



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ibn Khaldoun –Tiaret–
Faculté Sciences de la Nature et de la Vie
Département Nutrition et Technologie Agro-Alimentaire

Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master Professional
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences agronomiques
Spécialité : Agriculture de précision

Présenté par :

- FELLAH BOUZIANE
- REGGAD ABDELRAHMAN

Thème

Qualité des cultures et des eaux d'irrigation des terres agricoles de
la région de Dahmouni

Soutenu publiquement le

Jury :

-Président : Dr. AZZAOUI E M
-Encadrant : Dr. SOUDANI L
-Co-Encadrant : Dr. CHAFAA M
-Examinant : Dr. SAFA O

Grade :

M.C.A
M.C.A
M.C.A
M.C.A

Année universitaire : 2022-2023



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



New CURricula in Precision Agriculture using GIS technologies and sensing data (CUPAGIS)

Erasmus+ 597962-EPP-1-2018-1-EE-EPPKA2-CBHE-JP

Remerciement

Avant tout, nous souhaitons exprimer notre profonde reconnaissance envers "**ALLAH**" pour nous avoir accordé la foi, le courage et pour nous avoir guidés tout au long de cette entreprise.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers nos parents, frères, sœurs, amis et compagnons qui nous ont apporté un soutien moral, spirituel et financier précieux, ainsi que des conseils avisés.

Nous souhaitons également exprimer notre sincère reconnaissance à notre directeur de recherche, Mdm. **SOUDANI LEILA**, docteur à la Faculté des Sciences Naturelles et de la Vie de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret. Votre soutien continu, vos encouragements et vos conseils précieux ont été une véritable source d'inspiration et de motivation tout au long de cette étude. Votre expérience et votre disponibilité ont enrichi notre travail et nous ont permis d'avancer dans notre réflexion. Nous vous sommes extrêmement reconnaissants pour la confiance que vous nous avez accordée en nous fournissant des informations. Nous tenons également à remercier chaleureusement notre co-encadrante, Mdm. **CHAFAA MERIEME**, pour ses commentaires constructifs et ses suggestions qui ont considérablement amélioré la qualité de notre travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude envers les membres du jury, **M. Azzaoui MOHAMED ESSALAH** et **M. Safa OMAR**, docteurs à la Faculté des Sciences Naturelles et de la Vie de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret, pour le temps précieux qu'ils nous ont consacré en tant que membres du jury.

Un grand merci **M. BOUACHA MOHAMED ISLEM** pour son soutien et son assistance tout au long de ces années d'études. Nous tenons également à remercier Mme **Djemil Saida**, responsable du laboratoire d'agriculture de précision, pour son aide dans notre travail.

Nous exprimons notre gratitude à tous les enseignants de la Faculté des Sciences Naturelles et de la Vie de l'Université Ibn Khaldoun de Tiaret qui nous ont accompagnés tout au long de ces années d'études



Dédicace

Avant tout, nous exprimons notre gratitude envers **Allah** le Tout-Puissant pour nous avoir accordé la force, la santé, la patience et la volonté de mener à bien ce modeste travail.

Je dédie ce travail à celle qui m'a donné sans rien attendre en retour : ma mère.

Depuis ma naissance, elle n'a cessé de me prodiguer de précieux conseils et, sans aucun doute, grâce à leur encouragement et leurs prières dans les moments les plus difficiles de ma scolarité.

Je remercie également mon frère **MOUHAMED LARBI** qui ont toujours été présent dans les moments importants de ma scolarité. Je lui suis très reconnaissant pour lui soutien moral et leurs encouragements.

À mes meilleurs amis **OUSSAMA BENOUDAH** et **FOUAD BERRIMA** et **HICHEM BENDJIMA** et **DAHANE ABDELGHANI** et **ILYES BAKDI** et **MORSLI BOUGHEFDA**, ainsi que mes sœurs respectées **BELFALI MANEL** et **ZIANI SARA** et **CHERIK BOUCHRA** et **ZAANOUN NARIMEN**, vos contributions sont inestimables.

Et à tous mes collègues de la promotion Agriculture de Précision
(2022/2023),

FELLAH BOUZIANE



Dédicace

Avant tout, nous exprimons notre gratitude envers **Allah** le Tout-Puissant pour nous avoir accordé la force, la santé, la patience et la volonté de mener à bien ce Modeste travail.

Je dédie ce travail à celle qui m'a donné sans rien attendre en retour : ma mère.

Depuis ma naissance, elle n'a cessé de me prodiguer de précieux conseils et, sans aucun doute, grâce à leur encouragement et leurs prières dans les moments les plus difficiles de ma scolarité.

Je remercie également mon père qui a sacrifié sa vie pour que je réussisse.

À mon frère **MOUHAMED**, et mes amis **TLIDJI ABDELKADER** et **DAHAN ABDELGHANI** et mes chères sœurs Je leur suis très reconnaissant pour leur soutien moral et leurs encouragements.

Et à tous mes collègues de la promotion Agriculture de Précision
(2022/2023),

REGGAD ABDERREAHMANE....

Liste des abreviations :

- **ANRH** : Agence national des ressources hydraulique
- **AFNOR** : Association Française de la Normalisation.
- **°C** : Degrés Celsius.
- **C** : Carbone de la matière organique ou du CO₂.
- **CE** : Conductivité Électrique.
- **CO** : Carbone Organique.
- **EDTA** : Ethylène Diamine Tétracétique.
- **ETM** : Eléments Traces Métalliques.
- **FAO**: Food and Agriculture Organizations.
- **JORA** : Journal Officiel de la République Algérien.
- **hm³** : Hectomètre cube
- **K** : Potassium.
- **Km** : Kilomètre
- **m**: Mètre
- **m/s** : Mètre par seconde
- **mg/l** : Milligramme par Litre
- **mm** : Millimètre
- **MO** : Matière organique
- **mS/cm** : Millisiemens par Centimètre
- **N** : Azote total
- **N** : Normalité
- **NaCl** : Chlorure de Sodium.
- **P** : Précipitation.
- **P** : Phosphore.
- **pH** : Potentiel d'Hydrogène.
- **T** : Température.
- **V** : Volume.
- **µm**: Micromètre.

Liste des figures :

FIGURE 1: SCHEMA DISTINCTIF D'UNE NAPPE LIBRE OU CAPTIVE (TERCHI, 2014).....	7
FIGURE 2: CLASSIFICATION DES METAUX EN FONCTION DE LEUR DANGEROUSITE ET DE LEUR INTERET AGRONOMIQUE (BAUMONT ET AL., 2004)	17
FIGURE 3: SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE DAHMOUNI.....	24
FIGURE 4: CARTE DU SITE D'ETUDES.....	26
FIGURE 5: HISTOGRAMME DES PRECIPITATIONS DE L'ANNEE 2022 (MASTER WEB 1)	28
FIGURE 6: HISTOGRAMME DE TEMPERATURE DE L'ANNEE 2022 (MASTER WEB 1).....	29
FIGURE 7: HISTOGRAMME DE LA VITESSE DE VENT (MASTER WEB 1).....	30
FIGURE 8: DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE LA REGION D'ETUDE TIARET (2022) (MASTER WEB 1).	31
FIGURE 9: CLIMAGRAMME D'EMBERGER DE LA REGION D'ETUDE TIARET (2022) (MASTER WEB 1).	32
FIGURE 10: POINTS DE PRELEVEMENTS DE L'EAU DE BARRAGE DAHMOUNI	35
FIGURE 11: POINTS DE PRELEVEMENTS DES SOLS.....	36
FIGURE 12: MESURE DU PH DE SOL	37
FIGURE 13: MESURE DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE.....	38
FIGURE 14: MESURE DE RESIDU SEC	39
FIGURE 15: MESURE DE LA MATIERE OXYDABLE.....	39
FIGURE 16: MESURE DU CHLORURE	40
FIGURE 17: MESURE D'ALCALINITE	41
FIGURE 18: MESURE DE LA DURETE TOTALE	41
FIGURE 19: MESURE DE L'HUMIDITE	42
FIGURE 20: MESURE DU PH D'UN ECHANTILLON DE SOL A L'AIDE D'UN PH METRE	43
FIGURE 21: ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR LA METHODE DE LA PIPETTE DE ROBINSON.....	43
FIGURE 22: MESURE DE CE	44
FIGURE 23: MESURE DU CALCAIRE TOTAL	45
FIGURE 24: MESURE DE CALCAIRE ACTIF	46
FIGURE 25: MESURE DE LA MATIERE ORGANIQUE	46
FIGURE 26: MESURE DE L'AZOTE.....	48

FIGURE 27: MESURE DE POTASSIUM.....	49
FIGURE 28: MESURE DE PHOSPHORE	49
FIGURE 29: MESURE DES ETM SOL-PLANTE	50
FIGURE 30: LE TAUX D'HUMIDITE DES SOLS	56
FIGURE 31: RESULTAT DE L'ANALYSE DU PHEAU.....	57
FIGURE 32: RESULTAT DE L'ANALYSE DU PHKCL.....	58
FIGURE 33: LES VALEURS DE CE DES ECHANTILLONS DE SOL	59
FIGURE 34: RESULTAT DE L'ANALYSE DU CALCAIRE TOTAL	60
FIGURE 35: RESULTAT DE L'ANALYSE DU CALCAIRE ACTIF	61
FIGURE 36: RESULTAT DE L'ANALYSE DU MO	62
FIGURE 37: RESULTAT DE L'ANALYSE DU L'AZOTE TOTAL	63
FIGURE 38: RESULTAT DE L'ANALYSE DU PHOSPHORE TOTAL.....	64
FIGURE 39: RESULTAT DE L'ANALYSE DE POTASSIUM.....	65

Liste des tableaux:

TABLEAU 1 : SUPERFICIES DES GPI EQUIPEES, IRRIGABLES ET IRRIGUEES PAR GRANDE REGION (BENBLIDIA,2011).	9
TABLEAU 2: RESULTATS OBTENUS POUR LES ANALYSES D’EAU	52
TABLEAU 3: LE RESULTAT DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU SOL ETUDIE	55
TABLEAU 4: RESULTAT DE L'ANALYSE DES ETM DANS LES SOLS	65
TABLEAU 5: RESULTAT DE L'ANALYSE DES ETM DANS LES PLANTES	67

Table des matières:

Liste des abriviations :	I
Liste des figures :	II
Liste des tableaux:	IV
Table des matières:.....	V
Résumé :	IX
Introduction.....	1
Partie bibliographique.....	4
Chapitre 1. Eaux d'irrigation	4
1.1. RESSOURCES EN EAU POUR L'IRRIGATION	5
1.1.1. eaux de surface	5
1.1.1.1 origine et définition	5
1.1.1.2 types d'eau de surface	5
1.1.1.2.1 eaux courantes	5
1.1.1.2.2 eaux stagnantes.....	5
1.1.1.2.3 lacs.....	5
1.1.1.2.4 plans d'eau artificielle.....	6
1.1.1.2.5 marais	6
1.1.2. eaux souterraines	6
1.1.2.1 origine et définition	6
1.1.2.2 nappes d'eau	7
1.1.2.3 nappes d'eau libres	7
1.1.2.4 nappes d'eau captives	7
1.2 IRRIGATION DANS LE MONDE.....	8
1.3 IRRIGATION EN ALGERIE	8
1.3.1 grands périmètres irrigués (gpi).....	10
1.3.2 petite et moyenne hydraulique ou pmh	10
1.4 IMPORTANCE DE L'IRRIGATION	10

1.4.1 avantages	10
1.4.2 apport sur le plan économique.....	10
1.4.3 satisfaction.....	11
1.4.4 irrigation un rempart à la famine	11
1.4.5 inconvénients.....	12
Chapitre 2. Impact des eaux d'irrigation sur la qualité des sols et des plantes	14
2.1 QUALITE DE L'EAU D'IRRIGATION	15
2.1 METHODE D'EVALUATION DE LA QUALITE D'UNE EAU D'IRRIGATION	15
2.1.1 salinité.....	15
2.1.2 alcalinité (excès en sodium)	16
2.1.3 dureté	16
2.1.4 métaux lourds	16
2.4 effet de l'irrigation par les eu sur les propriétés physico-chimiques du sol.....	19
2.5 effet de l'irrigation par les eu sur les plantes cultivées	19
2.6 effet de l'irrigation par les eu sur la nappe phréatique.....	20
Chapitre 3. Présentation de la zone d'étude	33
3.2 CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE	24
3.3 LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE	25
3.4 CARACTERISTIQUES DU BARRAGE	26
3.4.1 aperçu pédologique.....	27
3.4.2 aperçu géologique.....	27
3.4.3 aperçu climatologique	27
3.4.3.1 pluviométrie.....	27
3.4.3.2 température.....	28
3.4.3.3 vent	29
3.5 DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE GAUSSIN.....	30
3.4.1 quotient et climagramme d'emberger.....	31
Chapitre 4. Matériels et méthodes.....	33
4.1 ECHANTILLONNAGE ET PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS	34

4.1 PRELEVEMENT ET PREPARATION DES ECHANTILLONS	34
4.1.1 eau.....	34
4.1.2 sol	35
4.1.3 végétaux.....	36
4.2 ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE EFFECTUEES SUR L'EAU	37
4.2.1 potentiel hydrogène (ph).....	37
4.2.2 température	37
4.2.3 conductivité électrique (ce)	37
4.2.3.1 principe	38
4.2.4 résidu sec (rs).....	38
4.2.5 matière oxydable (mo).....	39
4.2.6 chlorure (cl ⁻)	40
4.2.7 alcalinité	40
4.2.8 dureté totale	41
4.3 ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE EFFECTUEES SUR LE SOL	41
4.3.1 taux d'humidité.....	41
4.3.1.1 principe	42
4.3.2 ph	42
4.3.2.1 principe	42
4.3.3 granulométrie.....	43
4.3.4 conductivité électrique.....	43
4.3.4.1 principe	44
4.3.5 calcaire total.....	44
4.3.5.1 principe	45
4.3.6 calcaire actif.....	45
4.3.7 matière organique (mo)	46
4.3.8 éléments fertilisants (npk)	47
4.3.8.1 azote total.....	47
4.3.8.2 potassium.....	48
4.3.8.3 phosphore	49
4.4 métaux lourds	50

4.4.1 ANALYSES DES ELEMENTS TRACE METALLIQUES DANS LES CULTURES.....	50
Chapitre 5. Résultats et discussion	51
5.1 resultats des analyses physico-chimiques d'eau d'irrigation.....	52
5.2 resultats des analyses physico-chimiques du sol	52
5.2.1 granulométrie.....	55
5.2.4 ph _{kcl}	57
5.2.6 calcaire total.....	59
5.2.7 calcaire actif.....	60
5.2.8 matière organique	61
5.2.9 éléments nutritifs majeurs (npk).....	62
5.2.9.1 azote total.....	62
5.2.9.2 phosphore total	63
5.2.9.3 potassium.....	64
5.3.1 etm	65
5.3.2 résultats des analyses des etm dans les cultures	67
Conclusion	70
Références bibliographiques	73
Annexes	84

Résumé :

A Tiaret, l'utilisation des eaux brutes du barrage de Dahmouni en agriculture irriguée date de 1987, depuis la construction de ce barrage, et est toujours d'actualité. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence de l'irrigation avec les eaux de barrage Dahmouni sur les propriétés du sol d'une part et sur la qualité des cultures d'autre part.

Les résultats obtenus sur les paramètres physicochimiques des eaux utilisées pour l'irrigation montraient que cette dernière présente des températures stables varie entre 14,9°C et 15,1°C, un pH élevé 7,94 et 7,98, une conductivité électrique élevée entre 1630 µs/cm et 1740 µs/cm, des teneurs élevées en chlorure et une présence élevée de matières organiques.

Les résultats recueillis ont montré que le sol des parcelles agricoles étudié a une texture limono-sableux, une influence importante des conditions climatiques, en particulier la faible pluviométrie, a été observée. Les sols ont été caractérisés par une alcalinité élevée, une faible salinité et la présence de calcaire à la surface. Les niveaux d'azote total, de phosphore et de potassium dans les sols ont été riches, ce qui indique une bonne disponibilité de ces nutriments pour les cultures. La concentration des métaux lourds était de l'ordre de $Zn > Pb > Cd$. Par conséquent, les concentrations des métaux lourds obtenues dans les sols dépassaient les limites de sécurité fixées par les normes AFNOR.

L'utilisation continue de cette eau entraîne des accumulations de métaux jusqu'à un niveau toxique pour les plantes. Les résultats montrent que les concentrations de Cd, de Pb et de Zn dans le blé et l'orge, étaient supérieures à la limite de sécurité des plantes, elles présentaient des menaces de toxicité. Pour cela, l'absorption et l'accumulation excessive de métaux lourds par les plantes cultivées dans les sols contaminés représentent la principale voie d'entrée des métaux lourds dans les denrées alimentaires

Il est donc essentiel de mettre en place des mesures de gestion appropriées pour améliorer la qualité de l'eau d'irrigation dans la région de Dahmouni. Cela pourrait inclure des stratégies de gestion des nutriments, des pratiques agricoles durables et une surveillance régulière de la qualité de l'eau. Ces résultats fourniront des informations précieuses aux agriculteurs et aux décideurs pour promouvoir une agriculture plus durable et sécurisée dans la région de Dahmouni.

Mots clés : Qualité des cultures, eaux d'irrigation, terres agricoles, Dahmouni.

Abstract:

In Tiaret, the use of raw water from the Dahmouni dam in irrigated agriculture dates back to 1987, since the construction of this dam, and is still relevant today. The objective of this study is to evaluate the influence of irrigation with water from the Dahmouni dam on the properties of the soil on the one hand and on the quality of crops on the other hand.

The results obtained on the physicochemical parameters of the waters used for irrigation showed that the latter presents stable temperatures varying between 14.9°C and 15.1°C, a high pH 7.94 and 7.98, an electrical conductivity high between 1630 µs/cm and 1740 µs/cm, high chloride contents and a high presence of organic matter.

The results collected showed that the soil of the agricultural plots studied has a loamy-sandy texture, an important influence of climatic conditions, in particular the low rainfall, was observed. The soils were characterized by high alkalinity, low salinity and the presence of limestone on the surface. Total nitrogen, phosphorus and potassium levels in the soils were rich, indicating good availability of these nutrients for crops. The concentration of heavy metals was of the order of Zn > Pb > Cd. Consequently, the concentrations of heavy metals obtained in the soils exceeded the safety limits set by the AFNOR standards.

Continued use of this water causes metals to build up to toxic levels for plants. The results show that the concentrations of Cd, Pb and Zn in wheat and barley, were above the safety limit of the plants, they presented threats of toxicity. For this, the absorption and excessive accumulation of heavy metals by plants grown in contaminated soils represent the main route of entry of heavy metals into foodstuffs.

It is therefore essential to put in place appropriate management measures to improve the quality of irrigation water in the Dahmouni region. This could include nutrient management strategies, sustainable farming practices, and regular water quality monitoring. These results will provide valuable information to farmers and policymakers to promote more sustainable and secure agriculture in the Dahmouni region.

Keywords: Crop quality, irrigation water, agricultural land, Dahmouni.

ملخص:

في تيارت، يعود استخدام المياه الخام من سد دهموني في الزراعة المروية إلى عام 1987، منذ إنشاء هذا السد، ولا يزال ساريًا حتى اليوم. الهدف من هذه الدراسة هو تقييم تأثير الري بمياه سد الدهموني على خواص التربة من جهة وعلى جودة المحاصيل من جهة أخرى.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها على المعلمات الفيزيائية والكيميائية للمياه المستخدمة للري أن الأخير يقدم درجات حرارة ثابتة تتراوح بين 14.9 درجة مئوية و15.1 درجة مئوية، ودرجة حموضة عالية 7.94 و7.98، وموصلية كهربائية عالية بين 1630 ميكروثنائية / سم و1740 ميكروثنائية / سم، نسبة عالية من الكلوريد ونسبة عالية من المواد العضوية.

أظهرت النتائج التي تم جمعها أن تربة الأراضي الزراعية المدروسة لها قوام رملي طيني، ولوحظ تأثير مهم على الظروف المناخية، وخاصة قلة هطول الأمطار. تميزت التربة بارتفاع القلوية وانخفاض الملوحة ووجود الحجر الجيري على السطح. كانت مستويات النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم الكلية في التربة غنية، مما يشير إلى توافر هذه العناصر الغذائية وبالتالي تجاوزت تركيزات المعادن الثقيلة التي تم $Zn > Pb > Cd$ للمحاصيل بشكل جيد. كان تركيز المعادن الثقيلة في حدود AFNOR الحصول عليها في التربة حدود السلامة التي حددتها معايير

يؤدي الاستخدام المستمر لهذه المياه إلى تراكم المعادن إلى مستويات سامة للنباتات. أظهرت النتائج أن تراكيز الكاديوم والرصاص والزنك في القمح والشعير كانت أعلى من حد الأمان للنباتات، مما يشكل تهديدات بالسمية. لهذا، فإن الامتصاص والتراكم المفرط للمعادن الثقيلة من قبل النباتات المزروعة في تربة ملوثة يمثل الطريق الرئيسي لدخول المعادن الثقيلة إلى المواد الغذائية.

لذلك من الضروري وضع تدابير إدارية مناسبة لتحسين جودة مياه الري في منطقة دهموني. يمكن أن يشمل ذلك استراتيجيات إدارة المغذيات، وممارسات الزراعة المستدامة، والرصد المنتظم لنوعية المياه. ستوفر هذه النتائج معلومات قيمة للمزارعين وواضعي السياسات لتعزيز الزراعة الأكثر استدامة وأمانًا في منطقة دهموني.

الكلمات المفتاحية: جودة المحاصيل، مياه الري، أرض زراعية، دهموني

Introduction

La rareté de l'eau est l'un des plus grands défis environnementaux au 21^{ème} siècle, en partie à cause d'une distribution inégale des ressources en eau disponible dans le monde (**Baccera et al., 2015 ; Jasmin et al., 2016**). Dans notre région méditerranéenne, un certain nombre de pays souffrent de pénurie d'eau, aggravée au cours des dernières années en raison des changements climatiques mondiaux qui entraînent des périodes de sécheresse fréquente et de longue durée (Liboutti et al, 2018). Située sur la rive sud de la Méditerranée, l'Algérie est parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques. Le seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale est de 1000 m³ /hab/an ; Si en 1962, la disponibilité théorique en eau était de 1500 m³ /hab/an, elle ne sera plus que de 430 m³ /hab/an en 2020 (**PNUD, 2009**). La demande globale en eau augmente rapidement et considérablement alors que les ressources diminuent. Une forte concurrence se développe entre les grands secteurs d'utilisations (AEP, industrie, agriculture) et ce déséquilibre de disponibilité des ressources aggrave entre les régions (**Benblidia, 2011**).

Le développement durable de l'agriculture en Algérie est synonyme d'une maîtrise des aspects économique, social et écologique de la distribution de l'eau agricole. La nécessité de l'irrigation en Algérie est incontournable, sur laquelle s'accordent les chercheurs agronomes. Evidemment, l'irrégularité annuelle et interannuelle des précipitations a été maintes fois soulignée dans la littérature, ainsi la préservation et la conservation des superficies irriguées, voire leur extension, pose le problème de l'offre en l'eau d'irrigation. C'est pourquoi des investissements considérables ont été consacrés à la construction des barrages pour couvrir les besoins de domaine dans tout le pays (**Belkhiri et al., 2012 ; Bouaroudj, 2012**).

D'autre part, de nombreux agriculteurs dépendent fortement de l'eau de la vallée pour irriguer leurs cultures. Cependant, les eaux de surface les plus vulnérables à la perte de qualité restent sous l'influence de nombreux agents naturels ou même humains. Il peut contenir des quantités importantes de matière organique ou de composés organiques résultant de divers rejets polluants ou même de pratiques agricoles trop cultivées et les déchets industriels, qu'ils reviennent négativement sur la qualité du sol, qui est considérée comme un environnement vivant et réservoir exceptionnel (**Belkhiri et al., 2012**).

La contamination des sols agricoles et des cultures par les métaux lourds a été considéré comme un grave problème environnemental en raison de leur nature non biodégradable et leur longue vie biologique (**Radwan et Salama, 2006 ; Khan et al., 2010 ; Muhammad et al., 2011**). Ainsi que, une accumulation excessive de métaux lourds tels que le Cd, le Fe, le Mn, le Pb et le

Zn dans le sol par l'irrigation pose des problèmes pour la production agricole (**Singh et al, 2004**) et entraîne l'absorption de métaux lourds par les cultures, ce qui affecte la qualité et la sécurité alimentaire (**Khan et al., 2008**). L'une des questions cruciales de l'utilisation des eaux de surface pour l'irrigation des cultures est l'accumulation des métaux lourds, qui représente un risque potentiel pour la santé des consommateurs lorsqu'ils entrent dans la chaîne alimentaire (**Libouttia et al., 2018**). C'est dans ce cadre que cette étude a été menée, afin d'évaluer la qualité de l'eau, du sol et des cultures au niveau des terres agricoles irriguées par les eaux de barrages Dahmouni.

Les résultats obtenus sont consignés dans le document articulé en quatre chapitres. Le premier et le deuxième met le point sur l'états des connaissances concernant les eaux d'irrigation et l'impact de son utilisation sur la qualité des sols et des cultures, le troisième présente la zone sur laquelle l'étude se concentre ainsi que le matériel et les méthodes utilisés pour l'évaluation, quant au quatrième, il traite les résultats obtenus et leur discussion et nous terminons ce document par une conclusion et quelques recommandations.

Partie Bibliographique

Chapitre 1. Eaux d'irrigation

L'irrigation est une activité qui consiste à fournir de l'eau aux plantes cultivées pour améliorer leur productivité et permettre leur développement normal en cas de pénurie d'eau causée par la sécheresse, de fortes pluies ou une interruption (El-assloujet *al*, 2007).

1.1. Ressources en eau pour l'irrigation

1.1.1. Eaux de surface

1.1.1.1 Origine et définition

L'eau de surface provient principalement de la pluie et consiste en un mélange d'eau les eaux de ruissellement et souterraines, l'eau de pluie qui n'atteint pas le sol reste à sa surface ; pour qu'il puisse s'écouler et se développer dans l'eau ou le stocker en cas d'obstacle contre les affleurements qui forment lacs, étangs et lacs (Ollier et Poirée, 1983).

1.1.1.2 Types d'eau de surface

1.1.1.2.1 Eaux courantes

L'eau courante est l'eau qui s'écoule continuellement de la surface cerf. La rivière descend la pente jusqu'à ce qu'elle se termine dans l'océan et la mer. Là courir dépend de nombreux facteurs, dont le plus important est durée et intensité des précipitations, climat et végétation, conditions du sol caractéristiques topographiques et géologiques de la zone considérée. Il fluctue dans le temps, d'environ 20% dans les zones sèches et sablonneuses où les précipitations sont rares et plus de 50% dans la zone des rochers ou des tempêtes (Jean, 1986).

1.1.1.2.2 Eaux stagnantes

Un liquide irrégulier se produit lorsqu'il y a un blocage dans le flux et une obstruction naturelle ou artificielle. Différents types d'eau sont connus :

1.1.1.2.3 Lacs

Ce sont des volumes d'eau libre remplissant des dépressions naturelles ou Artificiel, sans lien direct avec la mer et le mouvement de l'eau n'est pas d'un côté, l'accumulation d'eau douce ou salée dans le lac provient de la pente du comptoir qui retient l'eau, cette rétention est due au trou

dans la croûte Terre, que ce soit dans un environnement de fabrication ou de travail (**Bouchemal, 2021**).

1.1.1.2.4 Plans d'eau artificielle

Fabriqués par l'homme, leur profondeur est inférieure au lac en force monter à plusieurs de mètres. Ces eaux contaminées comprennent Deuxième round :

Un étang plus petit qu'un étang, généralement créé à des fins domestiques aquaculture. L'irrigation implique la collecte de l'eau dans les montagnes ou les vallées. Ces barrières ont plusieurs objectifs. Ils peuvent être utilisés pour la production d'électricité (barrage hydroélectrique), et l'augmentation du débit d'eau lorsqu'il est faible (soutien étiage), rétention des crues ou des pluies, irrigation, approvisionnement en de l'eau potable ou des divertissements (**Ollier et Poirée, 1983**).

1.1.1.2.5 Marais

Correspond à l'émergence d'une nappe phréatique peu profonde sur une pente. L'herbe verte. Une grande quantité de sédiments, c'est-à-dire des dépôts laissés par l'eau.

1.1.2. Eaux souterraines

1.1.2.1 Origine et définition

L'eau souterraine est l'eau qui s'accumule sous terre. Il vient principalement d'infiltration des eaux de surface ; et du coup par la condensation de la vapeur d'eau l'air dans les trous karstiques ou dans les pores du sol.

La pensée se produit également impliquer dans l'évacuation du magma, l'infiltration de l'eau, et diagénèse ou transformation d'une roche meuble en roche compacte par expulsion d'eau. L'eau restante s'est accumulée dans d'anciens canaux pendant le temps de la Terre partir. Ils feront de l'eau profonde. Les eaux usées peuvent être dans L'espace entre les particules de sol meuble et de roche, ou dans les fissures et les fissures calcul. Différents types de roches et de sols peuvent contenir différentes quantités d'eau. Les zones de désaturation sont des zones de terre et de roche saturées d'eau. La surface de cette zone saturée s'appelle la nappe phréatique (**Joel, 2003**).

1.1.2.2 Nappes d'eau

Les nappes d'eaux souterraines peuvent être de deux types selon qu'elles circulent sous une couche perméable ou non (**Ollier et Poirée, 1983**).

1.1.2.3 Nappes d'eau libres

Elles sont situées sous un sol perméable sont dites libres. Au-dessus de la nappe en effet, les pores du terrain perméable ne sont que partiellement remplis d'eau, le sol n'est pas saturé, et les eaux de pluie peuvent toujours l'imprégner davantage. Aussi, le niveau de la nappe peut-il monter ou baisser à son aise. De telles nappes peuvent donc contenir des volumes d'eau variables (**Ollier et Poirée, 1983**).

1.1.2.4 Nappes d'eau captives

Elles sont situées entre deux couches imperméables leur niveau ne peut monter, l'eau ne pouvant s'insinuer dans un sol imperméable. Ces nappes n'ont qu'un lien ténu avec la surface par où elles sont alimentées et qui correspond à la zone où la couche perméable affleure. De telles nappes se renouvellent donc plus lentement que les nappes libres. Elles sont en général profondes, quelques centaines de mètres et plus, et si leur pente est forte, l'eau y est sous pression. La pression est même parfois suffisante pour que le creusement d'un puits permette à l'eau de jaillir en surface : une telle nappe est alors dite artésienne (**Ollier et Poirée, 1983**).

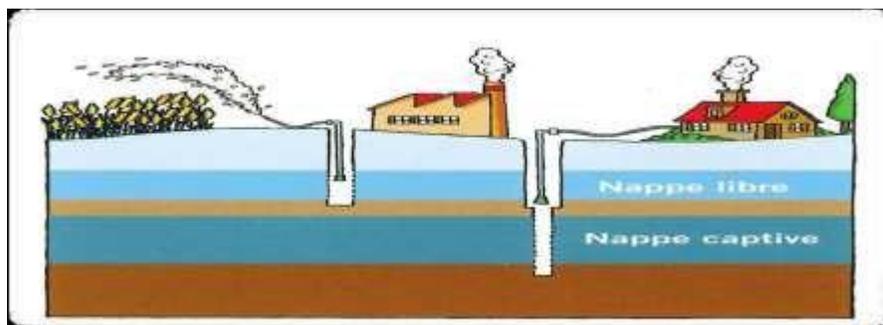


Figure 1: Schéma distinctif d'une nappe libre ou captive (Terchi, 2014).

1.2 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 (**Bouaroudj, 2012**).

Dans ces régions, en effet, il ne peut y avoir de culture sans irrigation. Aussi, toutes les surfaces cultivées sont-elles irriguées. Mais, comme il ne peut y avoir d'irrigation sans eau, les surfaces cultivées demeurent réduites en superficie, limitées par la faiblesse des ressources en eau, et localisées là où ces ressources sont disponibles. C'est le cas de pays comme l'Égypte par exemple où l'agriculture s'est développée sur les bords du Nil, ou de certains pays de l'Amérique latine comme le Mexique. 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 (**Milos, 1971**).

1.3 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 :

1.3.1 Grands Périmètres Irrigués (GPI)

Selon l'Office National des Irrigations et du Drainage. La plupart périmètres sont irrigués à partir de barrages et de forages dans le Nord du pays. Dans le Sud ces 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. (Benblidia, 2011).

Tableau 1 : Superficies des GPI équipées, irrigables et irriguées par grande région (Benblidia,2011).

Régions	Superficies Equipées (ha)	Superficies irriguées (ha)	Superficies équipées (ha)	Superficies équipées %	Superficies équipées %	Superficies équipées %
Oranie	28.930	13.500	9459.50	15.2	46.7	32.7
Cheliff	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

1.3.2 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

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**).

1.4 Importance de l'irrigation

1.4.1 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**).

1.4.2 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 (**Deregt, 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.

1.4.3 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**).

1.4.4 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 doubler et la récolte a presque triplée. 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.

1.4.5 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 (CE) et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière, due aux échanges ioniques, concerne surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol ; il est évalué par le coefficient d'absorption du sodium.

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 (**Chadou et Ahmim, 2020**).

***Chapitre 2. Impact des eaux
d'irrigation sur la qualité des
sols et des plantes***

2.1 Qualité de l'eau d'irrigation

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

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation. La composition chimique d'une eau d'irrigation doit donc être examinée en fonction de son impact sur la terre et les plantes (**Boumediou et Fekih, 2014**).

2.1 Méthode d'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation

Selon (**Couture, 2006**), les cinq principaux critères pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants

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

2.1.1 Salinité

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

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 milli siemens/centimètre (ms/cm) qui est l'équivalent de 1 de siemens par mètre (ds/m) et en moyenne, à 640 ppm de sel (**Couture, 2006**)

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

- La tolérance en sel de la culture
- Les caractéristiques du sol sous l'irrigation

-Les conditions climatiques, la qualité de l'eau d'irrigation joue un rôle essentiel dans les secteurs arides affectés par des taux d'évaporation élevés entraînant une accumulation importante de sel dans les sols.

- Les procédures de gestion des sols et de l'eau.

2.1.2 Alcalinité (excès en 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**).

2.1.3 Dureté

Une forte teneur en carbonate et en bicarbonate augmente la valeur du SAR les ions carbonate et bicarbonate combinés au calcium ou au magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium (CaCO_3) ou carbonate de magnésium (MgCO_3) dans des conditions de sécheresse. Lorsque la concentration de Ca et de Mg décroît, la teneur en sodium donc l'indice SAR devient plus important. Ceci causera un effet d'alcalisation et augmentera le PH.

Par conséquent, lorsqu'une analyse d'eau indique un PH élevé, ça peut être un signe d'une teneur élevée en ions carbonate et bicarbonate (**Couture, 2006**)

2.1.4 Métaux lourds

Les éléments traces sont, en général immobilisés dans les couches supérieures du sol, par Adsorption et échanges d'ions. Cette accumulation peut avoir pour conséquence, à terme, des

risques pour le développement des plantes, la santé des hommes et des animaux (**Baumont et al., 2004**).

Les métaux lourds indispensables pour les végétaux, mais dont l'utilisation en agriculture pose des problèmes sont le cuivre, le molybdène et le zinc. Le cuivre est toxique pour les animaux d'élevage, le seuil de phytotoxicité est atteint avant celui de zootoxicité (**Baumont et al., 2004**). Le molybdène n'est pas phytotoxique, mais pose des problèmes sanitaires pour le bétail. Le zinc est peu toxique, mais s'accumule très facilement dans les tissus végétaux (**Boswell, 1989**). Les métaux lourds non indispensables au développement des végétaux, et qui sont dangereux d'un point de vue sanitaire sont l'arsenic, le nickel, et le Cadmium. Le nickel est peu toxique, mais il s'accumule facilement dans les tissus végétaux. Le cadmium est le polluant non organique le plus préoccupant. Il est parfois présent à des concentrations importantes dans les eaux usées et il est très mobile dans le sol. Il s'accumule dans les plantes à de fortes concentrations engendrant la phytotoxicité (**Gupta et al., 2007**). Il peut s'accumuler dans l'organisme et provoquer de graves intoxications (**Yang et al., 2008**). L'OMS (1997) préconise un apport alimentaire moyen de 0.057 à 0.071 mg/j/individu. La FAO (2000) fixe comme un taux maximal dans les aliments de 0.1 mg/kg pour les légumes et 0.05 mg/kg pour les céréales et leurs dérivés.

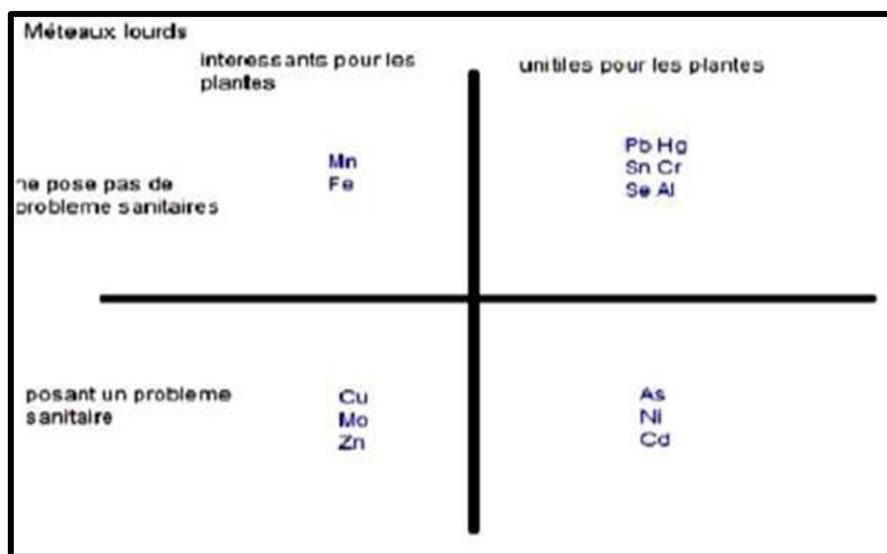


Figure 2: Classification des métaux en fonction de leur dangerosité et de leur intérêt agronomique (Baumont et al., 2004).

L'apport de substances étrangères dans le sol, l'eau et l'air modifie les conditions naturelles d'un site. Lorsqu'une plante est soumise à une concentration trop importante de ces substances,

elle réagit par des symptômes de maladies ou elle dépérit (**Koller, 2004**). Parmi l'ensemble des métaux lourds, une vingtaine d'entre eux sont indispensables aux processus physiologiques majeurs, en particulier la respiration, la photosynthèse ou l'assimilation des macronutriments tels que l'azote, le soufre... (**Kabata-Pendias et Pendias, 2001 in Tamrabet, 2011**). Nombre de ces métaux, Cu, Zn, Ni, Fe, Co, Se et Ba sont aussi impliqués au niveau de processus moléculaires tels que le contrôle de l'expression des gènes, la biosynthèse des protéines, des acides nucléiques, des substances de croissance, de la chlorophylle et des métabolites secondaires, le métabolisme lipidique ou la tolérance au stress (**Rengel, 1999**). En outre, certains éléments trace peuvent se présenter sous différents états d'oxydation (Cu^{2+} , Cu^{+}), ils jouent ainsi un rôle d'accepteurs ou de donneurs d'électrons, très important dans les multiples systèmes enzymatiques mettant en jeu des réactions d'oxydoréduction (**Chaignon, 2001**). Les végétaux ne supportent généralement pas les concentrations élevées en cuivre dans le sol. En effet, le cuivre réagit avec le fer, ce qui provoque une carence en fer pour la plante (chlorose). Plus spécifiquement, l'excès de cuivre dans le sol provoque une réduction de croissance des racines. Un rabougrissement de la plante peut s'en suivre. De plus, le cuivre est bactéricide : il réduit l'activité microbienne dans le sol et donc la vitesse de décomposition de la matière organique dans celui-ci (**Moulaert, 1992 ; Leteinturier, 2002 in Tamrabet, 2011**). Pour autant, les métaux lourds n'ont pas tous une fonction connue à ce jour dans le métabolisme de la plante, et malgré la grande diversité des besoins et des niveaux de tolérance aux métaux lourds chez les plantes, certains restent considérés comme des poisons cellulaires pour lesquels les doses admissibles sont très faibles. On retrouve parmi les plus toxiques, Hg, Cr, Ni, Pb et Cd (**Kabata-Pendias et Pendias, 2001 in Tamrabet, 2011**).

2.2 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.

2.3 Aspects environnementaux associés à l'utilisation des Eaux Usées en irrigation

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

-La suppression de rejet en eaux de surface, prévient l'éventualité de situations esthétiques désagréables, de conditions anaérobies dans les cours d'eau et l'eutrophisation des lacs et réservoirs. La conservation des ressources en eau fournit des avantages à l'utilisation telle que l'approvisionnement en eau et la préservation des étendues d'eau à usage récréatif.

-La sauvegarde des ressources en eaux souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources pour l'agriculture pose le problème de l'épuisement et de l'intrusion du biseau salin.

-La possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport d'humus sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion (**FAO, 2003**).

2.4 Effet de l'irrigation par les EU sur les propriétés physico-chimiques du sol

En fait, l'irrigation et le traitement des eaux usées affectent certains sols au fil du temps. Par conséquent, une légère diminution du pH est observée dans certains sols basiques (**Abbas et al., 2006**). Cette réduction s'explique par l'irrigation par l'eau d'irrigation. Les calcaires sont responsables de l'alcalinité du sol (**Puil, 1998**). Les eaux usées, par leur potentiel fertilisant, entraînent également une augmentation des nutriments et des éléments nutritifs du sol. Cependant, ces nutriments stimulent l'activité microbologique du sol (**Flores et al., 1997**), ce qui favorise la minéralisation de la matière organique, réduisant ainsi la CEC du sol (**Massena, 2001**).

(**Magesan et al 2000**), ont également montré que, suite à l'irrigation de l'UE, cette augmentation de l'activité microbologique du sol réduit la conductivité hydraulique du sol en raison de la formation de biofilms bactériens qui recouvrent le sol.

2.5 Effet de l'irrigation par les EU sur les plantes cultivées

En raison de leur contenu nutritionnel et de l'abondance d'oligo-éléments, les eaux usées, lorsqu'elles sont utilisées pour l'irrigation, entraînent une augmentation du nombre de cultures

plantées. Dans ce contexte, (Fars et al, 2003) ; (Mohammad rusan et al, 2007) ont observé une augmentation de la biomasse des graminées après irrigation. Qu'il s'agisse d'eaux usées brutes ou traitées. Ainsi, (Fars et al, 2003) montrent que le rendement enregistré par rapport au témoin est supérieur à 110 %, pour des plantes irriguées dans les deux types d'eau.

De même, l'irrigation de l'UE conduit à une augmentation significative du tissu de la plante plantée dans les zones importantes (Fars et al, 2003). Les éléments traces qui ont tendance à ne pas circuler dans la surface supérieure du sol peuvent entraîner des risques à long terme pour le développement des plantes. En effet, certains oligo-éléments (bore, fer, manganèse, zinc, cuivre et molybdène), peu nombreux, sont reconnus comme importants pour le développement des plantes et de petite taille (Faby et brissaud, 1997).

L'irrigation, à partir des eaux usées, apportera ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments, non importants dans les végétaux comme le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain. La biodisponibilité de ces substances présentes dans le sol peut entraîner leur accumulation dans les tissus végétaux et dans certains cas, le niveau de ces substances peut atteindre le seuil de phytotoxicité (Belaid, 2010).

2.6 Effet de l'irrigation par les EU sur la nappe phréatique

L'irrigation ou l'épandage des eaux usées sur les terres agricoles en fait partie Les systèmes d'irrigation souterraine sont couramment utilisés dans les régions arides ou semi-aride (Asanoa et Cotruvo, 2004 et Belaid, 2010). Dans ce cas, Ben Marzouk (2006), ont noté une montée continue du niveau d'eau suite à l'événement d'irrigation à partir d'eaux usées traitées pouvant atteindre 10m.

(Kalel et Bouzid, 2002) et (Belaid, 2010), ont observé une augmentation de la salinité et apport de nutriments (N et P) dans les eaux souterraines suite à l'irrigation de l'EUT (Zekri et al, 1995) et (Belaid, 2010), ont rapporté trois effets de l'irrigation EUT. Au-dessus de la nappe phréatique ;

- augmentation de la salinité de 2,3 à 4 mS/cm après 20 ans irrigation.
- Pollution microbiologique liée à la proximité de la nappe phréatique et de la surface des atterrir.
- Grande machine polluante.

2.7 Effet de l'irrigation par les EU sur les eaux de surface

La concentration élevée en N et P dans l'eau usée est d'un intérêt particulier lorsque l'eau usée est mélangée dans un barrage, avant irrigation, car ces éléments peuvent créer des conditions favorables à l'eutrophisation. Dans de telles conditions, l'apparition d'algues vertes est très fréquente et il est difficile de remédier aux problèmes y associés, en particulier à l'obstruction des systèmes d'irrigation pressurisés. Ce problème est un des soucis majeurs des agriculteurs. Le problème d'eutrophisation et du déficit en oxygène, dû aux nutriments dans l'eau usée, est particulièrement important quand l'effluent est déchargé dans les étendues d'eau (fleuves, lacs et mer). L'azote est le facteur limitant pour la croissance des algues en mer, alors que N et P sont les facteurs limitant dans les lacs, les bassins d'eau salée et dans les barrages où l'eau usée est stockée avant irrigation (**Affifi et Ramdani, 2022**)

Chapitre 3. Présentation de la zone d'étude

Dans ce chapitre, nous allons traiter les caractéristiques de la région de Dahmouni wilaya de Tiaret, particulièrement sa situation géographique et les facteurs pédologique, géologique et Climatique.

3.1 Situation géographique et limites de la région de DAHMOUNI

La willaya de Tiaret est principalement axée sur l'agriculture et l'élevage. Ses activités agricoles se concentrent principalement sur la culture de céréales, de fourrages, de légumes tels que la pomme de terre et les oignons. En ce qui concerne l'élevage, la région se spécialise dans l'élevage de moutons, de bovins, ainsi que dans la production d'œufs, de lait et de laine, qui constituent les principales ressources animales **(Draouache et Gharbi, 2019)**.

La commune de DAHMOUNI appartient à la wilaya de Tiaret, qui est située au nord de la commune de Sidi Hosni, au sud des communes de Nahr Ouassel et Bouchakif, à l'est de la province de Sabaine, et à l'ouest d'Oued Lili et Tiaret. Par conséquent, la superficie de la ville est d'environ 164,25 kilomètres carrés.

C'est une communauté agricole d'une superficie totale de 13670 hectares. Ils fonctionnent essentiellement par l'action du maïs au contact des jachères **(LADJAL, 2013)**.

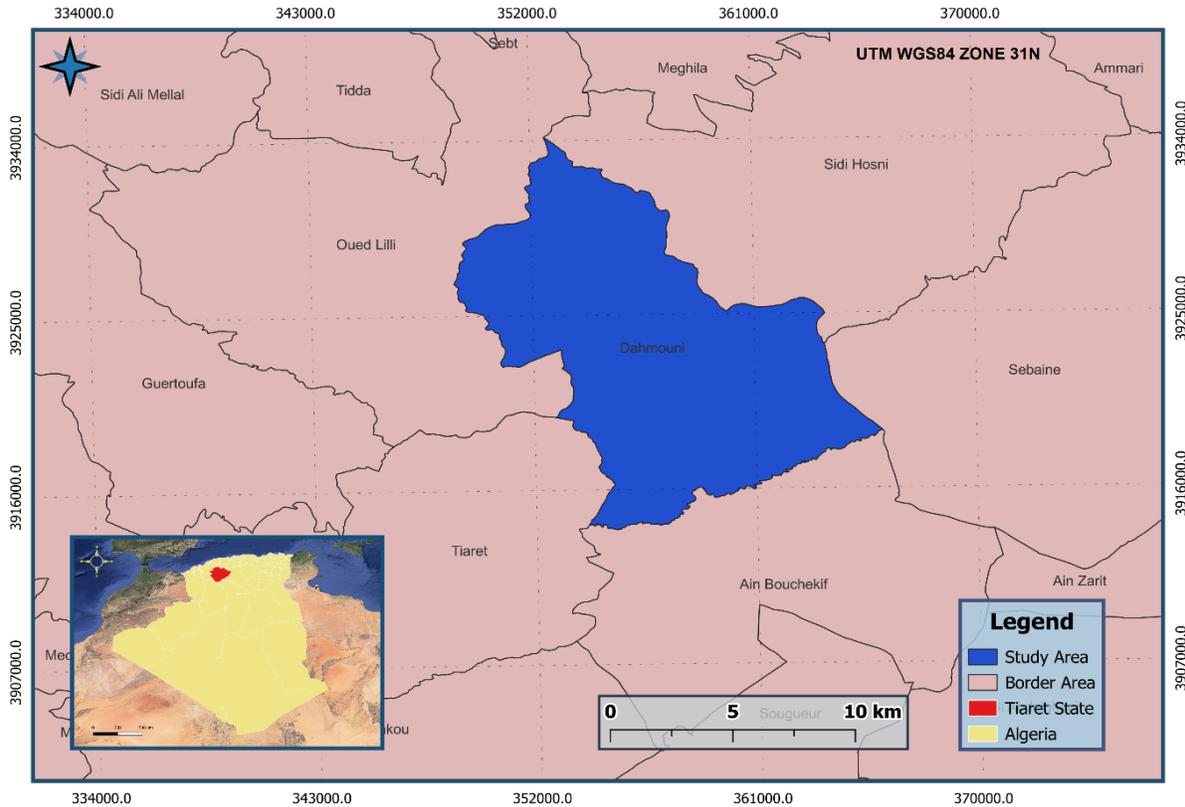


Figure 3: Situation géographique de la zone d'étude DAHMOUNI.

3.2 Caractéristiques de la zone d'étude

La région possède un réseau hydrologique très important. Le réseau est constitué de deux grandes retenues : Cheliff et Monts d'Oran. Ils sont divisés en quatre bassins, dont 889 kilomètres de Vale et 1049 kilomètres d'eaux passives, répartis comme suit : Oued Touil, Oued Mina, Oued Tiguiguest, Oued Rhiou, Oued Souslem, Oued Mechti, Oued Taht Oued. Et Tounkira. Trois barrages ont été construits : le barrage de DAHMOUNI, le barrage de Boughara et le barrage de Bakhadda (**Mekkakia, 2001**).

Selon **ADE (2004)**, ces trois barrages représentent les ressources en eau les plus importantes de la région de Tiaret.

Le climat dans la zone d'étude est de type méditerranéen semi-aride, avec une saison des pluies (la pluviométrie moyenne dans la zone d'étude de septembre à mai est d'environ 350 mm/an, et l'été est chaud. La zone est venteuse (**DHT. 2005**).

3.3 Localisation de la zone d'étude

La ferme hydroélectrique de DAHMOUNI se trouve dans la région du Nord-Ouest de l'Algérie, sur les hauts plateaux de Sérours, dans la wilaya de Tiaret. Le barrage de DAHMOUNI, érigé en 1987, est situé dans l'oued Ouassel, un affluent de l'oued Chéelif, à environ 8 km au nord-est de la ville de DAHMOUNI et à 20 km à l'est de Tiaret. L'eau provenant de ce projet est utilisée pour irriguer une superficie totale de 4000 hectares en aval et en amont, destinée aux cultures suivantes :

- Cultures de mauvaises herbes
- Arboriculture
- Culture de maïs

L'espace est subdivisé en trois parties :

-Partie 1 : irrigation de 1214 hectares en amont du bassin versant, sur la rive gauche

-Partie 2 : irrigation de 1326 hectares sur le bassin versant, sur la rive droite

-Partie 3 : irrigation de 1684 hectares dans la partie basse de l'Oued

De plus, cette eau est pompée pour alimenter l'usine de production d'eau (ALI) du complexe de Fatia (SAIDA *et al*, 2015).



Figure 4: Carte du site d'études.

3.4 Caractéristiques du barrage

Le barrage de DAHMOUNI est maintenu avec une cote d'eau de 925,00 m, offrant une capacité totale de stockage de 40,58 hm³. La capacité utilisable de stockage est spécifiée selon une classe donnée. Le niveau minimum de travail est fixé à 912,40 m, correspondant à 36,44 hm³ de barrage et de hauteurs offshore. La hauteur maximale atteint 35,0 m. Ainsi, voici les principales caractéristiques du Grand Lac DAHMOUNI :

- Niveau du Sacre (NC) : 931,00 m
- Niveau d'eau le plus élevé (PHE) : 928,80 m
- Niveau d'eau normal (NRN) : 925,00 m
- Superficie inondée et niveau d'eau : 1,57 km²
- Niveau de fonctionnement minimal (NME) : 912,50 m
- Volume total stocké : 40,58 hm³
- Capacité de stockage valide : 36,44 hm³

-Volume mort : 4,14 hm³ (**Touati B, 2010**).

3.4.1 Aperçu pédologique

D'après les directives de l'hydraulique de la wilaya de Tiaret (**DHT, 2005**), le sol de la région est composé de silico-calcaire, d'argile et de silice, avec une profondeur moyenne. Il présente une perméabilité et une porosité moyennes, avec une variation de porosité allant de 42,74% à 47,14%. Sa densité varie entre 1,93 g/cm³ et 1,44 g/cm³, et il présente une bonne teneur en humidité interne.

3.4.2 Aperçu géologique

Le barrage de DAHMOUNI est construit sur des formations géologiques qui présentent une alternance de marne grise à jaunâtre, de marne sableuse, de grès marneux et de grès quartzeux du Miocène. Ces formations ont un pendage d'environ 6° et s'étendent vers le sud, en direction de l'appui de la rive droite. Le fond de la vallée est recouvert de dépôts alluviaux sur une largeur de 100 à 125 m. Ces dépôts, d'origine quaternaire, sont composés d'argile limoneuse en croûtes, de graviers, de graviers limoneux, de conglomérats tendres à durs, ainsi que de limons sableux à argileux. Leur composition varie en termes de teneur en carbonate de calcium (**mémoire technique, 1978, cité dans Guerchi et Bouzar, 2010**).

3.4.3 Aperçu climatologique

La localité de Tiaret se trouve dans une zone comprise entre les isohyètes de 350 mm au sud et de 470 mm au nord. Elle est principalement caractérisée par un climat continental, caractérisé par des hivers chauds et des étés secs (**Soudani, 2011**).

3.4.3.1 Pluviométrie

L'analyse des précipitations, de leur répartition saisonnière et de leur intensité revêt une grande importance, car elles constituent un facteur abiotique essentiel qui influence l'évolution et la répartition des espèces dans leur environnement (**Sibihi et al, 2016**).

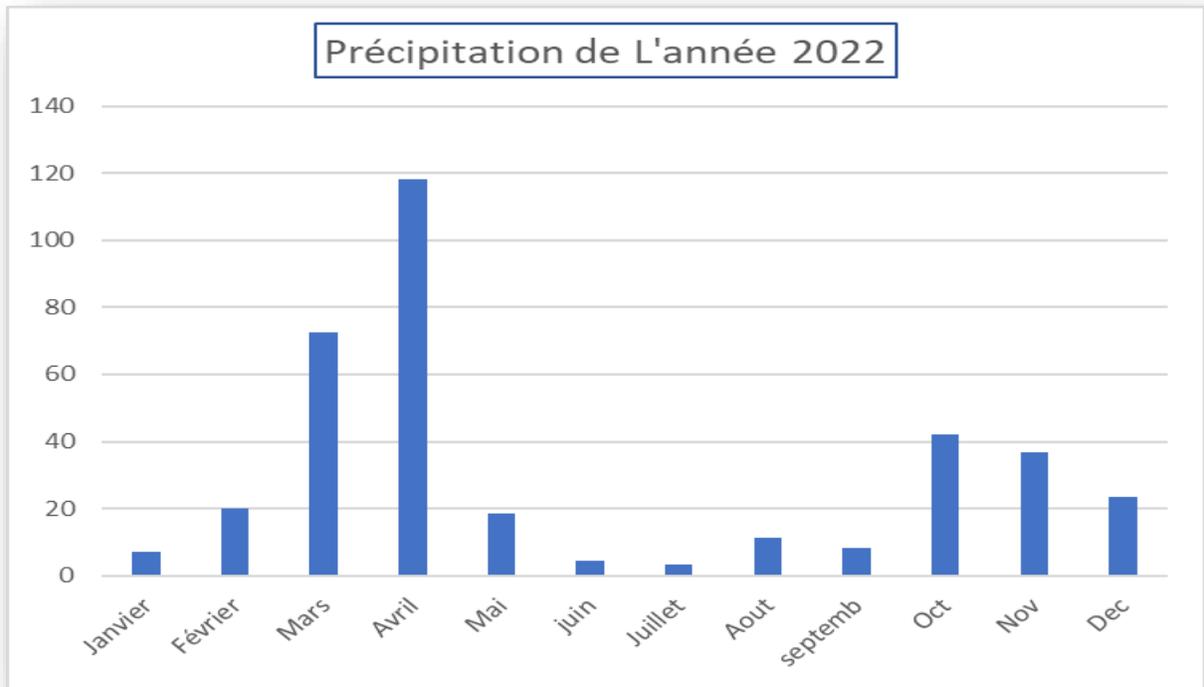


Figure 5: Histogramme des précipitations de l'année 2022 (Master web 1).

Les précipitations mensuelles en 2022, au niveau de la wilaya de Tiaret sont données dans la figure n° 5, Avril est le mois le plus pluvieuse avec une pluviométrie moyenne de 118.11 mm Le mois de juillet s'avère le plus sec avec une pluviométrie de 3.81 mm

3.4.3.2 Température

L'humidité atmosphérique est l'un des éléments clés pour caractériser le climat et déterminer son niveau d'humidité. La température, quant à elle, fluctue au cours de la journée et en fonction de l'intensité de l'ensoleillement (Sbihi et al, 2016).

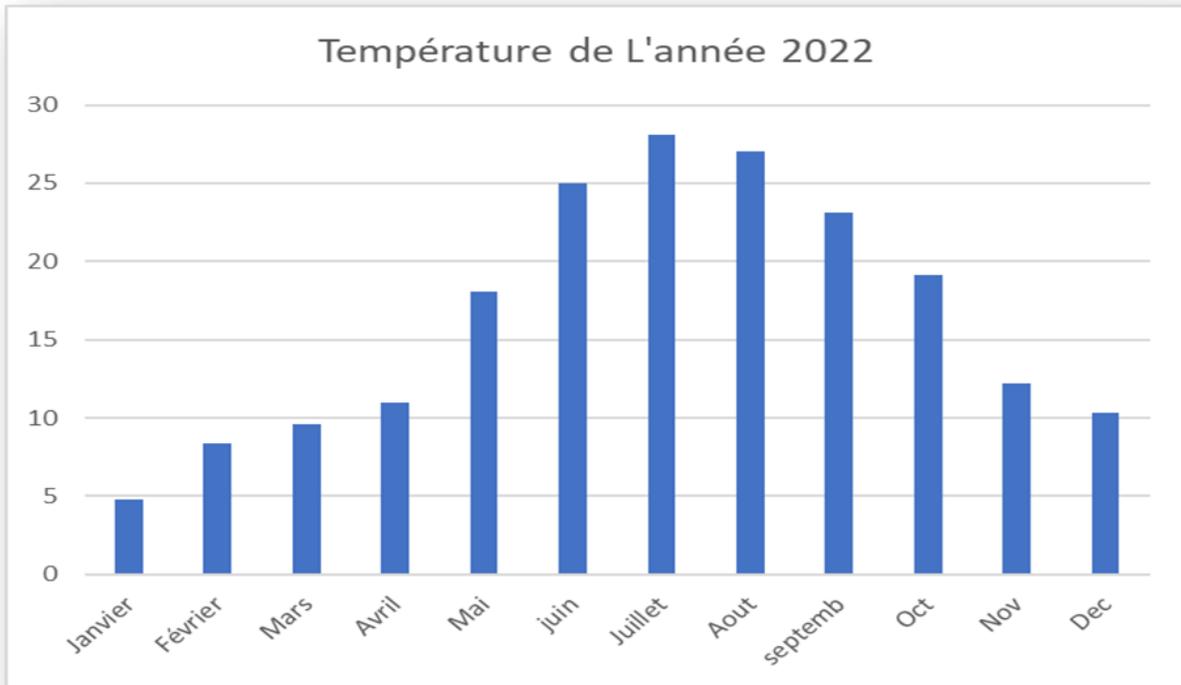


Figure 6: Histogramme de température de l'année 2022 (Master web 1).

La figure n° 6 nous donne les températures mensuelles moyennes en 2022. Il s'avère que la plus basse température (4.8 °C) est enregistrée au cours du mois de janvier. La température la plus élevée (28.1°C) est celle du mois de juillet.

3.4.3.3 Vent

Le vent est l'un des principaux éléments qui caractérisent les conditions météorologiques, et il est essentiel de connaître sa force et sa direction car il favorise l'évaporation. Sa vitesse varie en fonction de la surface et des conditions météorologiques. Le vent est un facteur climatique qui influence également les variations de température et d'humidité, et il joue un rôle structurel et physiologique chez les plantes forestières. Dans la région de Tiaret, les vents dominants proviennent du nord-ouest, tandis que le vent du sud-est est le moins fréquent. Leur vitesse peut atteindre différentes valeurs, allant de 13,2 à 14,9 m/s (Sbihi et al, 2016).

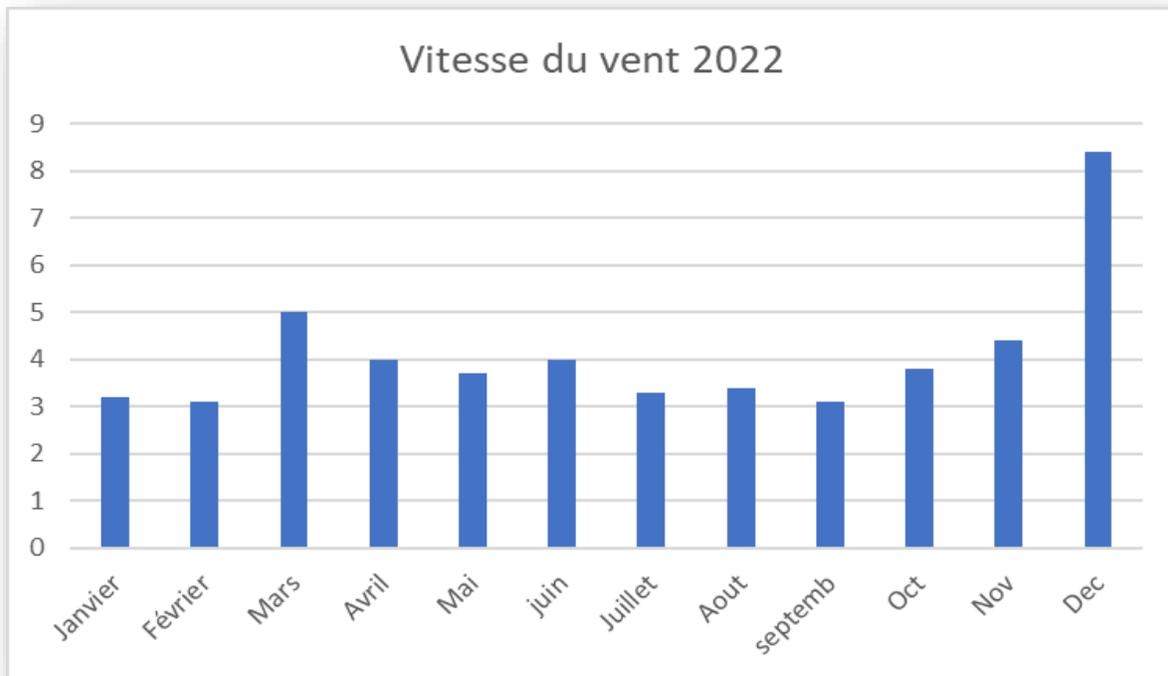


Figure 7: Histogramme de la vitesse de vent (Master web 1).

3.5 Diagramme Ombrothermique de gaussin

La période de mois sec peut être définie comme celle où la somme des précipitations mensuelles moyennes en millimètres est égale ou inférieure au double de la moyenne mensuelle des températures $(M+m) / 2$ (en °C), soit $p \leq 2t$. (**Bagnouls et Gaussen, 1954**).

La détermination de la période sèche peut être directement déduite de la courbe ombrothermique. Dans le cas spécifique de l'année 2022, celle-ci commence généralement au début du mois de Mai et se termine au début du mois de septembre.

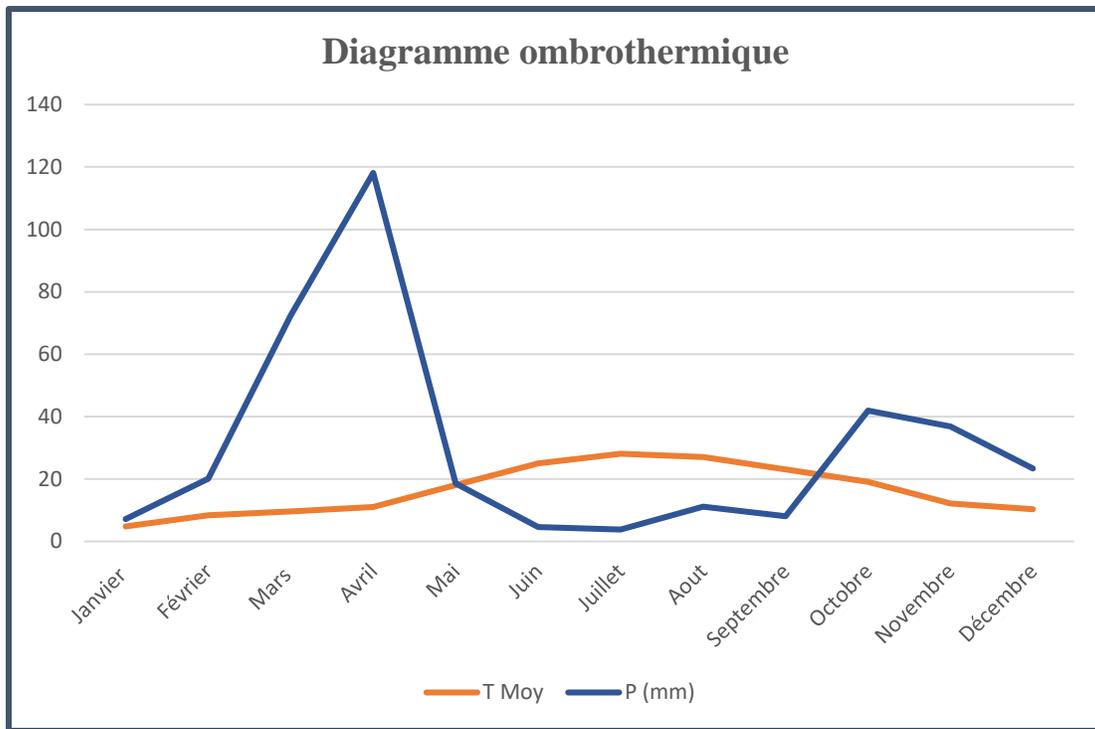


Figure 8: Diagramme ombrothermique de la région d'étude Tiaret (2022) (Master web 1).

3.4.1 Quotient et climagramme D'EMBERGER

Emberger (1930 et 1955) a développé un indicateur appelé "Q2" pour déterminer l'étage bioclimatique d'une région, en particulier dans les régions à climat méditerranéen. Cet indicateur, largement utilisé en Afrique du Nord, est calculé en prenant en compte à la fois les précipitations et les températures, et permet d'évaluer l'aridité annuelle.

Le calcul du quotient pluviothermique "Q2" est formulé de la manière suivante :

$$Q2 = 2000P/M^2-m^2$$

Dans le cas spécifique mentionné, lorsque le quotient Q2 est égal à 34,87, cela indique que la région est classée comme semi-aride avec des hivers frais sur le plan bioclimatique.

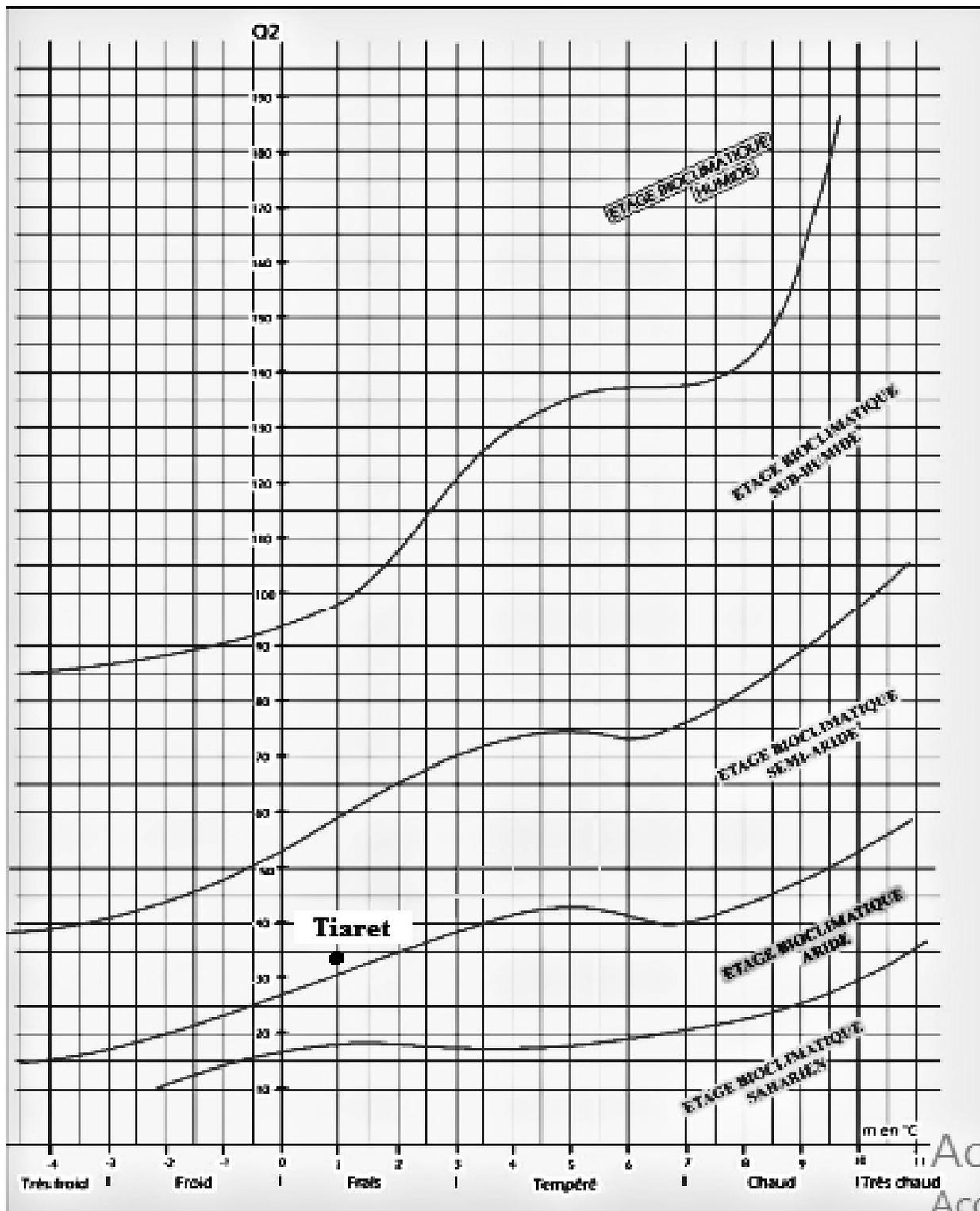


Figure 9: Climagramme d'Emberger de la région d'étude Tiaret (2022) (Master web 1).

Chapitre 4. Matériels et méthodes

Le but de notre étude est de connaître la qualité des cultures des terres agricoles irriguées par les eaux de barrage DAHMOUNI Tiaret, en faisant les analyses de l'eau du barrage et du sol des terres agricoles irriguées avec ce dernier.

4.1 Echantillonnage et prélèvement des échantillons

L'échantillonnage subjectif a été basé sur le prélèvement des végétaux cultivés (l'orge et blé) ainsi que le sol sur lequel ils étaient cultivés (1kg à 15cm de profondeur), et l'eau par laquelle ils étaient irrigués durant son culture (bouteille de 1,5L à partir de la source d'irrigation). Les échantillons représentatifs ont été prélevés manuellement.

4.1 Prélèvement et préparation des échantillons

4.1.1 Eau

D'après (Rodier, 2009), le prélèvement d'échantillons d'eau est une tâche délicate qui nécessite une grande prudence, car cela influence les résultats de l'analyse et l'interprétation qui en découle. Il est essentiel que l'échantillon soit homogène, représentatif et prélevé sans altérer sa qualité.

Afin d'effectuer le prélèvement, nous avons sélectionné 3 stations situées dans le barrage du DAHMOUNI (figure n°9) le 15 février 2023. Nous avons procédé aux étapes suivantes :

- Rincer la bouteille trois fois avec l'eau du barrage
- Plonger la bouteille dans l'eau à une distance de 50 cm de la surface
- La remplir jusqu'au bord (éviter les bulles d'air)
- Fournir pour chaque prélèvement les renseignements qui lui sont propre
- Transporter le plus rapidement possible au laboratoire ; Conserver à 4°C (pour éviter toute activité des microorganisme).

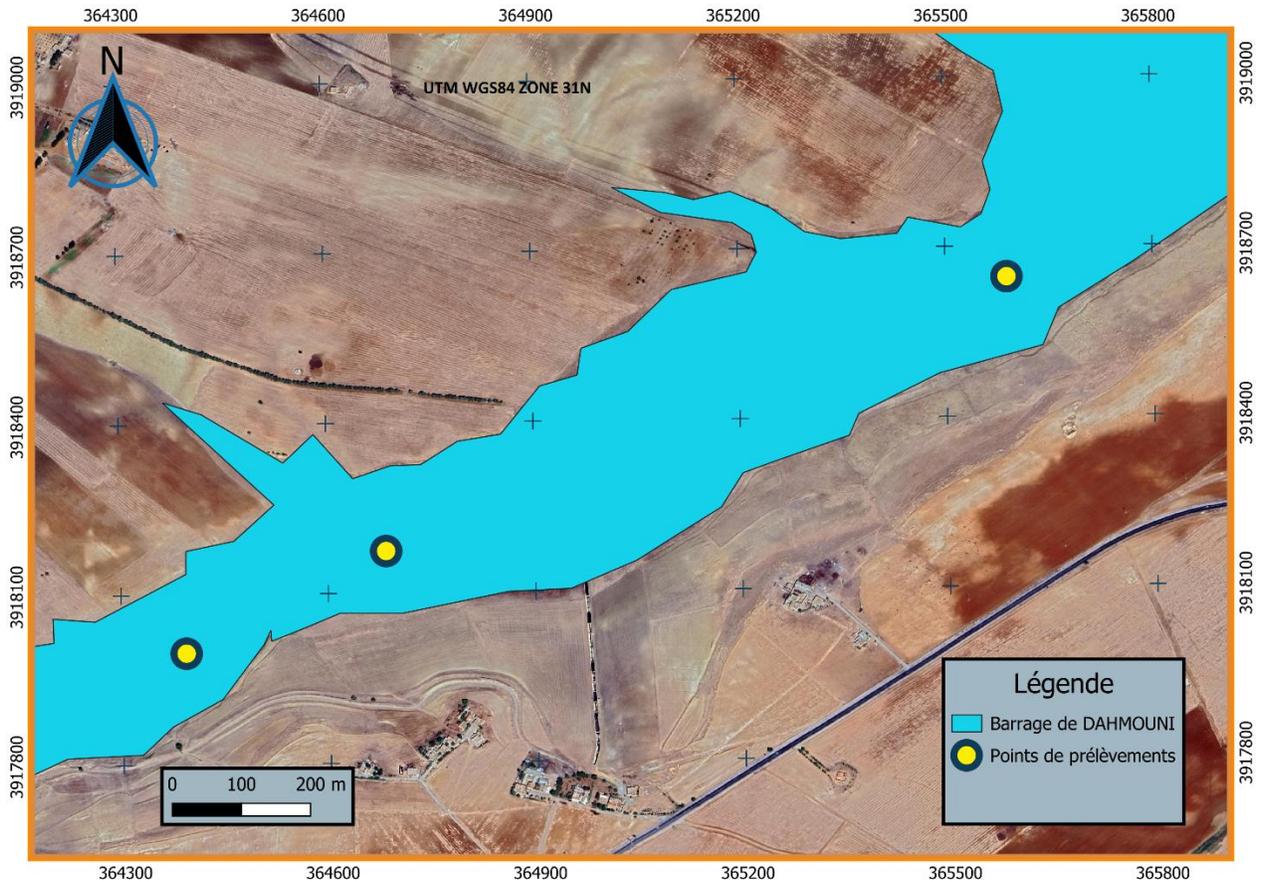


Figure 10: Points de prélèvements de l'eau de barrage DAHMOUNI.

4.1.2 Sol

Elle est très importante pour l'étude agro-pédologique des sols. Les meilleures périodes de prélèvement sont lorsque les sols ont des teneurs en eau légèrement à la capacité au champ (Mathieu et Pieltain 2003). Le prélèvement de nos échantillons a été effectué le 15/02/2023

Dans notre étude, nous avons effectué le prélèvement de 12 échantillons (figure n°10), lesquels ont été soumis à une analyse rigoureuse. Pour réaliser ces prélèvements, nous avons utilisé une tarière spécifique. Afin de garantir leur intégrité, les échantillons ont été codés et placés dans des sachets en plastique soigneusement scellés en vue d'analyses ultérieures en laboratoire.

Le sol pris des parcelles agricoles a été séché à l'air libre pendant quelques jours, puis broyé et tamisé à 2mm de diamètre, et conservé dans des sacs en plastique bien fermé dans un endroit sec et propre.

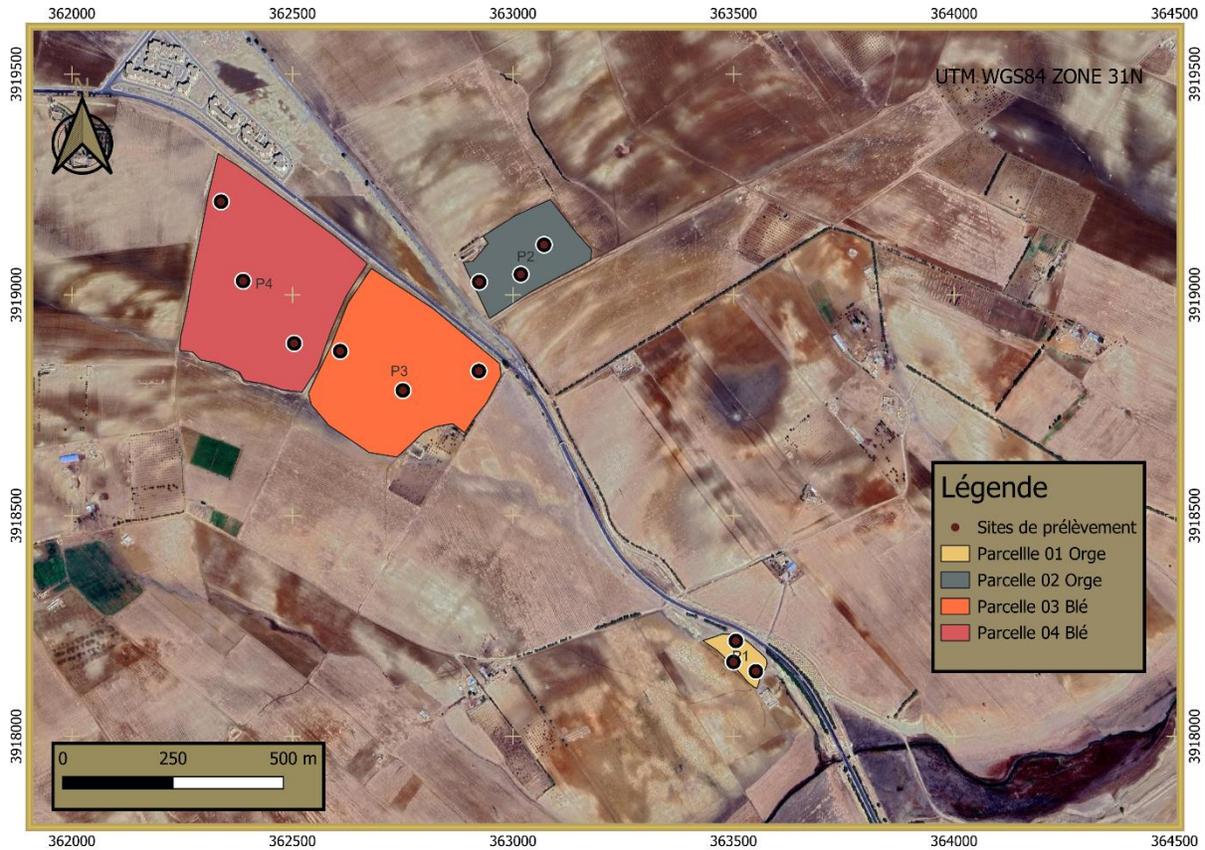


Figure 11: Points de prélèvements des sols.

4.1.3 Végétaux

Quant aux végétaux cultivés, l’orge et le blé, la partie aérienne des deux cultures étaient séchées à l’air libre pendant quelques jours puis à l’étuve pendant 24h, grossièrement broyées et conservées dans des boites en plastique hermétiquement fermées dans un endroit sec et propre.

Les analyses effectuées sur l’eau, sol et cultures, ont été réalisée au niveau des laboratoires d’Eau et sol et Agriculture de précision, du département N.T.A.A, Faculté des sciences de la nature et de la vie.

4.2 Analyse physico-chimique effectuées sur l'eau

4.2.1 Potentiel hydrogène (pH)

Le pH de l'eau est une mesure de la concentration des ions H^+ présents dans l'eau. Il reflète la stabilité de l'équilibre entre les différentes formes d'acidité carbonique et est associé au système tampon formé par les carbonates et les bicarbonates (Makhouk, 2011).



Figure 12: Mesure du pH de sol.

4.2.2 Température

La température revêt une grande importance dans l'analyse des eaux, car elle influence la dissociation des sels dissous, la mesure du pH, la conductivité électrique et la vitesse des réactions dans le milieu aqueux (Rodier et al., 2009).

La température a été mesurée à l'aide d'un appareil multiparamétrique de type HACH SL1000. Pour effectuer la mesure, la sonde appropriée a été immergée dans un récipient contenant l'échantillon d'eau, puis on a attendu quelques minutes jusqu'à ce que l'affichage à l'écran se stabilise. Les résultats de la mesure ont ensuite été enregistrés. La température est exprimée en degrés Celsius (Ade, 2021).

4.2.3 Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est une mesure de la salinité ou de la concentration totale des sels dans l'eau, indépendamment de leur nature. Elle est à l'origine des risques liés à une présence excessive de sels. La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement, mais de manière approximative, la minéralisation globale de l'eau (Rodier et al, 2009).

4.2.3.1 Principe

La conductivité électrique d'une eau (γ) est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm.

Elle est l'inverse de la résistivité électrique (ρ).

$$\gamma = 1/\rho = (1/R). (L/S)$$

Où :

γ : conductivité (en $\Omega^{-1}.m^{-1}$ ou S. m⁻¹).

ρ : résistivité (en $\Omega. m$).

R : résistance (en Ω).

L : distance entre les deux électrodes (en m).

S : surface de chaque électrode (en m²).

La conductivité mesurée également sur le terrain à l'aide d'un conductimètre.

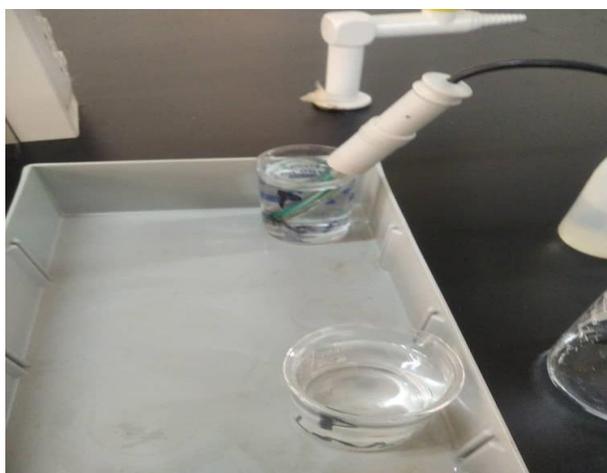


Figure 13: Mesure de la conductivité électrique.

4.2.4 Résidu sec (RS)

Une quantité déterminée d'eau soigneusement mélangée est évaporée dans une capsule préalablement pesée. Le résidu sec obtenu est ensuite pesé. (Rodier et al, 2009).



Figure 14: Mesure de résidu sec.

4.2.5 Matière oxydable (MO)

Les matières organiques (MO) présentes dans les eaux peuvent être formées par la décomposition de matières d'origine animale ou végétale, qui sont influencées par des micro-organismes (Gharbi, 2019).

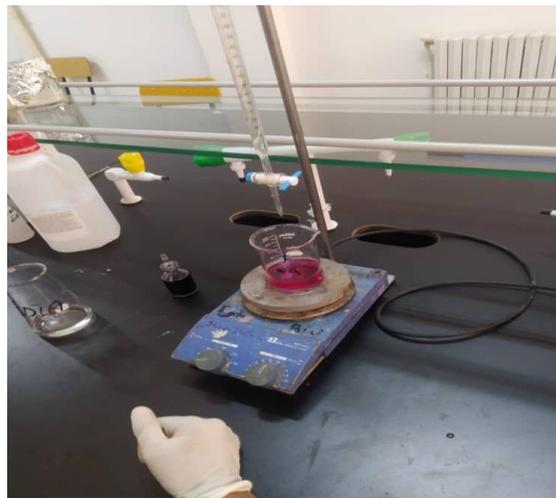


Figure 15: Mesure de la matière oxydable.

4.2.6 Chlorure (Cl⁻)

Chlorures sont quantifiés dans un milieu neutre en utilisant une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est signalée par l'apparition d'une teinte rouge caractéristique due à la formation de chromate d'argent (Rodier *et al.*, 2009).

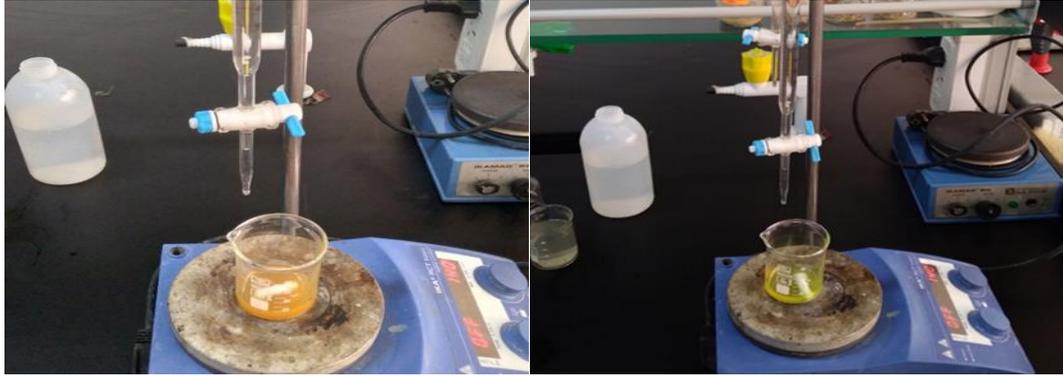


Figure 16: Mesure du chlorure.

4.2.7 Alcalinité

L'alcalinité d'une eau est déterminée par la présence de bicarbonates (HCO₃⁻), carbonates (CO₃²⁻) et hydroxydes (OH⁻). Pour évaluer l'alcalinité, on mesure les volumes successifs d'acide chlorhydrique concentré dilué nécessaires pour neutraliser l'eau à analyser à deux niveaux de pH différents, soit pH = 8,3 et pH = 4,3. La première détermination permet de calculer le titre alcalimétrique (TA), tandis que la seconde détermination permet de calculer le titre alcalimétrique complet (TAC). La neutralisation à pH = 4,3 est caractérisée par le changement de couleur du méthylorange, passant du jaune pâle à l'orange. Ce niveau de neutralisation correspond à la neutralisation des bicarbonates (Rodier *et al.*, 2009).



Figure 17: Mesure d'alcalinité.

4.2.8 Dureté totale

La dureté, également connue sous le nom de titre hydrotimétrique, d'une eau correspond à la somme des concentrations de cations métalliques à l'exception des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas, la dureté est principalement due aux ions calcium et magnésium, auxquels peuvent parfois s'ajouter les ions fer et aluminium. Elle est exprimée en milliéquivalents de concentration en carbonate de calcium (CaCO_3) et est souvent également donnée en degrés français (Rodier et al,2009).

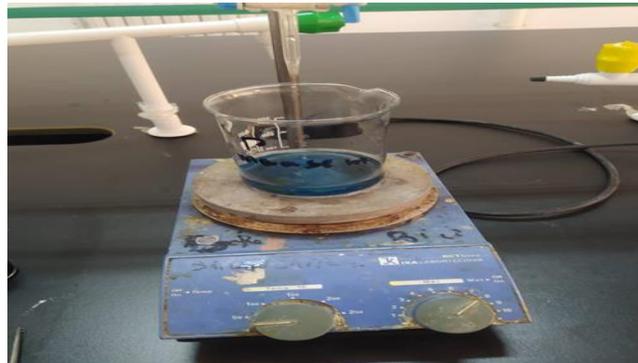


Figure 18: Mesure de la dureté totale.

4.3 Analyse physico-chimique effectuées sur le sol

4.3.1 Taux d'humidité

L'eau présente dans le sol joue un rôle essentiel. Les premières mesures à prendre consistent généralement à mettre en place des systèmes d'irrigation, de drainage ou parfois les deux

simultanément (Guet, 2003). L'eau du sol est un élément clé dans le processus d'infiltration, car sa capacité à absorber l'eau dépend également de la teneur en eau du sol (Musy et Higy, 2004).

4.3.1.1 Principe

Le pourcentage (ou pour mille) de perte de poids après séchage à 105 °C est utilisé pour évaluer la quantité d'humidité contenue dans la terre séchée à l'air (Dari, 2013).



Figure 19: Mesure de l'humidité.

4.3.2 pH

Le pH du sol est déterminé en analysant la concentration d'ions H⁺ dissociés dans le liquide surnageant de la solution (terre/eau) (1/5). Cette mesure est effectuée à l'aide d'un pH-mètre (Mathieu et al, 2003).

4.3.2.1 Principe

Le pH du sol est évalué en utilisant un rapport sol/solution de 1/2,5. Pour la première mesure, de l'eau déminéralisée est utilisée. La seconde mesure est réalisée dans une solution de chlorure de potassium (Petard, 1993).

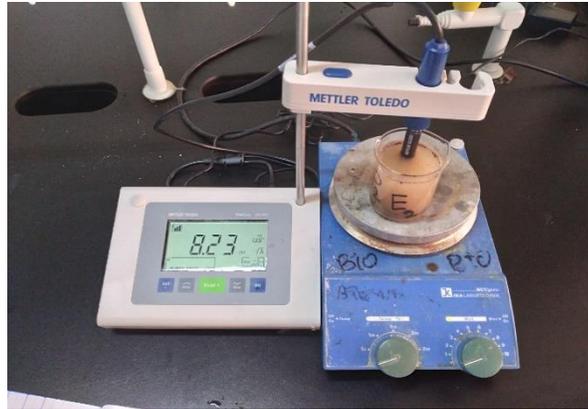


Figure 20: Mesure du pH d'un échantillon de sol à l'aide d'un pH mètre.

4.3.3 Granulométrie

La texture du sol peut être déterminée à travers une analyse granulométrique, qui se base sur la quantité de sédimentation des éléments séparés et dispersés suite à la destruction de la matière organique par l'attaque au peroxyde d'hydrogène. Des échantillons de ces matériaux sont prélevés à l'aide d'une pipette Robinson, ce qui permet de mesurer les proportions d'argile fine et de limon. Par la suite, la fraction sableuse est évaluée avec soin (**Benfdia et Chaenine, 2014**).



Figure 21: Analyse granulométrique par la méthode de la pipette de Robinson.

4.3.4 Conductivité électrique

Le système d'humidité du sol repose sur une solution contenant différents ions qui confèrent au sol une certaine conductivité électrique. Cette conductivité est également influencée par les minéraux et les composants organiques du sol, qui ont tendance à avoir des propriétés isolantes.

En général, la conductivité électrique d'un matériau terrestre est déterminée par sa structure, sa composition et sa teneur en eau (Calvet, 2003).

4.3.4.1 Principe

La détermination de la salinité du sol dépend du principe d'extraction de l'électrolyte dans lequel les substances dissoutes sont mesurées. Au laboratoire, l'électrolyte est extrait sous vide d'un échantillon de sol séché à l'air, bouilli à 2 mm et ramené à une eau donnée, celle-ci varie selon la méthode de préparation de l'extrait. L'une des méthodes d'extraction les plus couramment utilisées est l'extrait dilué : le rapport entre le sol et l'eau peut varier selon les laboratoires, mais il est généralement de 1/5 : le rapport eau ajoutée est de 5 fois la limite du sol (10g), c'est-à-dire un volume d'environ 50 ml (Montoroi, 1997).

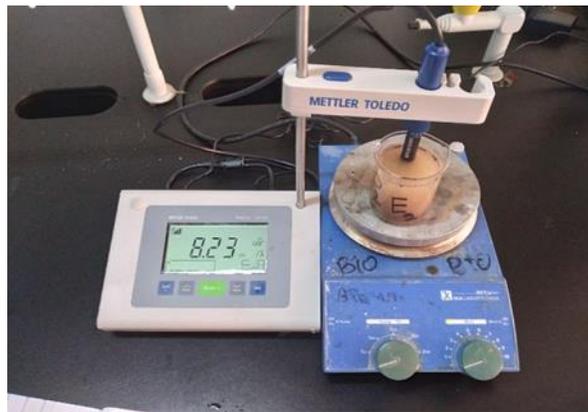


Figure 22: Mesure de CE.

4.3.5 Calcaire total

Le calcaire est du carbonate de calcium ; il se présente sous forme de corps plus ou moins gros ; D'un point de vue granulométrique, ce sont 32 $\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

Similaires aux autres grains de sable du point de vue physique, ces grains diffèrent cependant chimiquement. En effet, les meilleurs d'entre eux ont la capacité de libérer du calcium, ce qui empêche les acides de nuire et rend ainsi le sol basique (Pousset, 2002).

4.3.5.1 Principe

La concentration en calcium a été déterminée par une méthode volumétrique à l'aide d'un calcimètre Bernard. L'échantillon est attaqué avec HCl 37%, le volume de CO₂ dégagé est mesuré ; une mole de CO₂ correspond à une mole de CaCO₃. Le CO₂ dégagé est comparé à celui récupéré en poids de carbonate de calcium pur (Bedjadj, 2011).



Figure 23: Mesure du calcaire total.

4.3.6 Calcaire actif

Une fraction du sol, connue sous le nom de calcaire, a la capacité de libérer du calcium assez facilement. Il convient de noter que la relation entre le calcaire total et le calcaire activé n'est pas automatique : un sol peut contenir une quantité élevée de calcaire total tout en étant pauvre en calcaire activé. La présence de calcaire activé peut être préjudiciable à certaines plantes, comme les arbres fruitiers, mais elle contribue à la solidité du complexe argilo-humique et à la stabilité des matériaux de construction (Pousset, 2002).

4.3.6.1 Principe

Le CaCO₃ actif (%) est déterminé par la méthode Drouineau-Gallet en utilisant de l'oxalate d'ammonium qui est combiné avec du calcium de calcaire à dissolution rapide (calcaire actif) pour former des oxalates de calcium faibles. L'oxalate d'ammonium en excès est ensuite placé dans une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique (Benseghir, 2006).



Figure 24: Mesure de calcaire actif.

4.3.7 Matière organique (MO)

Le dosage de la matière organique est réalisé selon la méthode de Walkley et Black modifiée. Le taux de matière organique est calculé par l'équation ci-dessous, après avoir estimé le carbone organique (C.O.) à 58% de la M.O (Mathieu et al, 2003).

$$\text{MO (\%)} = \% \text{ C} \times 1,724$$

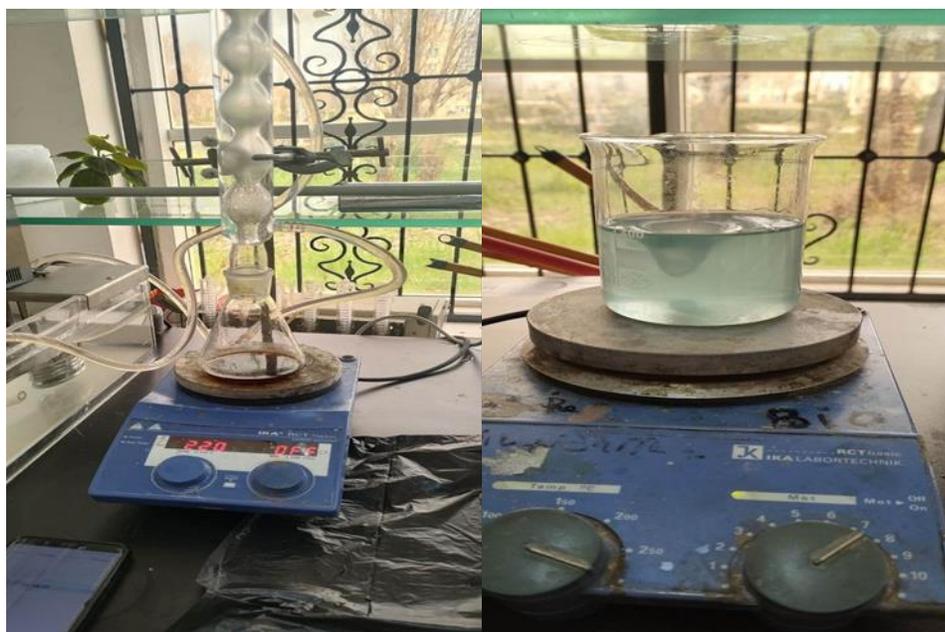


Figure 25: Mesure de la matière organique.

4.3.8 Eléments fertilisants (NPK)

La détermination des éléments fertilisants (NPK) a été effectuée dans la solution du sol agricole prélevé, à l'aide des électrodes des capteurs spécialisés.

La méthode d'utilisation des capteurs des sols implique généralement l'installation des capteurs à des profondeurs spécifiques dans le sol, en utilisant des techniques telles que le forage ou l'enfouissement. Les capteurs sont connectés à des systèmes de collecte de données qui enregistrent et stockent les mesures effectuées par les capteurs. Ces données peuvent être analysées pour évaluer les conditions du sol, surveiller les variations temporelles et spatiales, et prendre des décisions éclairées en matière de gestion agricole, d'irrigation, de drainage et d'autres pratiques liées aux sols.

4.3.8.1 Azote total

L'azote est présent dans le sol sous forme organique et minérale, notamment sous forme de nitrates et d'ammonium. L'azote organique représente plus de 95 % de l'azote total. En milieu basique, les ions NH_4^+ sont libérés par distillation sous forme de NH_3 . Ensuite, cet ammoniac est capturé dans une solution d'acide borique, où il réagit pour régénérer les ions NH_4^+ tout en éliminant la partie acide. Enfin, de l'acide chlorhydrique 0,01N est ajouté en présence d'un indicateur de pH. La quantité d'acide chlorhydrique utilisée correspond à la quantité d'ammoniac piégé, et donc à la concentration d'azote présente (Allen, 1974).

La méthode d'utilisation des capteurs des sols implique généralement l'installation des capteurs à des profondeurs spécifiques dans le sol, en utilisant des techniques telles que le forage ou l'enfouissement. Les capteurs sont connectés à des systèmes de collecte de données qui enregistrent et stockent les mesures effectuées par les capteurs. Ces données peuvent être analysées pour évaluer les conditions du sol, surveiller les variations temporelles et spatiales, et prendre des décisions éclairées en matière de gestion agricole, d'irrigation, de drainage et d'autres pratiques liées aux sols.



Figure 26: Mesure de l'azote.

4.3.8.2 Potassium

Le potassium est l'un des éléments clés présents dans la formule des engrais composés (N.P.K), utilisés pour favoriser la croissance des plantes. Son rôle dans le développement des végétaux est crucial, en faisant partie des éléments essentiels de leur nutrition. Les besoins en potassium des plantes sont particulièrement importants (**Loue, 1979**).

La concentration de potassium dans les sols est généralement plus élevée que celle de l'azote ou du phosphore. Cependant, cette concentration varie en fonction de la composition minéralogique de la roche mère et des pertes subies, notamment par l'exportation via les cultures, le lessivage dû au climat et l'érosion. La dynamique du potassium dans les sols est l'objet de nombreuses études, car différents processus y sont impliqués. Cependant, en raison des différentes formes et proportions de potassium présentes dans chaque sol, une recherche spécifique et individuelle est nécessaire, comme le souligne (**Halilat, 1993**).



Figure 27: Mesure de potassium.

4.3.8.3 Phosphore

Le phosphore joue un rôle crucial dans la croissance des plantes en tant qu'un des 17 éléments nutritifs essentiels. Aucun autre élément nutritif ne peut accomplir les fonctions spécifiques qu'il remplit, et une quantité adéquate de phosphore est nécessaire pour favoriser la croissance et la reproduction des plantes. En tant que substance nutritive essentielle, le phosphore est souvent en quantité insuffisante pour répondre aux besoins de production agricole. Présent dans chaque cellule vivante des plantes, le phosphore (P) est d'une importance vitale, avec une concentration généralement comprise entre 0,5 % et 1 % dans ces cellules (Saouli, 2016).



Figure 28: Mesure du phosphore.

4.4 Métaux lourds

Les teneurs du sol en plomb, zinc et cadmium ont été déterminés à l'aide d'un spectrophotomètre à absorption atomique.

La spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) constitue un outil privilégié d'analyse en environnementales. Elle autorise le dosage d'éléments majeurs et traces dans divers types de substrats : végétaux, sols, sédiments, roches, aliments, déchets solides, effluents liquides, eaux souterraines, eaux de surface, eaux usées, etc (Seghairi et al., 2013).

La spectrométrie d'absorption atomique fait partie des méthodes classiques d'analyse en chimie analytique. Basée sur des méthodes optiques, elle conduit aussi bien à des résultats qualitatifs qu'à des données quantitatives. L'absorption est utilisée généralement pour faire un dosage d'un élément (Sarmani, 1989).

4.4.1 Analyses des éléments trace métalliques dans les cultures

Pour déterminer quelques les teneurs du plomb, zinc et cadmium dans les plantes, la partie aérienne du blé dur d'orge ont été séchés à 60°C et broyés au broyeur planétaire dans des cylindres et billes en zirconium. Les échantillons ont été minéralisés à l'aide d'un mélange de HNO₃ et de H₂O. Les éléments minéraux et les éléments trace métalliques ont été déterminés par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) (Wiche et al, 2016).



Figure 29: Mesure des ETM sol-plante.

Chapitre 5. Résultats et Discussion

5.1 Résultats des analyses physico-chimiques d'eau d'irrigation

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

Tableau 2: Résultats obtenus pour les analyses d'eau.

Paramètre	Min	Max	Moyenne	Les normes
T °C	14.9	15.2	15.1	25 (Jora, 2014) (Annex 01)
PH (Unité pH)	7.94	7.98	7.96	≥ 6,5 et ≤ 9 (Jora, 2014)
CE µS/cm	1630	1740	1670	2800 (Jora, 2014)
MO	11.2	19.2	15.2	Classification (ANRH Tiaret, 2015)
Alcalinité (mg/l)	10.98	12.2	11.59	65 (Jora,2014)
Dureté total (mg/l en CaCO ₃)	106.08	122.4	114.24	500 (Jora, 2014)
Résidu sec (mg/l)	1233.83	1235.03	1234.43	Classification (ANRH, 1999)
Chlorure (mg/l)	194.57	289.30	241.93	500 (Jora, 2014)

Il est important de noter que la température de l'eau est influencée par le climat et les conditions atmosphériques, comme mentionné dans la référence de **Rodier (1996)**. Des variations saisonnières et des fluctuations à court terme peuvent également affecter la température des eaux de surface.

Selon les résultats de tableau n°2, la température des eaux de surface du barrage Dahmouni varie entre 14,9°C et 15,1°C. Ces valeurs sont inférieures à la norme algérienne pour les eaux de surface, qui est de 25°C d'après les normes de **(Jora, 2014)**.

Le pH est un paramètre physique qui mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une substance. Les normes algériennes des eaux JORA en 2014, spécifient que le pH des eaux de surface doit être compris entre 6,5 et 9.

Dans le cas des eaux du barrage du Dahmouni, les valeurs de pH mesurées se situent entre 7,94 et 7,98. Ces valeurs sont donc conformes aux normes algériennes, ce qui suggère que le pH de l'eau du barrage est dans la plage recommandée.

La conductivité électrique (CE) d'une eau nous renseigne sur les variations de sa composition, qu'elle soit d'origine naturelle ou anthropique **(Draouache et Gharbi, 2019)**. La CE mesure la capacité d'une solution à conduire l'électricité et est souvent utilisée comme indicateur de la concentration des sels dissous et d'autres substances dans l'eau.

Dans le cas des échantillons prélevés, les mesures de la CE montrent que toutes les valeurs se situent entre 1630 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 1740 $\mu\text{s}/\text{cm}$, telles que présentées dans le tableau. Ces valeurs se situent en dessous de la norme algérienne pour les eaux de surface, qui est de 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$ selon JORA en 2014.

La dureté de l'eau est liée au lessivage des terrains traversés et elle correspond à la teneur en calcium (Ca) et en magnésium (Mg). On parle de dureté totale d'une eau ou de titre hydrométrique (TH). Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un volume d'eau par un acide minéral dilué **(Rodier, 2008)**.

D'après les informations fournies dans le tableau, les valeurs mesurées pour la dureté totale se situent dans une plage allant de 106,08 mg/l à 122,4 mg/l. La valeur moyenne calculée est de 114,24 mg/l.

Selon JORA (2014) Cela signifie que les valeurs mesurées dans cette étude sont bien en dessous de la norme 500mg/l.

L'alcalinité d'une eau fait référence à la présence d'hydrogénocarbonates, de carbonates et d'hydroxydes. On distingue également le TA, qui mesure la teneur en alcalis libres et en carbonates alcalins caustiques, ainsi que le TAC, qui correspond à la teneur en alcalis libres, carbonates et hydrogénocarbonates, comme indiqué par Rodier en 2009.

Selon la norme algérienne pour les eaux de surface, la valeur recommandée pour l'alcalinité dans les eaux de surface est de 65 mg/l.

Dans le cas des échantillons analysés, les valeurs d'alcalinité se situent entre 10,98 mg/l et 11,59 mg/l. Ces valeurs sont significativement inférieures à la norme algérienne de 65 mg/l pour l'alcalinité des eaux de surface.

L'ion chlorure (Cl⁻) présente des caractéristiques distinctes par rapport aux autres éléments. Il n'est pas absorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec d'autres éléments chimiques et reste très mobile dans l'eau. La présence de chlorures dans les eaux est due le plus souvent à la nature des terrains traversés qui résulte de la dissolution des sels naturels, par la dissolution de la sylvite (KCl) et de l'halite (NaCl) (**Ibrahim, 2014**).

En se référant aux valeurs mentionnées dans le tableau, nous remarquons que les teneurs en chlorure oscillent entre 194.57 mg/l et 289.30 mg/l au barrage DahmounI. En comparaison avec les normes algériennes pour les eaux de surface, fixées à 500 mg/l selon JORA en 2014, on constate que ces valeurs ne dépassent pas la norme établie.

Selon **Rodier et al, (2005)**, le résidu sec désigne la quantité de matière solide présente dans l'eau, comprenant à la fois les matières en solution et en suspension. Les matières en suspension contribuent à la couleur brunâtre, voire sombre, de l'eau, ce qui affecte la pénétration de la lumière dans l'environnement aquatique et, par conséquent, a une incidence sur la faune et la flore aquatiques.

D'après notre étude, les eaux superficielles du barrage peuvent être classées dans la catégorie 3, correspondant à une "eau de passable qualité" selon la grille de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (**ANRH, 1999**).

D'après les résultats fournis, il semble que les matières organiques présentes dans les eaux étudiées sont principalement constituées de produits de décomposition d'origine animale ou végétale, formés sous l'influence de microorganismes. Ces matières organiques sont adsorbées et floculées en utilisant de l'hydroxyde d'aluminium, extraites à l'hexane et ensuite quantifiées par gravimétrie, selon la méthode décrite dans le livre de **Rodier (2009)**.

Les données enregistrées dans le tableau indiquent que les concentrations en matières organiques dans les échantillons d'eau prélevés sont élevées par rapport aux valeurs des normes. Ces concentrations varient entre 11,2 mg/l et 19,2 mg/l, avec une valeur moyenne de 15,2 mg/l. Ces résultats suggèrent que la qualité des eaux du barrage Dahmouni est très mauvaise en raison de la présence élevée de matières organiques.

5.2 Résultats des analyses physico-chimiques du sol

5.2.1 Granulométrie

La granulométrie permet la séparation des constituants minéraux du sol, et par conséquent les classer selon leur structure dans le tableau n°3

Tableau 3: Le résultat de l'analyse granulométrique du sol étudié.

Sol	Argile	Limons	Sables	Texteur
Parcelle 1	23.53 %	48.46 %	28.01 %	Limono-sableux.
Parcelle 2	25.55 %	43.45 %	31 %	Limono-sableux.
Parcelle 3	24.95 %	44.78 %	30.27 %	Limono-sableux.
Parcelle 4	27.23 %	42.99 %	29.78 %	Limono-sableux.

D'après le tableau n°3, on constate que les échantillons de sol qui ont été étudiés ont approximativement les mêmes proportions de limon et sable, et la proportion de limon varie entre 48.46% et 42.99 %, tandis que la proportion du sable varie entre 31 % et 28.01 %. Ainsi, La texture de ce sol se caractérise par le limono-sableux

5.2.2 Humidité

L'eau joue un rôle essentiel dans tous les phénomènes physiques, chimiques qui se produisent dans le sol. Elle pourra entrer en compétition avec les molécules organiques pour l'adsorption sur les matériaux solide, entraînant une baisse de l'adsorption des polluants lorsque le taux d'humidité du sol augmente (Sayyad et al., 2010). La figure montre les résultats obtenus pour les échantillons du sol.

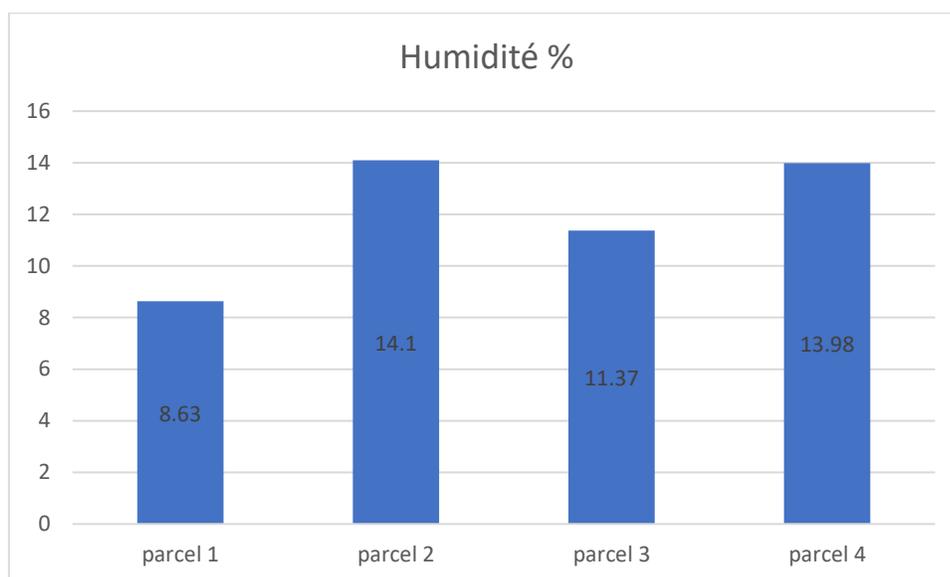


Figure 30: le taux d'humidité des sols.

Les niveaux d'humidité dans les échantillons des sols la figure n°30 se situant entre 8,63% et 14,1%. Cette valeur est influencée par les conditions climatiques telles que la faible pluviométrie, la rareté de l'eau pour l'irrigation et les températures élevées. Ces facteurs ont un impact négatif sur les niveaux d'humidité du sol. En contraste, une étude antérieure menée par (Saida et *al.* 2015) a révélé des niveaux d'humidité plus élevés, oscillant entre 15,59% et 22,88%. Cette disparité indique une différence significative entre les deux périodes d'étude en ce qui concerne l'humidité présente dans les échantillons de sol.

5.2.3 pH_{eau}

Le pH eau permet d'indiquer l'acidité actuelle du sol, les valeurs obtenues sont mentionnées dans la figure n°31

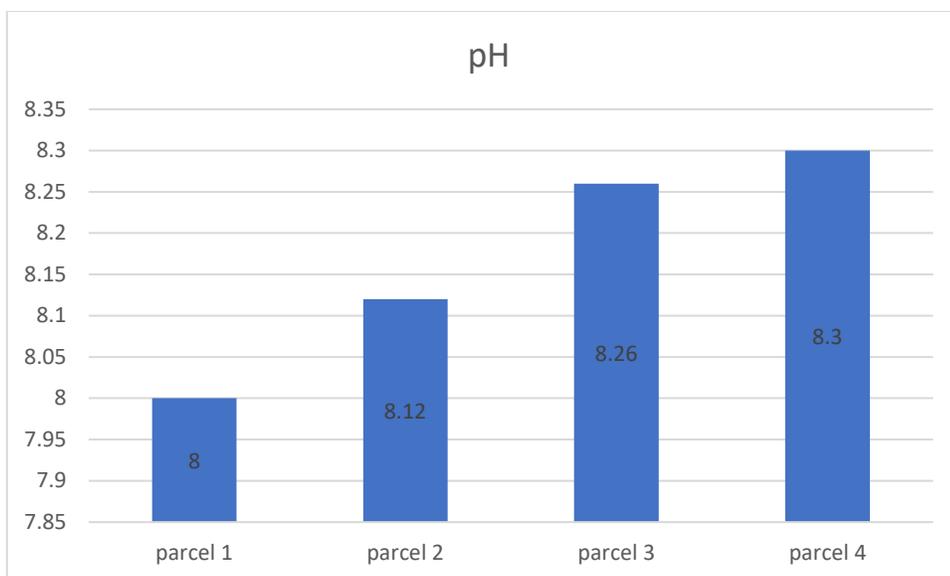


Figure 31: Résultat de l'analyse du pHeau.

Le pH indique l'acidité d'une solution, c'est un élément important intervenant dans plusieurs phénomènes complexes. En examinant la figure la figure n°31, on constate que les valeurs du pH dépassent 8 dans toutes les parcelles atteignant ainsi, ce qui indique l'alcalinité des sols.

Il est important de noter que certaines plantes sont très spécifiques quant au type de sol dans lequel elles prospèrent. Certaines préfèrent les sols acides (appelées plantes acidophiles), tandis que d'autres préfèrent les sols neutres ou riches en calcaire (appelées plantes calcicoles). (Rengasamy, P., & Marchuk, A. 2017).

5.2.4 pH_{KCL}

Le pH_{KCl} exprime l'acidité d'échange ou l'acidité potentielle la figure n°32, c'est un indice d'expérience du degré de saturation du complexe absorbant, ainsi que la nature chimique des ions fixés.

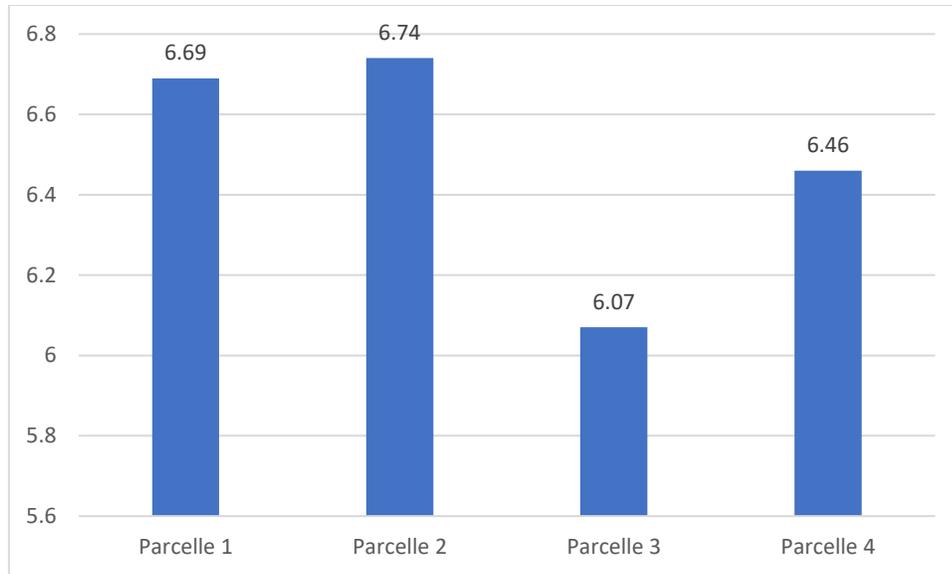


Figure 32: Résultat de l'analyse du pH_{KCl}.

Les valeurs de pH_{KCl} sont inférieures aux valeurs mesurées pour le pH eau, ceci est dû au fait que l'acidité réelle prend en compte uniquement les ions H₃O⁺ libérés dans la solution par le sol, alors que l'acidité potentielle (K⁺) prend en compte également les ions H₃O⁺ échangeables et adsorbés par la matière organique contenue dans le sol (**Moral, 2002**). Les résultats obtenus montrent que la majorité des sols ont un complexe adsorbant saturé en bases et réagissent peu aux variations de la solution du sol.

5.2.5 Conductivité électrique

Les valeurs de conductivité électrique ont été mesurées et les résultats sont représentés dans la figure n°33

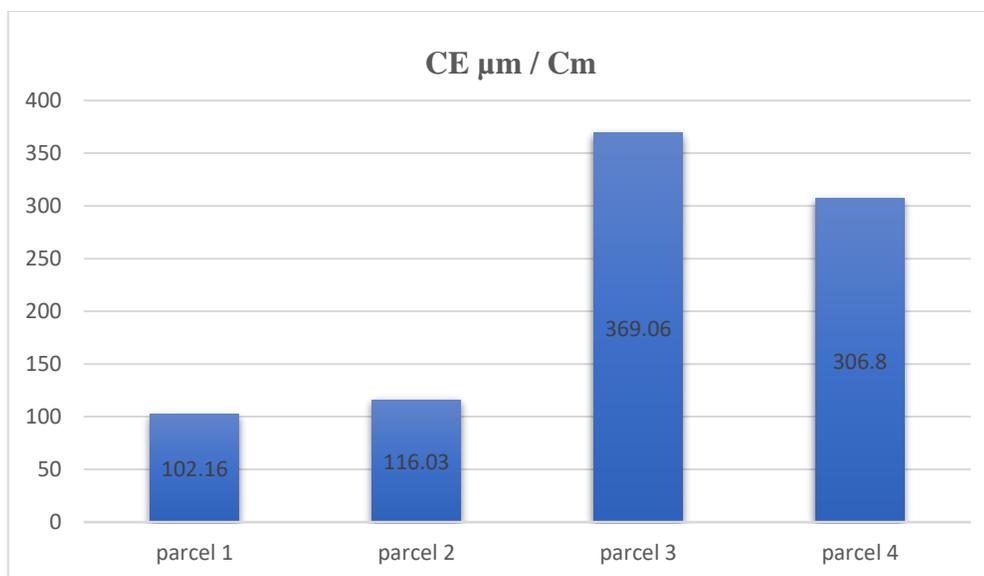


Figure 33: les valeurs de CE des échantillons de sol.

La conductivité électrique est une mesure couramment utilisée pour évaluer la salinité d'un sol, c'est-à-dire la présence de sels dissous dans l'eau du sol.

Selon les résultats obtenus dans la figure n°33, les valeurs de conductivité électrique varient entre 102,16 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 369,06 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En se basant sur la classification proposée par **Durand (1983)**, ces échantillons de sol sont considérés comme non salés.

5.2.6 Calcaire total

Le calcaire total est un facteur influençant fortement le métabolisme de certain végétal dit calcifuge et qui est l'ensemble des éléments nutritifs dans le sol (**Messahel1 et al., 2011**).

La figure n°34 permet de montrer la distribution des classes de calcaire total pour les quatre parcelles.

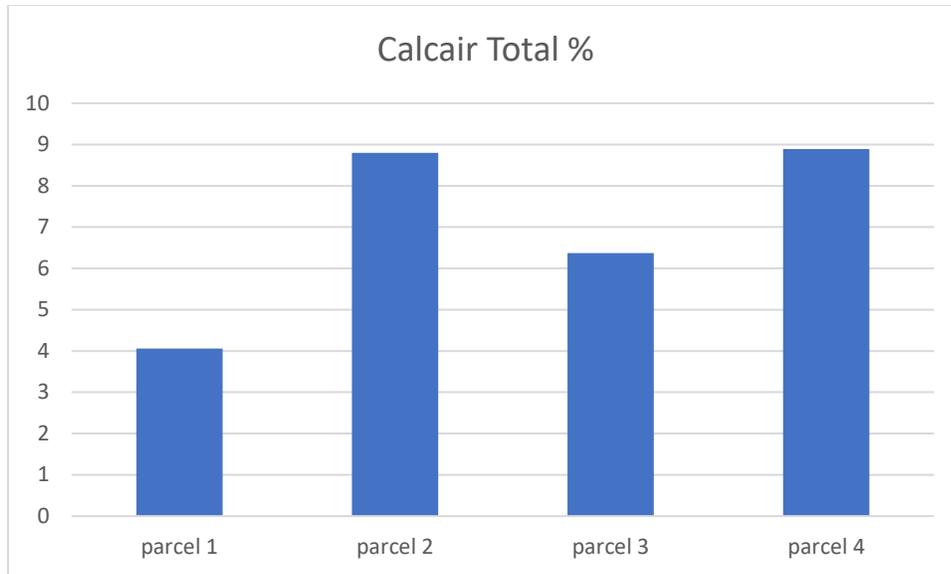


Figure 34: Résultat de l'analyse du calcaire total.

La présence de calcaire dans le sol dès la surface provoque une augmentation de la teneur en matière organique total Le calcaire total est un facteur influençant fortement le métabolisme de certain végétal et qui est l'ensemble des éléments nutritifs dans le sol (**Michel et al., 2011**)

Nous remarquons que les résultats dans la figure n°34 du calcaire total des quatre parcelles présentent, varient entre 4% et 8%.

Le fait d'avoir trouvé du calcaire dans nos sols est probablement dû à la présence d'une dalle calcaire en profondeur, car selon **Schwartz et al, (2005)**, les sols formés sur des roches calcaires sont riches, voir êtres riches en calcium.

5.2.7 Calcaire actif

Calcaire actif et la fraction du calcaire total susceptible de se dissoudre facilement et rapidement dans la solution du sol. Le calcaire actif correspond au calcaire fin qui entre dans les réactions du sol qui est présente dans la terre fine (**Baize, 1988**). Les résultats des analyses du calcaire actif sont illustrés dans la figure n°35.

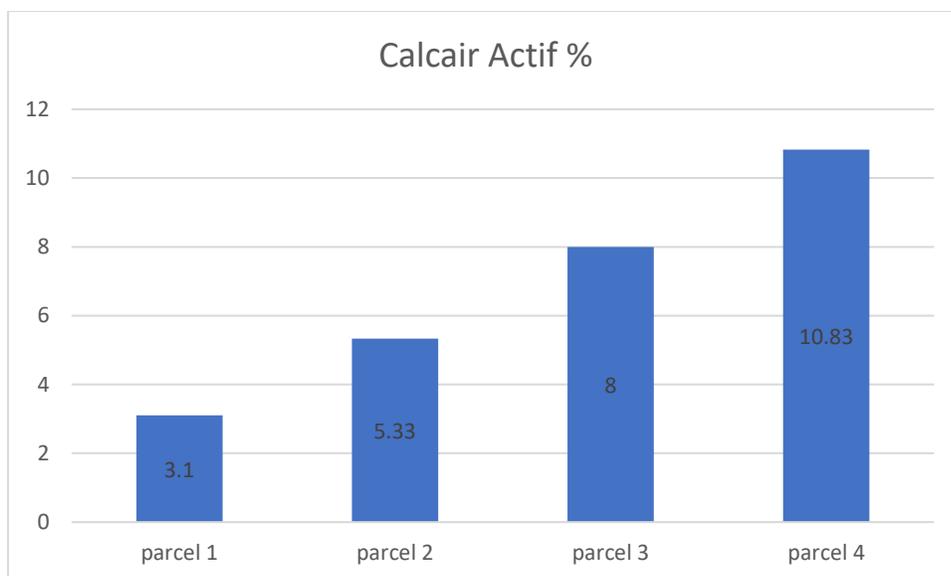


Figure 35: Résultat de l'analyse du calcaire actif.

Les résultats des analyses de calcaire actif des 4 parcelles agricoles dans la figure n°35, montrent que les valeurs de calcaire actif se situent entre 3,1% et 10,83%. Selon **Pousset (2002)**, on considère généralement que des problèmes sérieux peuvent commencer à apparaître à partir de teneurs en calcaire actif voisines de 50%.

En se basant sur cette référence, les valeurs obtenues dans les analyses indiquent que les teneurs en calcaire actif du sol des parcelles sont relativement faibles. Elles se situent bien en dessous du seuil où des problèmes sérieux peuvent se produire en raison d'un excès de calcaire actif.

5.2.8 Matière organique

Le taux de matière organique des différents sols étudiés est mentionné dans la figure n°36

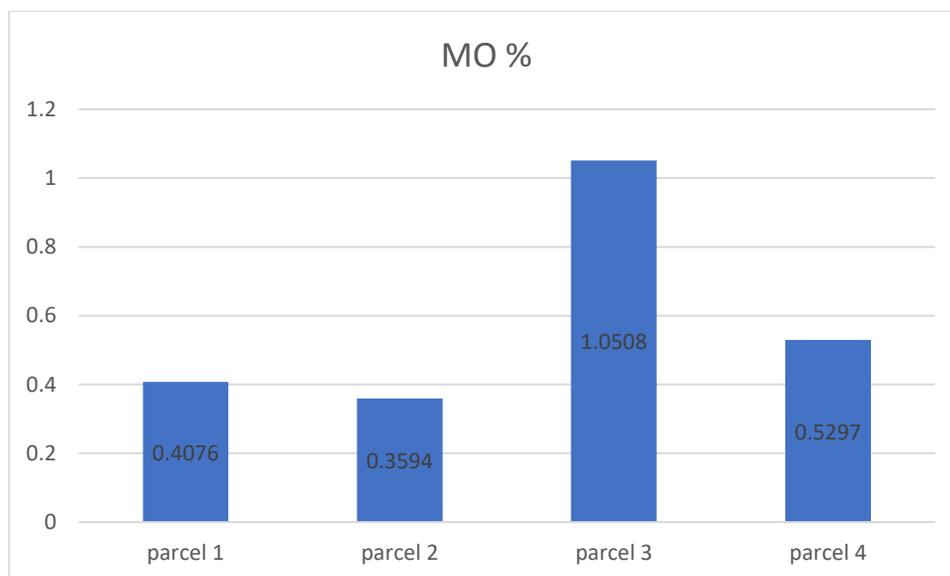


Figure 36: Résultat de l'analyse du MO.

La figure n°36 montre que le sol de parcelles étudiées présente un taux de matière organique assez faible (0,40% à 1,05% %). Pour des sols agricoles cette teneur en matière organique classe ces sols parmi les plus faibles (Morand, 2001).

5.2.9 Eléments nutritifs majeurs (NPK)

La concentration de l'engrais NPK présente des variations spatiales au sein de chaque parcelle, ce qui indique la nécessité d'une fertilisation du sol. Le phosphore joue un rôle essentiel dans la production de fleurs, de bourgeons, de racines et de fruits sains. L'azote favorise la croissance des feuilles, tandis que le potassium maintient la santé générale des plantes. Ces éléments nutritifs sont indispensables pour optimiser le développement et le rendement des cultures, soulignant ainsi l'importance de fournir un équilibre adéquat d'engrais NPK pour répondre aux besoins spécifiques des plantes et favoriser leur croissance et leur productivité.

5.2.9.1 Azote total

La figure n°37 représente la concentration de l'azote total dans les sols de différentes parcelles agricoles étudiés.

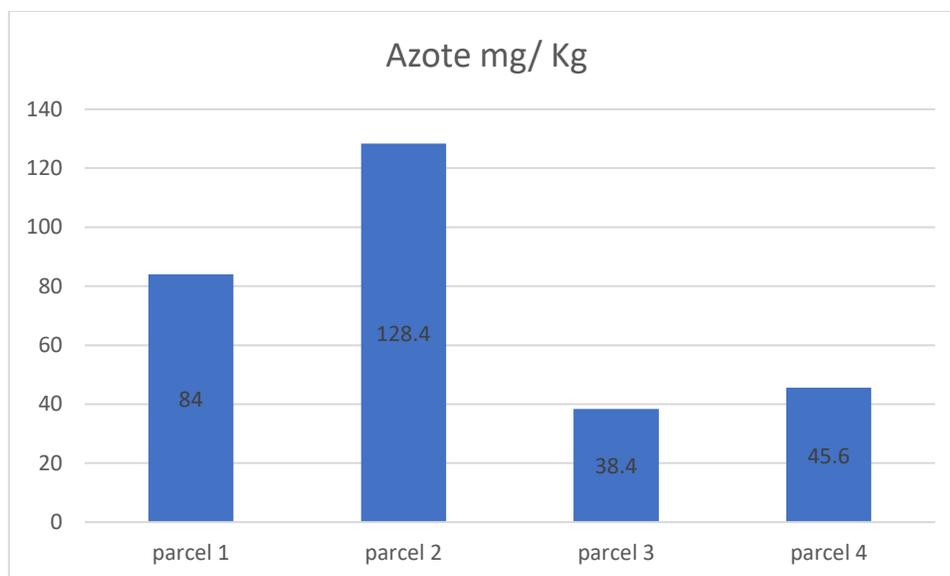


Figure 37: Résultat de l'analyse de l'azote total.

D'après les résultats présentés dans la figure n°37, il apparaît que les niveaux d'azote total sont riches dans les quatre parcelles étudiées. Ces niveaux élevés d'azote total sont comparés aux normes établies par (Anonyme, 1990).

Le terme "riche" suggère que les niveaux d'azote total dans les parcelles sont supérieurs à ce qui est considéré comme normal ou optimal selon les normes de référence de 1990. Cela peut avoir des implications significatives, car un excès d'azote peut entraîner des problèmes environnementaux et agricoles.

5.2.9.2 Phosphore total

La figure n°38 représente l'analyse de phosphore total dans les sols étudiés. Nous observons que les valeurs du phosphore sont entre (40 à 125mg/kg). Ces résultats montrent que la concentration du phosphore est très importante (**Joret-Hébert, 1955**).

L'élévation du phosphore dans les sols cultivés est généralement sous forme de groupement phosphate (PO_4). Par la suite, P désignera donc phosphate. La bio géochimie du P est extrêmement complexe non seulement à cause du nombre et de la nature des formes minérales et organiques rencontrées dans les phases liquide et solide du sol mais également pour les différences de processus chimiques, physiques et biologiques intervenant dans leurs transformations dans les conditions naturelles (**Morel, 2002**).

:

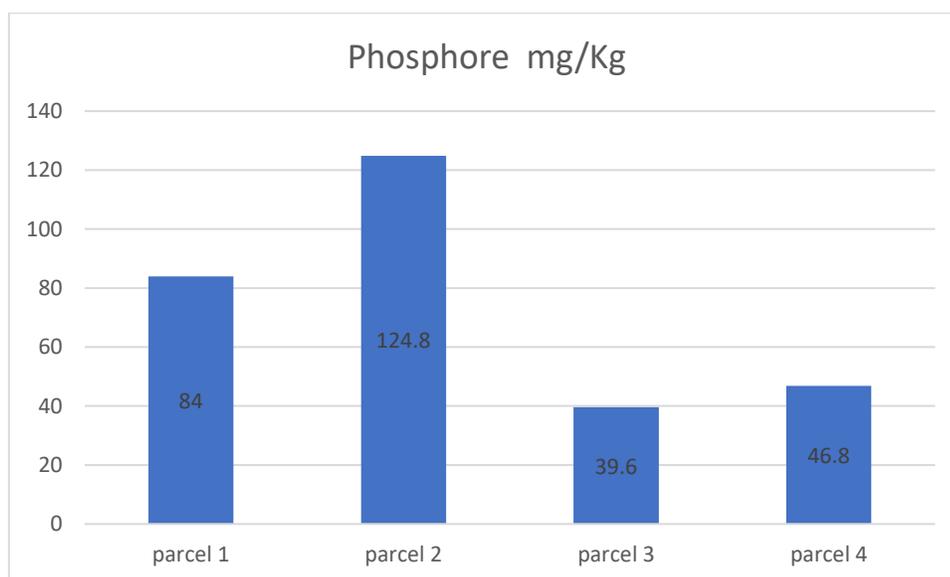


Figure 38: Résultat de l'analyse du phosphore total.

5.2.9.3 Potassium

La teneur en potassium dans les sols est généralement plus élevée que celle de l'azote ou du phosphore. Elle diffère d'après la composition minéralogique de la roche mère et l'intensité des pertes, par exportation (cultures), lessivage (climat) et érosion. Potassium est l'un des éléments clés présents dans la formule des engrais composés (NPK), utilisés pour favoriser la croissance des plantes. Son rôle dans le développement essentiel de leur nutrition. Besoins en potassium des plantes sont particulièrement importants (**Loue, 1979**).

Dans les sols, les processus qui intéressent la dynamique du potassium sont beaucoup étudiés. Mais du fait de l'existence des différents états de potassium en proportions variables, chaque sol nécessite une recherche particulière et individuelle (**Halilat, 1993**).

La figure n°39 représente l'analyse de potassium dans le sol de parcelles étudiées. Nous observons que les valeurs du potassium varient entre 108mg/kg et 334mg/kg, ces concentrations sont très importantes dans les sols agricoles étudiés (**AFNOR, 1985**). Les résultats de notre étude, montrent également que le degré de potassium est supérieur à celui de l'azote et de phosphore.

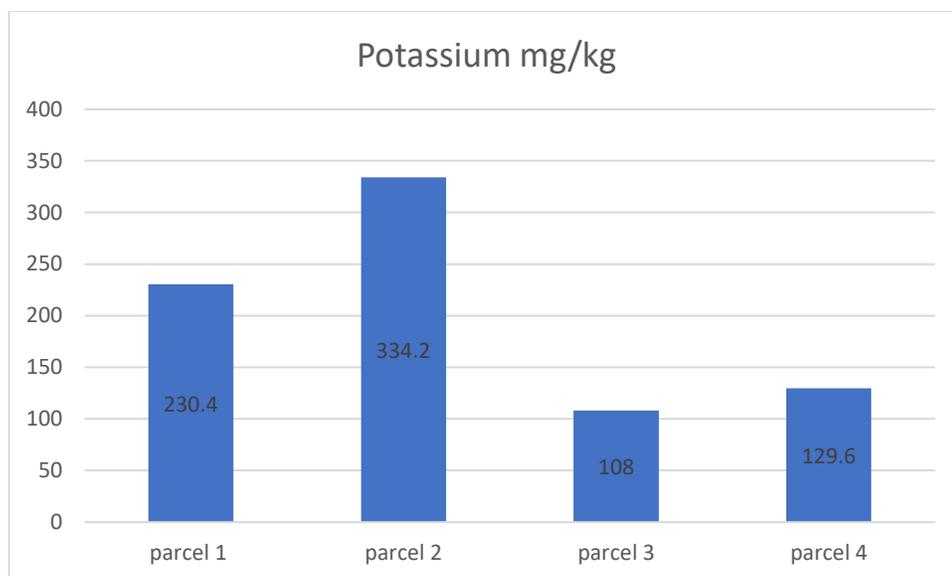


Figure 39: Résultat de l'analyse de potassium.

5.3.1 ETM

Les éléments traces métalliques que nous avons évalués sur le sol des parcelles agricoles étudiés sont : le plomb, le zinc et le cadmium, les valeurs acquises sont mises dans le tableau n°4

Tableau 4: Résultat de l'analyse des ETM dans les sols.

Sol / ETM	Parcelle 1	Parcelle 2	Parcelle 3	Parcelle 4	Lesnormes AFNOR Mg/kg
Pb mg/kg	104.2933	120.7167	102.5633	103.69	100
Zn mg/kg	319.9667	324.6667	300.53	310.4333	300
Cd mg/kg	1.683333	2.54	1.686667	0.89	2

Il ressort que le Zinc est l'élément les plus fréquents, suivis par le plomb puis le Cd ; mais sur le plan des parcelles, nous constatons que la première parcelle est plus polluée que les autres.

Selon les résultats obtenus dans le tableau n°4, le plomb semble être potentiellement peu mobile, ce qui signifie qu'il a tendance à rester relativement immobile dans le sol les parcelles. Cela peut être déduit des moyennes de concentration de plomb mesurées dans chaque parcelle, qui sont relativement proches les unes des autres.

Les teneurs totales en plomb dans les différentes parcelles dépassent les normes AFNOR, qui indique une limite de 100 mg/kg. Par conséquent, on peut conclure qu'il y a une pollution des sols par le plomb dans l'ensemble des parcelles.

Les teneurs en cadmium dans les différentes parcelles (1, 3 et 4) sont relativement faibles et élevé dans parcelle 2, selon les normes de l'AFNOR. Par conséquent, on peut conclure qu'il y a une légère pollution métallique en cadmium dans les sols. Le cadmium est principalement lié aux carbonates dans les échantillons de sol.

Le cadmium peut être potentiellement libéré dans l'environnement à partir des sols contaminés. Cela pourrait être dû à des facteurs tels que les caractéristiques des sols, les conditions environnementales ou les activités humaines. Une libération potentielle du cadmium pourrait constituer un risque pour les écosystèmes environnants et la santé humaine (**Baumont et al., 2004**).

Le zinc présente les concentrations les plus élevées dans toutes les parcelles. Il est important de noter que les teneurs en zinc dans toutes les parcelles dépassent les limites définies par AFNOR, qui fixe une limite de 300 mg/kg. Cela indique une contamination importante des sols par le zinc au fil du temps.

KOUAME et al., (2006) indiquent que cet élément a toujours tendance à s'accumuler dans les horizons de surface riches en matières organiques et dans les couches argileuses. Les éléments Zn et Cu migrent peu en profondeur, sauf dans des conditions particulières de drainage, ou en milieu très acide (**Mclaughlin et al., 2000 ; Adriano, 1986 ; Pichard et al., 2004 in Gouaidia ., 2008 ; Brar et al., 2002**).

Une concentration élevée de zinc dans les sols peut être une véritable problématique, car le zinc peut avoir des effets néfastes sur les écosystèmes et la santé humaine. L'accumulation excessive de zinc dans les sols peut entraîner des déséquilibres écologiques, affectant la biodiversité des organismes du sol et des plantes. De plus, l'exposition à des niveaux élevés de zinc peut avoir des effets toxiques sur la santé humaine, en particulier lorsqu'il est ingéré par le biais de la chaîne alimentaire (**Koller, 2004**).

Une forte teneur en ETM a des conséquences désastreuses sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Elle conduit à la stérilisation des sols et à l'élimination de sa biodiversité faunistique et floristique entravant ainsi le fonctionnement de son écosystème.

5.3.2 Résultats des analyses des ETM dans les cultures

Les éléments traces métalliques mesurés le blé et l'orge des sols étudiés sont : le Plomb, le Cadmium et le Zinc, les quantités obtenues sont mises dans le tableau dans le tableau n°5.

Tableau 5: Résultat de l'analyse des ETM dans les plantes.

Sol Statistique	Parcelle 1 (orge)	Parcelle 2 (orge)	Parcelle 3 (blé)	Parcelle 4 (blé)	Lesnormes AFNOR mg/kg
Zn mg/kg	236.78	75.37	49.1	74.66	50
Pb mg/kg	73.63	9.23	8.9	8.64	1,0
Cd mg/kg	1.36	1.22	0.96	0.93	0,05

Il ressort que la présence d'ETM dans toutes les plantes des différentes parcelles est dominée par la forte concentration de Zn suivie par le Pb et le Cd particulièrement au niveau de la parcelle numéro 1 de l'orge.

Le Zn est considéré comme un élément de base nécessaire à la croissance de la plante. Les résultats indiquent des concentrations nettement plus élevées de zinc (Zn) les cultures étudiées

En comparant les valeurs du zinc aux normes définies dans le tableau (50 mg/kg), on peut constater que les parcelles (1,2 e t4) dépassent largement la limite supérieure.

La parcelle 1 d'orge présente la concentration la plus élevée de zinc, Cela indique une contamination importante du sol par le zinc dans cette parcelle.

Il est important de noter que des teneurs élevées en zinc peuvent avoir des implications environnementales et pour la santé humaine. Bien que le zinc soit un élément essentiel pour les organismes vivants, des niveaux excessifs peuvent causer des problèmes, notamment des perturbations écologiques et des effets néfastes sur les écosystèmes et les organismes vivants.

Les résultats de l'étude indiquent que les concentrations de plomb (Pb) dans les plantes des quatre parcelles sont nettement supérieures au seuil de toxicité pour les plantes. En particulier, la concentration de plomb dans la parcelle 1 (l'orge) dépasse largement ce seuil.

Il existe une différence significative entre les teneurs en Pb dans le sol et celles dans le végétal, en règle générale, les concentrations en Pb d'une plante sont étroitement corrélées aux concentrations en Pb du sol, d'après **Kabata- PEndias et PEndias (1992)**, cette corrélation doit être nuancée et tenir compte en particulier de l'organe (racines, tiges, feuilles, fruits, etc.). Bien que le Pb soit dans le sol un élément très peu soluble, il peut s'accumuler dans les racines et particulièrement dans les membranes cellulaires. La translocation de Pb vers les parties épigées d'une plante est un phénomène très limité. Ce qui fait que le Pb n'est pas un toxique systématique en ce sens qu'il ne diffuse pas dans le système vasculaire de la plante, son absorption racinaire n'est effective qu'au-delà de 1000 ppm dans le sol, elle dépend entre autres des facteurs de la concentration totale dans le sol, de la concentration dans la solution du sol et de la spéciation (**Kabata- PEndias et PEndias, 1992**). La plante peut également absorber Pb par les feuilles. Les métaux lourds des eaux usées se fixent, généralement, dans le sol, mais une faible partie reste en solution dans les eaux d'irrigation (**Landreau, 1987 ; Cadillon, 1989**).

Les résultats de l'étude révèlent que les concentrations de cadmium (Cd) dans les cultures des parcelles est largement supérieur à la norme établie pour le cadmium, fixée à 0,05 mg/kg

Cela signifie que les niveaux de cadmium mesurés dépassent considérablement la limite de sécurité recommandée pour ce métal. Le cadmium est un métal lourd toxique qui peut avoir des effets néfastes sur la santé des plantes et sur l'écosystème environnant.

Le cadmium a tendance à affecter sensiblement les paramètres de croissance (**Chugh et Sawhney, 1995 ; Herrieche, 2004**). Lors de leur croissance les plants utilisent les composés

disponibles au niveau de leurs racines, la dissipation de concentration de cadmium dans le sol fait qu'une quantité infime amenée au contact de racines des plants. Cette faible quantité va légèrement influencer la croissance des plants.

L'accumulation des ETM dans le sol, en quantités excessives supérieures aux seuils limites, entraîneraient des phénomènes de phyto-toxicité pour les plantes. Comme elle présente également des risques pour l'homme et les animaux (**Ratel et al., 1986 in Tamrabet , 2011; Berdai et al.,1991**).

Conclusion

A Tiaret, l'utilisation des eaux brutes du barrage de Dahmouni en agriculture irriguée date de 1987, depuis la construction de ce barrage, et est toujours d'actualité. Le barrage est alimenté dans sa totalité par les eaux usées de la ville de Tiaret, les localités qui l'entourent ainsi que les eaux des pluies pendant la saison hivernale.

Dans cette contribution, nous avons évalué l'influence de l'irrigation avec les eaux de barrage Dahmouni sur les propriétés du sol d'une part et sur la qualité des cultures (orge et blé) d'autre part. Ainsi que, d'évaluer l'impact de l'irrigation à long terme avec ces eaux sur l'accumulation des métaux lourds dans le sol et les cultures.

Les résultats obtenus sur les paramètres physicochimiques des eaux utilisées pour l'irrigation montraient que cette dernière présente des températures stables varie entre 14,9°C et 15,1°C, un pH élevé 7,94 et 7,98, une conductivité électrique élevée entre 1630 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 1740 $\mu\text{s}/\text{cm}$, des teneurs élevées en chlorure et une présence élevée de matières organiques.

Les résultats recueillis ont montré que le sol des parcelles agricoles étudié a une texture limono-sableux, une influence importante des conditions climatiques, en particulier la faible pluviométrie, a été observée. Les sols ont été caractérisés par une alcalinité élevée, une faible salinité et la présence de calcaire à la surface. Les niveaux d'azote total, de phosphore et de potassium dans les sols ont été riches, ce qui indique une bonne disponibilité de ces nutriments pour les cultures. La concentration des métaux lourds était de l'ordre de $\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cd}$. Par conséquence, les concentrations des métaux lourds obtenues dans les sols dépassaient les limites de sécurité fixées par les normes AFNOR.

L'utilisation continue de cette eau entraîne des accumulations de métaux jusqu'à un niveau toxique pour les plantes. Les résultats montrent que les concentrations de Cd, de Pb et de Zn dans le blé et l'orge, étaient supérieures à la limite de sécurité des plantes, elles présentaient des menaces de toxicité. Pour cela, l'absorption et l'accumulation excessive de métaux lourds par les plantes cultivées dans les sols contaminés représentent la principale voie d'entrée des métaux lourds dans les denrées alimentaires

En effet, l'utilisation des eaux de barrage et les eaux usées en agriculture est devenue une pratique courante dans les régions où les déficits en eau les plus prononcés, son utilisation pour l'irrigation agricole est en croissance continue. Elle fournit en agriculture de l'eau, de l'azote, du phosphore, et de la matière organique et des polluants toxiques au sol, qui crée des opportunités et des problèmes pour la production agricole, respectivement. Par conséquent, l'application à long

terme de ces eaux a entraîné une accumulation importante de métaux lourds dans le sol. Ainsi, les métaux lourds sont des polluants toxiques prioritaires qui limitent considérablement l'utilisation bénéfique d'eaux de barrage et d'eau usées épurées ou non épurées.

Les eaux de barrage et les eaux usées, pour l'irrigation des cultures pourraient contribuer à atténuer voire réduire le déficit en eau, soutenir le secteur agricole et protéger les ressources en eau souterraines. Mais il est nécessaire de mentionner qu'une gestion appropriée de l'utilisation de ces eaux en agriculture et une surveillance périodique des paramètres de qualité de l'eau, du sol et des produits agricoles sont nécessaires pour des périodes fiables et longues. Puisque l'accumulation de métaux lourds dans les produits agricoles est devenue une préoccupation majeure dans le monde entier en raison de ses effets néfastes potentiels sur la santé humaine. Ils sont très toxiques, même à de très faibles concentrations en raison de leur nature cumulative.

La sensibilisation des agriculteurs et des parties prenantes à l'importance de la gestion de la qualité des cultures et de l'eau d'irrigation est également primordiale. Cela peut être réalisé par le biais de programmes de formation et de sensibilisation, encourageant l'adoption de pratiques agricoles responsables, telles que l'utilisation de techniques de gestion des sols, l'optimisation de l'irrigation et la réduction de l'utilisation de produits chimiques agricoles.

Références bibliographiques

A :

Abbas, s.t., sarfraz ,m., mehdi, s.m., hassan, g. ., obaid-ur-rehman . (2006). Accumulation des oligo-éléments dans les plantes irriguées avec de l'eau contaminée ; Soil & Tillage Research. 94 : pp 503–509.

ADE. (2004). Manuel d'analyses physicochimique. Bilan annuel des eaux. Tiaret, 55p.

ADE. (2021). Manuel des analyses de l'eau potable, rapport personnel Tiaret 43P.

aldura) en zone saharienne (région de Ouargla). Mémoire de Magister. I.N.E.S.

ALLEN, S.E. (1974). « Chemical analysis of ecological materials ». Blackwell Scientific Publication, London.

Asanoa T., Cotruvob J.A., (2004). Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations. Water Research 38, 1941–1951

B :

Baize, D. (1988). Guide des analyses courantes en pédologie, PARIS. 2^{ème} édit INRA.257p.

Baize, D., Sterckeman, T. décembre., (2002). Importance de la détermination du fond pédogéochimique pour évaluer la pollution des sols par des métaux : L'exemple du site de Dornach. Rencontre nationale de la recherche sur les sites et sols pollués. Paris. ADEME, p6.

Batna. 130 pages.

Baumont S., Camard J.P., Lefranc A et Franconi A. (2004). « Réutilisation des eaux usées épurées : Risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS » (Observatoire régional de santé d'Ile-de-France), France, 220 p.

Becerra-Castro C., Lopes A. R., Vaz-Moreira I., Silva E. F., Manaia C. M., Nunes, O. C., 2015. Wastewater reuse in irrigation: a microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. Int. J. Environ, vol. 75, pp. 117-135.

Bedjadj S., (2011). Contribution à l'étude des caractéristiques microbiologiques des sols dans la région de Ouargla (Cas de l'exploitation de l'université de Ouargla). Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en sciences agronomiques option mise en valeur des sols sahariens. Université Kasdi Merbah Ouargla. Pages : 06, 07,14, 37. 59P

Belaid, n. (2010). Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax : salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques. Thèse doctorat. Université Limoges, France, 236 p

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

Benfardia H., Chenine A., (2014). Effet de la nature du sol sur l'efficacité d'un dispositif de bio dépollution à l'aide des bactéries hydrocarbonates. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'un master académique en biologie spécialité microbiologie appliquée. Université Kasdi Merbah Ouargla. Page: 22. 43P.

Benseghir A., (2006). Contribution à l'étude de l'état nutritionnel par la méthode du diagnostic foliaire de trois variétés d'abricotier (*Prunus Armenia* çà L.) en zone aride (Commune de Doucen, W. Biskra). Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agronomie, option cultures pérennes. Université de Biskra. Page: 22. 43P.

BOSWELL F.C.; PARKER M.B. AND GAINES T.P., (1989). Soil zinc and pH effects on zinc concentrations of corn plants. *Communications in soil science and plant analysis*, 20(15-16) :1575-1600.

Bouaroudj, s., (2012). Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation. Mémoire de magistère en écologie. Faculté de science de la nature et de la vie. Université Mentouri, Constantine, 75p.

Boumediou, F.Z; Fakh, M., (2014). Etude de la qualité de l'eau « Exquise » destinée à l'irrigation des terres de EL Fehoul. Master en agronomie. Université Tlemcen

BOUMERFEG S., BAGHIANI A., DJARMOUNI M., AMENI D., ADJADJ M., BELKHIRI F., CHAREF N., KHENNOUF S and ARRAR L. (2012)- Inhibitory activity on xanthine oxidase and antioxidant properties of *Teucrium polium* L. extracts. *Chinese Medicine*, vol 3: 30-41.

C :

Calvet R., (2003). Le sol, Propriétés et fonctions : Phénomènes physiques et chimiques, applications agronomiques et environnementales. Tome2. Vol2. Editions France agricole. Paris. 513P.

Camuzard j. P., (2005). Le sol, un milieu complexe au pouvoir epurateur limite engref

Certu., (2004). Comparaison de méthodes d'analyse des Éléments Traces Métalliques ETM et des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques HAP sur les sols et les végétaux. Environnement / Eau et sols N° 01 80 00695 .103p

CHADOU, O., AHMIM, A. (2020). Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigation dans la région d'El Oued mémoire de master pp 6-7

CHAIGNON, V., (2001). Biodisponibilité du cuivre dans la rhizosphère de différentes plantes cultivées. Cas de sols viticoles contaminés par des fongicides. Thèse : Ecole doctorale, Sciences de l'Environnement : Système Terre, Université d'Aix-Marseille.Choisies. Tec & doc, 376p.

Couture, i. (2006). Analyse d'eau pour fin d'irrigation MAPAQ. Montérégie-Est AGRI- VISION 2003-2004, 8p.

D:

Dari R., (2013). Dénombrement de la biomasse microbienne des sols arides, exemple d'un sol salé sous deux types de cultures. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en sciences agronomiques, option mise en valeur des sols sahariens. Université Kasdi Merbah Ouargla.Pages:03, 34,53. 53P.

Debièche, T.H., (2002). Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse, Nord-Est Algérien. Thèse, Université de Franche-Comté, pp 38-60.

Debièche, T.H., (2002). Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse, Nord-Est Algérien. Thèse, Université de Franche-Comté, pp 38-60.

DEREGT B, 1990 « la situation mondiale et la culture de riz au Suriname » revue. Le courrier n24, P94, 95.

Dhaou-El-Djabine, K., (2005). Evaluation et comportement des métaux lourds (cd-Cr-Cu- Ni-Pb-Zn et Mn) dans les sols à vocation agricole et a végétation naturelle soumis a une pollution atmosphérique. (El-Hadjar - Annaba - est algérien). Influence de la végétation sur la dynamique de ces métaux. Thèse de doctorat. Université Mentouri de Constantine Département de la science de la nature et de la vie.

Dhaou-El-Djabine, K., (2005). Evaluation et comportement des métaux lourds (cd-Cr-Cu- Ni-Pb-Zn et Mn) dans les sols a vocation agricole et a végétation naturelle soumis a une pollution atmosphérique. (El-Hadjar - Annaba - est algérien). Influence de la végétation sur la dynamique

de ces métaux. Thèse de doctorat. Université Mentouri de Constantine Département de la science de la nature et de la vie.

DHT. (2005). Direction de l'hydraulique de la wilaya de tiaret. Etude de l'aménagement hydro-agricole de la plaine de Dahmouni ; risque et contrôle de la salinité des sols. Mars,2005. Ed. COBRA et SCET-TUNISIE.

Draouache et Gharbi, (2019) : Contribution à l'étude de la qualité des eaux du Barrage Bougara (Wilaya Tiaret). Dunod ,9^{ème} ed, Paris.78-79-118 p.

Durand J.H., (1983). Les sols irrigables, Etude pédologique. Presses Universitaire de France. Editions Agence de Coopération Culturelle et Technique. Paris. 339P.

Durand J.H., (1983). Les sols irrigables, Etude pédologique. Presses Universitaire de France. Editions Agence de Coopération Culturelle et Technique. Paris. 339P. édition, Ed, Dunod, Paris, 1434 p.

E :

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

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) 109- 122.

F :

FABY J. A. ET BRISSAUD F., (1997). La réutilisation des eaux usées épurées dans les schémas directeurs d'assainissement et dans certains cas, pour économiser l'eau. Environnement et techniques / infos - déchets Juillet-Août 1997. N° 168.

Faby, j.a., brissaud, f. (1997). L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau. 76 p.

FAO (1975). Food Alimentation Organisation Les besoins en eau des cultures.

FAO. (2003). Les Terres Et L'agriculture 15p.

Fars, s., bousselhaj, k., nejmeddine, a., ouazzani, n., laghmari, a., bouadili, a. (2003). Réutilisation d'une eau résiduaire brute et purée en agriculture : Disponibilité de l'azote et trois

métaux lourds (Cu, Cd et Cr). Séminaire internationale : Réutilisation des eaux usées traitées et des sous-produits de l'épuration : optimisation, valorisation et durabilité, Tunis, Tunisie

Flores, I ; Blas, G ; Hernandez, G ; Alcalá, R. (1997). Distribution et extraction séquentielle de certains métaux lourds dans des sols irrigués par les eaux usées traitées en Mexique. *Water, Air and Soil Pollution*. 98 : pp 105-117.

G :

Gharbi A. (2019). Contribution à l'étude de la qualité des eaux du barrage de Bougara (W. Tiaret). Mémoire de de Master académique. Université Ibn Khaldoun–Tiaret. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. P54.

GUPTA N., KHAN D.K. AND SNATRA S.C., (2007). An assessment of heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater irrigated areas of Titagarh, West Bengal, India. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 80 :115-118.

H :

Halilat M.T., (1993) : Etude de la fertilisation azotée et potassique sur blé dur (variété

Hlavackova, P., (2005). Evaluation du comportement du cuivre et du zinc dans une matrice de type sol à l'aide de différentes méthodologies. Thèse de Doctorat, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, pp207.

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.

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.

J :

Jasim S. Y., Saththasivam J., Loganathan K., Ogunbiyi, O. O., Sarp S., (2016). Reuse of treated sewage effluent (TSE) in Qatar. *J. Water Process. Eng.*, vol. 11, pp. 174-182.

Joel G. (2003). La qualité de l'eau potable, technique et responsabilités, Paris, p.167.

Joel, G. 2003 : La qualité de l'eau potable, technique et responsabilités. Paris, France.p 65.

JORA, (2014). Journal Officiel de la République Algérienne.

K :

Kabata-Pendias, A., Pendias, H., (2001). Trace elements in soils and plants. 3rd CRC Press, Boca Raton, London, New-York, Washington D.C.

Kadi A, (1997). La gestion de l'eau en Algérie Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 42(2) April 1997 191

Kallel M. et Bouzid J., (2002). Impact de la réutilisation des eaux usées traitées sur la qualité des eaux souterraines et sur le sol : cas de la région de sfax. WATMED, 10-13 Octobre 2002, Monastir, Tunisie.

Khan S., Cao Q., Zheng Y. M., Huang Y. Z., Zhu Y. G., (2008). Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. Environ. Pollut., vol. 152, n°. 3, pp. 686–692.

Khan S., Rehman S., Khan A. Z., Khan M. A., Shah M. T., (2010). Soil and vegetables enrichment with heavy metals from geological sources in Gilgit, northern Pakistan. Ecotoxicol. Environ. Saf., vol. 73, pp. 1820-1827.

Koller emilian, (2004). Traitement Des Pollutions Industrielles. Edition DUNOD

L :

Ladjal, Draouache et Gharbi, (2019). Contribution à l'étude de la qualité des eaux du Barrage

Libutti A., Gatta G., Gagliardi A., Vergine P., Pollice A., Beneduce L., Disciglio G., Tarantino E., (2018). Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable cropsuccession under Mediterranean conditions. Agricultural Water Management, vol. 196, pp. 1-14.

Loue A., (1979) : Interaction du potassium avec d'autres facteurs de croissance Dossier K2O N° 15, pp : 1-32.

M:

Magesan, g.n., williamson, j.c., yeates, g.w., lloyd-jones, a.r. (2000). Wastewater ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery. Bioresource Technology. 71: pp 21-27

Makhoukh.M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de

Masséna, p. a. (2001). Valorisation des eaux usées en irrigation localisée. Office international de l'eau, 14 p.

Master web 1: <https://www.tutiempo.net/amp-fr/>

Mathieu, C, Pielain, F. (2003). Analyse chimique des sols. Edition TES et DOC, Lavoisier, pp26-28.

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.

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). Knotts Handbook for Vegetable growers. 582p.

MEKKAKIA, M. (2001). Pollution des eaux et de sous bassin versant de l'Oued Mina. Thèse magister en écologie et environnement, 134p

Messahel1 M ; Benhafid M.S et Cherif M (2003). Efficience des systèmes d'irrigation en Algérie.

Milos h. (1971). Leau et l'environnement Bull. FAO. 8 :32-38pp. Rome.

Mohammad rusan, m.j., hinnawi, s., rousan, l. (2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination. 215 : pp 143–152.

Montoroi J.P., (1997). Etude et gestion des sols. Conductivité électrique de lasolution du sol et d'extraits aqueux de sol : application à un sol sulfaté acide salé deBasse-Casamance (Sénégal). Article scientifique 4, (4). Editions AFES. Montpellier. P: 279-298.

Morand, D-T. (2001). Soil landscape of the wood burn 1.100000 sheet. Department of land and water conservation. sydney. 273p.

Muhammad S., Shah M.T., Khan S., (2011). Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. MicroChem. J., vol. 98, pp. 334-343.

Musy A., Higy C., (2004). Hydrologie : 1 Une science de la nature. Editions Presses polytechniques et universitaires romandes. Collection gérer l'environnement. Lausanne. 314P

numéro 3, p. 289-296. of recycled aggregates on concrete properties. ACI Materials Journal, volume 105,

O :

Ollier Ch. et Poirée M. (1983). Les réseaux d'irrigation, théorie, technique et économie des arrosages. Ed. Eyrolles. Paris. 455p. Paris. Paris. P277-347,

P :

Petard J., (1993). Les méthodes d'analyse Tome 1 Analyses de sols ORSTOM.

Plauchu., (2004). Economie de l'environnement

Pousset J., (2002). Engrais verts et fertilité des sols. 2eme Edition. Editions Agridécisions. Paris. 305P.

Pousset J., (2002). Engrais verts et fertilité des sols. 2eme Edition. Editions Agridécisions. Paris. 305P.

Prasad, M. N. V., De Oliveira Freitas, H. M. (2003). Metal hyperaccumulation in plants: Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. Journal of Electronic Biotechnology, 6, 110-146.

Puil, c. (1998), La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration. Mémoire D.U.E.S.S. Eau et Environnement, D.E.P. Université, Picardie, Amiens, 62 p.

R :

R. (2013). Problématique de la mobilisation et de la préservation des ressources hydriques dans le Sersou « bassin Cheliff amont Boughazoul. Mémoire de magister en hydraulique. Faculté de Technologie. Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, 125p.

Radwan M. A., Salama, A. K., (2006). Market basket survey for some heavy metals in Egyptian fruits and vegetables. Food and Chemical Toxicology, vol. 44, pp. 1273-1278

RAMDANI ABIR et AFIFI SOUFIAN., (2022). Evaluation de la qualité de l'eau en irrigation et son impact sur le sol dans la région (bouchegouf Nord Est Algerien) mémoire de master PP 20-21.

Rengasamy, P., & Marchuk, A., (2017). Plant Adaptations to Acidic Soils and Their Mechanisms. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology.

Rengel Z. (1999). Heavy Metals as Essential Nutrients. In: Prasad, M.N.V. & Hagemayer, J. (Eds.). Heavy metal stress in plants: From molecules to ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, pp. 231- 251.

Rodier ,J. Bazin ,C. Brotin ,J-P. Chompon ,P.& Rodi ,L.(2009),L'analyse de l'eau

Rodier J,Legube B, Merlet M, Bruret R, (2009): L'analyses de l'eau Ed, Durod,Paris.

Rodier J. (1996), L'analyse de l'eau, Eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer, 8eme

Rodier, (2008) : L'analyse de l'eau TomeI ed : Dunod Paris.

Rodier, j. Legube, B. Merlt, N. (2009). L'analyse de l'eau, 9ème édition, Ed. Dunod, 1579p.

S:

S.terchi, (2014). D'irrigation sur s. Fertilité du sol, la plante et le rendement des systèmes d'irrigation. Mémoire de master. école nationale supérieure d'hydraulique – arbaoui abdellah ,p16

SAIDA, D et al. (2021). Etude de la qualité des terres agricoles avoisinées et irriguées par les eaux du barrage de Dahmouni. Mémoire de master. Université tiaret pp 27

Saouli N. (2016). Contribution à l'étude de l'effet de quelques engrais sur la disponibilité du phosphore dans les sols calcaires Touggourt. Mémoire de mastère en Agronomie. Spécialité Protection de la Ressource Sol, Eau et Environnement, Département des Sciences Agronomiques, Université de Ouargla Algérie, 45p.

Sarmani, S. B. (1989). The determination of heavy metals in water, suspended materials and sediments from Langat River, Malaysia. *Hydrobiologia*, 176(1), 233–238. savoir :15: 53-55p.

Sayyad, G., Afyuni, M., Mousavi, S.-F., Abbaspour, K. C., Richards, B. K &SchulinR., Transport of Cd, Cu, Pb and Zn in a calcareous soil under wheat and safflower cultivation- Acolumn study. *Geoderma*, vol. 154pp. 311-320, 2010.

Sbihi, A., Touati, Z., Zoubir, Y.(2016). Détermination des éléments traces métallique (Pb, Zn, Cu) dans la biocénose du barrage dahmouni de la wilaya de Tiaret, Thèse Master, Pathologie des écosystèmes, Tiaret.

Seghairi, N., Mimeche, L., Debabeche, M., et Hamzaoui, A., (2013). Elimination du

Singh K. P., Mohan D., Sinha S., Dalwani R., (2004). Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health agricultural, and environmental quality in the wastewater disposal area. *Chemosphere*, vol. 55, pp. 227-255.

Soudani, L., (2011). Détection de la pollution des eaux par le zinc à l'aide d'une espèce barbus dans le barrage de Dahmouni Thèse de Doctorat en écologie végétale et l'environnement, université d'Ibn Khaldoun Tiaret.

T :

TAMRABET, (2011). Contribution A L'étude De La Valorisation Des Eaux Usees En Maraichage

Tiercelin, j-r. (1998). Traité d'irrigation, Lavoisier TEC & DOC, Paris, 1011p
cfppa.reunion.free.fr/cf ppa/cdr/ irri_books.htm.

Tremel-Schaub, T., Feix, I., (2005). Contamination des sols : transferts des sols vers les plantes.
EDP Scinence /ADEME (Ed), Paris.

Y :

Yang, K., Chung, H. ET Ashour, A. F. (2008). Influence of type and replacement level

Z :

Zaara., (2016) : Etude physicochimiques des eaux du barrage K'sob et leur aptitude à l'irrigation

Annexes

Annex I

Détermination des paramètres physico-chimique d'eau

1.1 Mesure de la température de l'eau

La température est déterminée *in situ* à l'aide d'un thermomètre simple :

- Faire plonger le thermomètre dans l'eau du barrage, à l'endroit du prélèvement.
- Effectuer la lecture de sorte que l'extrémité inférieure du thermomètre reste immergée dans l'eau.
- Le résultat est donné directement en °C

1.2 Mesure de pH

Le pH a été mesuré *in situ* avec un pH mètre.

1.3 Conductivité électrique

Rincer plusieurs fois la cellule, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient avec de l'eau à examiner, appuyer sur le boîton de la CE puis appuyer sur le bouton de salinité et le bouton de TDS en prenant soin que l'électrode de platine soient complètement émergées. Lire directement les valeurs notées sur l'appareil, la conductivité électrique en m/s

1.4 Résidu sec (R. S)

On prélève 100ml d'eau à analyser puis filtrer pour éliminer les matières en suspension. Verser dans un bêcher puis sécher à une température de 110°C.

Expression des résultats

R. S = $P \times 10^4$ en mg/l.

P : résultat de la différence entre le poids de bêcher vide et après la filtration et le séchage de l'eau.

1.5 Chlorure

Introduire 100ml d'eau à analyser s'infiltré dans une fiole et ajouter 2 ou 3 gouttes d'acide nitrique pur HNO_3^- puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10% (coloration jaunâtre) c'est-à-dire (10g de chromate de potassium dans 100ml d'eau et 2 gouttes acide HNO_3^-) et titrer avec AgNO_3^- à 0,01N jusqu'à coloration rouge brique ou brunâtre.

1.6 Alcalinité (TA, TAC)

1.6.1 Détermination de TA

Prendre 100ml d'eau à analyser dans capsule porcelaine blanche, ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénolphthaléine. Une coloration rose dans le cas contraire le TA est nulle.

1.6.2 Détermination de TAC

Le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution méthylorange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune au jaune orangé.

1.7 Dureté totale

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml, ajouter 4 ml de solution tampon et trois gouttes de solution de noir ériochrome T. La solution se colore en rouge foncé ou violet, le pH doit être de 10. En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu. Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.

Expression des résultats

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milliéquivalent- lents par litre, est donnée par l'expression

$$1000 \times \frac{C * V_1}{V_2}$$

C = Concentration en milliéquivalents par litre de la solution d'EDTA.

V_1 = Volume en ml de la solution d'EDTA.

V_2 = Volume d'échantillon.

1.8 Matière organique

- Prendre 100 ml d'eau à analyser
- Ajouter 5 ml H₂SO₄ dilué et porter à ébullition pendant 1 mn
- Ajouter 15 ml de KMnO₄ à 0.01N avec 10 mn d'ébullition régulière et douce
- Ajouter 15 d'acide oxalique à 0.01 N
- Titrer à chaud avec KMnO₄ à 0.01 N jusqu'à coloration rose clair qui persiste 15 ml à 20 secondes

N.B : Un essai à blanc est nécessaire

Expression des résultats

$$F.G: (V - V_0) * F * 0.08 * 1000$$

$$FS = \frac{(V - V_0) * F * 0.8}{PE (100)}$$

V₀ : ml de KMnO₄ à 0.01 N nécessaire pour le dosage du blanc

V : ml de KMnO₄ à 0.01 N nécessaire pour le dosage de l'échantillon

F : Facteur de correction du titre de KMnO₄ à 0.01 N

0.8 : 1 ml KMnO₄ à 0.01 N correspond à 0.05 d'O₂ / l

Annex II

Détermination des paramètres physico-chimique du sol

2.1 taux d'humidité

Cette analyse ne nécessite pas le broyage et le tamisage des échantillons. L'analyse du taux d'humidité des échantillons doit se faire le même jour que leur prélèvement, ceci est un renseignement important pour la connaissance de l'état hydrique du sol. Le protocole est simple et se fait comme suite:

- Peser à l'aide d'une balance de précision, une capsule en verre vide.
- Faire le tarage du poids de la capsule et peser 20g d'échantillon de sol.

- Mettre à l'étuve à 105°C, pendant 24 heures.
- Peser la capsule contenant l'échantillon séché, après l'avoir laissée refroidir à la température ambiante dans un dessiccateur.

▪ **Calculs**

$$H = (P_{air} - P_{105^{\circ}C}) / P_{air} \times 100$$

H : Taux d'humidité en %.

P air : Poids de la terre séchée à l'air.

P 105°C : Poids de la terre après séchage à l'étuve.

2.2 granulometries

- Dans un erlen, peser 20g de terre fine.
- Ajouter 50 ml d'eau oxygénée, et laisser agir toute une nuit, afin que toute la matière organique soit détruite.
- Ajouter 20ml d'eau oxygénée, et mettre sur un bain de sable sous la haute, jusqu'à disparition de la mousse.
- Pour la dispersion des éléments argileux, on utilise 25ml de la solution de pyrophosphate de sodium (20g par litre d'eau distillée) si le sol est non calcaire. Si au contraire on a un sol calcaire, on utilise 50ml de la solution de Calga(39,2métaphosphate de sodium NaPO_3 + 10g de carbonates de sodium Na_2CO_3 par litre d'eau distillée).
- Agitation mécanique pendant 2 heures.
- Verser la suspension dans un tamis de 0.05mm et rincer avec l'eau distillée, et récupérer la solution dans un bac qu'on va verser ensuite dans un cylindre grâce à un entonnoir.
- Compléter la solution versée dans le cylindre avec de l'eau distillée jusqu'au trait de 1 litre.
- Mettre le sable restant sur le tamis de 0.05mm dans un creuset à poids connu, et
- Mettre à l'étuve à 105°C/ 15heures.
- Pour la fraction < 0.05mm, on agite le cylindre et on fait le prélèvement au milieu grâce à la pipette de Robinson.
- Pour la fraction de < 0.02 mm, on agite le cylindre, et on laisse reposer pendant 4min et 40 secondes, ensuite on prend un prélèvement à 10cm grâce à la pipette de Robinson

- Pour la fraction < 0.002mm, on agite le cylindre, et on laisse reposer pendant 4heures et 39 minutes, ensuite on prend un prélèvement à 6cm grâce à la pipette de Robinson.
- Les prélèvements sont mis dans des creusets à poids connus, puis ils sont séchés à
- L'étuve à 105°C/15heures.
- Après avoir ressorti tous les échantillons de l'étuve, on les laisse refroidir dans un dessiccateur, et on les pèse. On pèse également l'échantillon de sable, puis on le tamise à 0.2 mm, et on pèse le sable grossier qui reste dans le tamis, et le sable fin qui est passé à travers les mailles du tamis.
- Faire les calculs et déterminer la texture du sol grâce au triangle des textures.
 - Calculs

$$(1) = \text{Argiles} + \text{sels solubles} = [(\text{sol sec de 6cm} + \text{tare}) - \text{tare}].100$$

$$(2) = \text{LF} + \text{A} + \text{sels solubles} = [(\text{sol sec de 10cm} + \text{tare}) - \text{tare}].100$$

$$(3) = \text{LG} + \text{LF} + \text{A} + \text{SS} = [(\text{sol sec du milieu} + \text{tare}) - \text{tare}].100$$

$$(4) = \text{Sables} = (\text{sable} + \text{tare}) - \text{tare}$$

$$\text{Sable grossier} = (\text{sable grossier} + \text{tare}) - \text{tare} \quad \text{Sable fin} = \text{sable} (4) - \text{sable grossier}$$
$$\text{Limon grossier} = (3) - (2)$$

$$\text{Limon fin} = (2) - (1)$$

$$\text{Argile} = (1) - \text{sels solubles} (2,5\text{g Calgon ou } 0,5\text{g pyrophosphate de sodium}).$$

On calcule la somme (S) et contrôle si on retrouve les 20g de terre avec lesquelles on a travaillé. Calculer les pourcentages en multipliant tous les résultats par 100/20.

2.3 pH

2.3.1 pH eau

- - Peser 20g de terre fine dans un bécher de 250ml - Ajouter 100ml d'eau distillée au sol.
- Agiter pendant 5min.
- Laisser reposer pendant 30 minutes.
- Allumer le pH mètre et faire l'étalonnage.
- - Mettre l'électrode du pH mètre au contact du surnageant de la solution. - Lire la valeur obtenue.

2.3.2 pH KCl

- Dans la même solution précédente, ajouter 50ml de KCl (0,1g par litre d'eau distillée).
- Agiter pendant 5min.
- Laisser reposer pendant 30 minutes.
- - Mettre l'électrode du pH mètre au contact du surnageant de la solution. - Lire la valeur obtenue.
- Rincer l'électrode du pH mètre avec de l'eau distillée avant et après chaque utilisation et essuyer avec du papier Joseph.

2.4 conductivité électrique

- Peser 10g de sol dans un bécher de 100ml.
- Ajouter 50ml d'eau distillée.
- Agiter pendant 5min.
- Laisser reposer pendant 30 minutes.
- Allumer le conductimètre, et rincer l'électrode par l'eau distillée et essuyer par du papier joseph.
- Mettre l'électrode dans le surnageant de la solution, et lire la valeur affichée.

2.5 calcaire total

- Peser 1g de terre fine dans un erlen de 250ml.
- Tenir l'appendice latéral à l'aide d'une pince métallique, et la remplir par l'HCl à 37% au 3/4.
- Sécher les parois de l'erien avec du papier joseph pour éviter le contact HCl-terre
- Ouvrir l'ampoule du calcimètre et ajuster le niveau du calcimètre à zéro.
- Relier l'erien au calcimètre, en prenant soin de bien fermer l'ouverture.
- Lire le volume de CO₂ dégagé (V₀).
- Répandre l'acide sur la terre, et lire le niveau du volume de CO₂ dégagé sur le calcimètre. (V₁).
- Pour le témoin, on remplace la terre par 0,3g de CaCO₃ et on lit le volume V₀ lorsqu'on relie l'erien avec le calcimètre, et le V₁ après le contact du HCl avec le CaCO

- **Calculs**

$$CaCO_3 \% = \frac{V_s \times mCaCO_3}{V_t \times mso} \times 100$$

$$msol = 1g$$

$$M_{CaCO_3} = 0.3g$$

$$V_s = V1_{sol} - V0_{sol}$$

$$V_t = V1_{témoin} - V0_{témoin} \quad V0 = \text{Volume initial}$$

$$V1 = \text{Volume lu}$$

2.6 calcaire actif

Le dosage du calcaire actif ne s'effectue que pour les échantillons ayant 5% ou plus de calcaire total.

- Peser 1g de terre fine dans un erlen de 250ml.
- Ajouter 100ml de la solution d'oxalate d'ammonium (14,2g par litre d'eau distillée).
- Agitation mécanique pendant 2 heures.
- Filtrer 2 fois à l'aide de papiers filtres.
- Récupérer 20ml du filtré, et mettre dans un bécher de 250ml.
- Ajouter 100ml d'eau distillée.
- Ajouter 5ml d'acide sulfurique.
- Chauffer la solution à 60°C.
- Titrer par la solution de permanganate de potassium $KMnO_4$ (6,32g par litre d'eau distillée), jusqu'à coloration rose persistante.
- Pour le témoin, on suit les mêmes étapes mais sans ajouter l'échantillon de terre.

Calculs

$$CaCO_3 \text{ actif } \% = 5 \cdot (N - n)$$

N : nombre de ml de $KMnO_4$ utilisés pour le témoin.

n : nombre de ml de KMnO_4 Utilisés pour l'échantillon de terre fine

Matière organique

- Prendre 1g dans un ballon de 250ml
- Ajouter 10ml de bicarbonate de potassium 8%
- Ajouter 15ml de H_2SO_4
- Chauffer le tout
- Durant 5' (après la chute de la première goutte)
- Laisser refroidir
- Dans une fiole de 100ml : ajouter à 100ml avec l'eau distillée
- Prélever 20ml dans un bécher 400ml en ajoutant 200ml d'eau distillée + 03 à 04 gouttes de diphenghumine et apiter le tout
- Titree avec la solution de sol de MOHR à 0.2N

N.B: 78.4278g de sel de MOHR + 20ml H_2SO_4 conc, compléter à 1L avec l'eau distillée

- La couleur passe de brun au violet puis vert

2.7 NPK

Utilisez un récipient de bécher de 200 ml, mélangez le sol séché avec de l'eau distillée au, remuez et transformez-le en une boue de, placez la sonde métallique dans la boue à environ 6 - 8 cm de profondeur, environ 6 secondes, le testeur affichera la valeur mesurée essuyez la sonde métallique avec une serviette ou du papier de soie après chaque test. Rendez-le propre et sec, jusqu'à ce que l'écran affiche 0.

2.8 Métaux lourds (sol et culture)

2.8.1 Principe de la SAA

Cette méthode mesure l'émission d'une radiation par les atomes lorsqu'un atome d'un élément est excité par une énergie. Il devient instable, et va donc restituer cette énergie sous forme de radiation lumineuse pour revenir à son état initial. L'utilisation de ce phénomène constitue la base de spectromètre d'émission. Le même élément disperse à l'état atomique dans une flamme possède également la propriété d'absorber tout rayon de la même fréquence F . Il résulte une absorption du rayonnement incident lié à la concentration de l'élément considéré par une relation de la forme : $\text{Log } 10/1+KLC$

10-intensité de la radiation incidente.

1-intensité de la radiation après la traversée de la flamme.

C-concentration dans la solution de l'élément considéré.

K-constant (**Debieche, 2002**).

2.8.2 Préparation des extraits d'échantillons (sol, plantes)

Le dosage des ETMs dans les échantillons sols, plantes, consiste à préparer l'extrait de ces différents compartiments et de le doser par SAA.

2.8.2.1 Préparations du sol (mis en solution par attaque à l'eau régale)

Le procédé d'extraction consiste à ajouter à 2 g du sol pris à partir d'un échantillon broyé dans un mortier puis passé au tamis de 25 μm , 15 ml d'HCl et 5 ml HNO₃, dans un bécher de 100 ml. Laisser en contact pendant une nuit afin de permettre une oxydation lente de la matière organique, puis chauffer dans le bain de sable pendant 2 h à une température de 180°C. Après refroidissement le contenu de bécher est filtré sur papier filtre dans des fioles de 100 ml puis compléter jusqu'au trait de jauge avec l'eau déminéralisée (**Mathieu and Pielain, 2000**).

2.8.2.2 Préparation de l'extrait de plantes

Digestion sulfo-nitrique-eau oxygénée selon **Hoening et al (1979)**

Peser dans un erlenmeyer rodé de 250 ml, 1 g de l'échantillon préalablement séché (24 heures à 105 °C) et broyé. Introduire par le haut de celui-ci 1 ml d'acide sulfurique concentré, 3 ml d'acide nitrique concentré et 3 ml d'eau oxygénée à 30 %. Porter doucement à ébullition en contrôlant la formation possible de mousse ; maintenir en ébullition douce durant 15 mn. Après refroidissement, filtrer le contenu de l'erlenmeyer sur papier filtre dans une fiole jaugée de 50 à 100 ml selon les besoins.

Rincer plusieurs fois le résidu insoluble retenu sur le filtre par quelques ml d'eau déminéralisée, amené à volume (**Dhaou-djabin, 2005**).

Annex III

Annex 01: (JORA,2014)

PARAMETRES	UNITE	NORMES
Température	°C	25
Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
Conductivité à 20 °C	µs/cm	2800
Alcalinité	Mg/l CaCO ₃	65
Dureté (TH)	Mg/l en CaCO ₃	500
Chlorure	Mg/l	500

Annex 02: (ANRH Tiaret 2015)

Qualité	Bonne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Unité
Mo	<5	5-10	10-15	>15	Mg/l

Annex 03: (ANRH, 1999)

Qualité	CI	CII	CIII	CIV
Residue sec mg /l	300-1000	1000-1200	1200 -1600	>1600

Annex 04 : Le pH du sol (Baize, 2000)

Ph	< 3.5	3.4 – 4.2	4.2 – 5	5 – 6.5	6.5 – 7.5	7.5 – 8.7	> 8.7
Class e	Hyper acide	Tré acide	Acide	Faiblement Acide	Neutre	Basique	Très Basique

Annex 05 : Classes de la qualité des sols selon leur CE (Durand, 1983)

Classe	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$) à 25°C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensibles au sel
Classe III	1000 à 2000	Salé	Diminution du rendement de la plupart des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent un rendement satisfaisant
Classe V	Plus, de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

Annex 06 : Normes d'appréciation du calcaire total du sol (Baize, 1988).

Caco3 Total %	< 1	Non calcaire
	1 à 5	Peu calcaire
	5 à 25	Modérément calcaire
	25 à 50	Fortement calcaire
	50 à 80	Très fortement calcaire
	Plus de 80	Excessivement calcaire

Annex 07 : L'échelle de MO % (Orand, 2001).

MO%	Nom de classe
0.5 à 1 %	Très faible en MO
1 à 2 %	Faible en MO
2 à 3 %	Moyenne (ou modérée) en MO
3 à 5 %	Elevée en MO
> à 5 %	Très élevée en MO

Annex 08 : Teneurs normales en métaux lourds dans les plantes (Tremel-Scaub et Feix, 2005)

ETM	Teneurs dans les plantes Mg /Kg
Cd	0,05
Pb	1,0
Zn	50

Annex 09 : Teneurs normales en métaux lourds dans les sols

ETM	Normes AFNOR NF U44-041(1985) Mg/Kg
Cd	2
Pb	100
Zn	300

Annex 10: Azote total (Henin, 1969 in bedjadj, 2011)

N total (%)	Sol
$\leq 0,5$	Sol très pauvre
$0,5 < N \text{ total} \leq 1,0$	Sol pauvre
$1,0 < N \text{ total} \leq 1,5$	Sol moyen
$>1,5$	Sol bien pourvu

Annex 11: norme Joret-Hébert

Phosphore en ppm	Niveau
<100	Très faible
100à140	Faible
140à180	Médiocre
180à220	Normal
>220	Elevé

Annex 12 : Triangle de texture (Doucet, 2006).

