaux très fortement salées et peuvent provoquer la salinisation des sols irrigués, par contre elles présentent un faible danger d'alcalinisation.

Les analyses du sol des parcelles étudiées montrent que l'irrigation avec les eaux usées brutes présente des effets positifs sur la richesse du sol en éléments fertilisants (potassium, phosphore et matière organique) ainsi que des effets négatifs, à savoir la salinisation des horizons de surface de sol et l'augmentation de l'alcalinité des horizons inférieurs.

***FICHE TECHNIQUE SUR LES
PARCELLES IRRIGUEES PAR LES
EAUX USEES A TAMELLALT***

Pour donner une idée globale sur la réutilisation des eaux usées en agriculture dans la zone de Tamellalt, nous avons élaboré la fiche technique suivante :

➤ Date de réutilisation

L'irrigation par les eaux usées dans la région d'étude date de 2001.

➤ Superficie irriguée

La superficie irriguée par les eaux usées se situe en dehors du périmètre urbain et à 4 km du rejet, elle est environ 8 hectares (4 parcelles)

➤ Typologie des eaux d'irrigation

L'étude effectuée au niveau de notre site d'étude, a montré que l'utilisation des eaux d'irrigation dans l'agriculture se fait par une seule modalité : une utilisation directe des eaux usées brutes. En effet, les 4 agriculteurs interviewés, ont tous déclaré qu'ils utilisent les eaux usées brutes non mélangées ni avec les eaux des puits ni avec celles de la seguia.

➤ Statut foncier

Le type de statut foncier connu dans le périmètre de réutilisation des eaux usées de TAMELLALT est le Melk, qui désigne la propriété privée.

➤ Type des cultures irriguées par les eaux usées

Les types de cultures fourragères et céréalières irriguées par les eaux usées sont : luzerne et l'orge est généralisée dans la quasi-totalité des exploitations : 37,5 %, le Maïs et la fèvevielle viennent en deuxième position avec 12.5 % des exploitations.

Type des cultures	Superficie irrigué en ha	Superficie irrigué en %
Maïs	1	12.5
Luzerne	3	37.5
L'Orge	3	37.5
Fèverole	1	12.5
Superficie total	8	100

Tab.13 : Proportion de chaque type de cultures irrigué par les eaux usées



Maïs



Luzerne



Orge



Fèverole

Photos 5 : les cultures irriguées par les eaux usées dans le centre Tamellalt

➤ Distribution des eaux usées entre les agriculteurs

La distribution des eaux usées entre les quatre agriculteurs se fait suivant un calendrier précis. Chaque agriculteur a droit à une durée d'irrigation de 24/24h avec une périodicité de quatre jours. La vocation de la zone essentiellement agricole avec le développement de cultures céréalières utilisées comme fourrage pour l'alimentation du bétail. Les céréales entrent aussi dans l'alimentation de la population humaine locale.

Références bibliographiques

Ambroggi R. et Thuile G., 1952 : Les plaines et les plateaux du domaine marginal de l'Atlas : Haouz de Marrakech. Hydrogéologie du Maroc. Notes mém. N° serv. Géol. Maroc.

Assiri A., 2001, Impact des eaux usées déversées par Oued Sebou sur le littoral de l'océan atlantique : Évaluation de la contamination par les métaux toxiques. Mémoire de DESA, INRH/Université Mohammed V, faculté des sciences, Rabat.

Bonté S.L., Pons M., Potier O., Rocklin P., 2008, Relation between Conductivity and Ion Content in Urban Wastewater" Journal of Water Science, 21(4): 429- 438.

Couture I., 2003-2004 : Analyse d'eau pour fin d'irrigation,Mapaq Montérégie-Est.

El Guamri Y., et Belghyti D., 2006. Étude de la qualité physico-chimique des eaux usées brutes de la commune urbaine de Saknia, rejetées dans le lac Fouarat (Kenitra, Maroc). Journal Africain des Sciences de l'Environnement, N° 1, Décembre.

EL Khokh K., Kbibch A., EL Kharrim K., Belghyt D., 2012Evaluation de la charge polluante des eaux usées de la ville de Mechraa Belksire (Gharab,Maroc), ScienceLib Editions Mersenne : Volume 4 , N ° 121104 ISSN 2111-4706,p 4-10.

Jackson (1965) : Soil chemical d'analysis.

Jemali A, Kefati A., 2002, Réutilisation des eaux usées au Maroc forum sur la gestion de la demande en eau. Mars 2002.

Metahri M.S, 2012 : élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes.cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou, p 6.

Oulkheir S., 2002. Caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des eaux usées de la ville de Kenitra. Mémoire de 3ème cycle. Faculté des Sciences, Kenitra, 79p.

Rodier J. (1984) : L'analyse de l'eau, Chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie, Edition Dunod.

Thomas O., 1985. « Métrologie des eaux résiduaire ». Ed. Cebedoc / Tec. et Doc. 11, Liège - 75384. Paris.

ONEP, (2011). Etude d'assainissement liquide du centre Tamellalt, Mission II, p 67-74.

ONEP, (2009). Etude d'assainissement liquide du centre Tamellalt, Mission I, p 40-42.

Ministère de l'Environnement du Maroc, (2002). « Normes marocaines, Bulletin officiel du Maroc », N° 5062 du 30 ramadan 1423. Rabat.

<http://www.erudit.org/revue/rseau/2009/v22/n1/019820ar.html> (page consulté le 15 Mai)

Liste des figures :

Fig. 1 : Situation géographique du centre Tamellalt (CNER JAN2010)

Fig.2 : L'emplacement de la zone d'étude dans la région de l'Haouz

Fig.3 : coupe géologique schématique de la plaine du Haouz aux environs Tamellalt

Fig.4 : précipitations mensuel moyenne en mm durant les années 2009-2012

Fig.5 : Répartition mensuel de la température durant les années 2008-2012

Fig.6 : évolution de la demande d'AEP du centre urbains Tamellalt

Fig.7 : Position des points de prélèvements des eaux usées et du sol échantillonnés dans la plaine de Tamellalt

Fig.8 : Protocole expérimentale de la mesure de la MES

Fig.9 : Protocole expérimentale de la mesure de la DCO

Fig.10 : Corrélation établie entre la DBO5 et la DCO des eaux usées du centre Tamellalt

Fig.11: Corrélation établie entre la DBO5 et l'oxygène dissous des eaux usées du centre Tamellalt

Fig. 12: Diagramme de Piper des eaux échantillonnés de la nappe de Saada.

Fig.13 : qualité de l'eau usées de centre Tamellalt d'après le diagramme de Riverside

Liste des tableaux :

Tab.1 : évolution de la population de Tamellalt depuis les années 1994

Tab.2 : la demande en alimentation en eau potable dans le centre Tamellalt

Tab.3: Linéarité et diamètre du réseau d'assainissement actuel (ONEP)

Tab.4 : les rejets quotidiens de laiterie Bahja

Tab.5 : les coordonnées géographiques des prélèvements

Tab.6 : prélèvements du sol selon les horizons

Tab.7 : Normes d'interprétation du taux du calcaire du sol

Tab.8: Résultats des paramètres globaux et majeurs des eaux usées de Tamellalt (mai 2013)

Tab. 9: Coefficients des eaux usées du centre Tamellat

Tab. 10 : Structure du sol dans la zone d'étude (étude SCET, Maroc 1976)

Tab. 11: résultats de calcul du SAR de différents prélèvements

Tab.12: résultats d'analyse du sol

Tab.13 : Proportion des chaque type de cultures irrigué par les eaux usées

Liste des photos :

Photo 1:dispositif expérimentale de mesure de la DBO5

Photo 2: Dosage des chlorures (labo du ORMVAH)

Photo3: dosage du calcium (ORMVAH)

Photos 4 : lecteur de la DO

Photos 5 : les cultures irriguées par les eaux usées brutes dans le centre Tamellalt

liste d'annexes

- Annexe n° 1 :

Tableau des Précipitations mensuel dans la région de Tamellalt durant les années 2008-2012.

Tableau de la température moyenne mensuel dans la région de Tamellalt durant les années.

2008-2012

- Annexe n° 2 :

Tableau des Valeurs limites pour le rejet indirect des eaux usées et les eaux destinées à l'irrigation des cultures.

- Annexe n° 3 :

Photos du rejet direct des eaux usées dans le milieu naturel

Photos de distribution des eaux usées dans les champs

Annexe n°1

Mois/année	2012			2011			2010			2009			2008		
	Min	Max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy
Janvier	1,55	18,4	9,99	4,6	20,1	12,4	6,1	18	12	3,7	15	9,17	4,95	19,4	12
Février	0,63	17,2	8,93	3,8	19,6	11,7	9,2	19	14	5,3	18	11,8	8,62	21	15
Mars	6,82	24,8	15,8	10	20,7	15,3	9,95	22	16	8,9	22	15,5	8,08	22,9	15
Avril	8,1	20,8	14,5	13	26,4	19,8	11,9	27	19	8,4	24	16,1	11,2	26,6	19
Mai	14,5	31,9	23,2	15	28,2	21,6	12,7	28	20	13	30	21,5	12	26	19
Juin	16,4	35,3	25,8	18	35,1	26,7	15,7	30,4	23	17	33	25,3	16,6	33,7	25
juillet	18,6	38,8	28,7	19	35,8	27,3	21,6	37,6	30	20	39	29,3	19,5	36,3	28
Aout	21,5	39,4	30,5	19	36,7	27,9	22,7	38,7	31	20	36	28	19,9	36,8	28
Septembre	16,5	32,2	24,4	16	32,6	24,1	19,2	33,6	26	17	28	22,7	16,9	29	23
Octobre	13,4	27,4	20,4	13	28,8	20,9	14,5	26,1	20	15	30	22,7	12,8	23,5	18
Novembre	9,71	21,5	15,6	8,2	20,2	14,2	9,35	21,8	16	10	25	17,7	6,74	19	13
Décembre	3,11	19	11,1	2,7	18,4	10,5	8,48	21,8	15	7,7	20	14	5,05	16,3	11

Tableau de Précipitations mensuel dans la région de Tamellalt durant les années 2008-2012

Mois/année	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Janvier	19,37	14,6	18,02	20,11	18,42	18,104
Février	21,02	18,22	19,55	19,61	17,22	19,124
Mars	22,89	22,13	21,96	20,65	24,83	22,492
Avril	26,57	23,88	27	26,37	20,81	24,926
Mai	25,98	29,9	28,02	28,18	31,94	28,804
Juin	33,65	33,42	30,4	35,08	35,25	33,56
juillet	36,32	38,58	37,55	35,77	38,77	37,398
Aout	36,84	36,48	38,65	36,67	39,42	37,612
Septembre	28,98	28,47	33,08	32,61	32,23	31,074
Octobre	23,5	30,16	26,13	28,84	27,41	27,208
Novembre	18,95	10,38	21,8	20,23	21,49	18,57
Décembre	16,34	20,86	21,81	18,27	19,03	19,262

Tableau de la température moyenne mensuel dans la région de Tamellalt durant les années

2008-2012

Annexe n°2

Paramètres	Valeurs du rejet indirect	Eau destiné a l'irrigation
Température	35 °C	35 °C
pH	6,5-8,5	6,5-8,4
Conductivité électrique (mS/cm)	8,7	12
MES (mg/L)	600	2000
Sulfates (mg/L)	400	250
Chlorures (mg/L)	—	350
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	—	518
Salinité (NaCl par mg/	—	7680
Ca ²⁺ (mg/L)	—	9
Mg ²⁺ (mg/L)	—	—
Phosphore total (mg/L)	10	—
DCO (mg d'O ₂ /L)	1000	500
DBO ₅ (mg d'O ₂ /L)	500	—

Tableau des Valeurs limites pour le rejet indirect des eaux usées et les eaux destinées à l'irrigation des cultures.

Annexe n° 3



Photos du rejet direct des eaux usées dans le milieu naturel



Photos de distribution des eaux usées dans les champs