

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة قاصدي مرباح ورقلة

Université Kasdi Merbah Ouargla



Faculté des Sciences Appliquées
Département : Génie Civil et Hydraulique
Réf : ...

كلية العلوم التطبيقية
قسم : الهندسة المدنية والري
المرجع : ...

Thèse présentée en vue de l'obtention

Du diplôme de Doctorat LMD

Spécialité : Hydraulique

Option : Traitement et épuration des eaux

Thème

Contribution à l'étude de l'effet de la concentration de fluorure dans l'eau sur sa concentration dans quelques légumes (Cas de Ouargla et Biskra)

Présenté par

ABDELLAOUI AICHA

Soutenue publiquement le : 07/03/2024

Devant les Jury composé de :

Messaïtfa Amar	Professeur	Université de Ouargla	Président
Baouia Kais	Professeur	Université de Ouargla	Rapporteur
Saggai Sofiane	Professeur	ESAS- El Oued	Co-Rapporteur
Youcef Leila	Professeur	Université de Biskra	Examineur
Kateb Samir	Professeur	Université de Ouargla	Examineur
Benmenine Abdelkader	MCA	Université de Ouargla	Examineur

Remerciements

Je tiens à remercier mon Dieu tout-puissant pour la santé, la volonté et la patience qu'il nous a accordées pour mener à cette étude.

Mes sincères remerciements à Monsieur Baouia Kais, Professeur à l'Université Kasdi Merbah de Ouargla, d'avoir accepté de m'encadrer, et pour sa confiance et sa patience.

Je suis très reconnaissant à mon Co-Rapporteur Mr. Saggai Sofiane, Professeur à l'Ecole Supérieure de l'Agriculture Saharienne - El Oued, pour ses conseils, son encouragement, son soutien moral et sa patience dans les moments difficiles de la réalisation de ce travail.

Je tiens également à adresser mes remerciements aux membres du jury pour l'intérêt accordé à l'évaluation de ce travail.

Mes profonds remerciements vont à Pr. Messaïfa Amar Directeur du laboratoire du génie de l'eau et de l'environnement en milieu saharien-Université Ouargla, pour son consentement à effectuer l'analyse de fluorure dans son laboratoire, et tous les membres de ce laboratoire.

Mes profonds remerciements vont à Mr. Assami Tarek Directeur du laboratoire du CRSTRA Biskra, pour son consentement à effectuer l'analyse physico-chimique dans son laboratoire, et tous les membres de ce laboratoire notamment Dr. Hacini Linda et Mme. Aoun Saliha.

Mes vifs remerciements à Belkhlalfa Hakim Directeur du CRAPC Ouargla, et tous les personnels, notamment Mr. Rahmani Youcef et Mme. Dali Halima.

Je voudrais en outre remercier les membres des stations ADE de Ouargla et de Biskra.

J'exprime toute ma gratitude à monsieur Saggai Mohamed Mounir Maître de Conférences A- Université Kasdi Merbah de Ouargla, pour son soutien et son encouragement.

Je tiens à remercier Mr. Lamouchi Lazhar, gérant de la Sarl Elmasafi –Ouargla.

Mes chaleureux remerciements vont aussi à Dr Bouchiba Abdelhadi pour son aide dans la collecte des produits chimiques nécessaires, et Saleh Bouziane d'avoir également aidé à prélever des échantillons.

Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance à ma merveilleuse famille, pour le soutien et l'amour inconditionnel que vous me donnez. Maman, je te remercie d'avoir toléré ma folie durant la rédaction de cette thèse, ne t'inquiète pas, j'ai beaucoup appris.

À la perle de l'Université Kasdi Merbah Ouargla, Zineb Bazzine, qui me comble de son sourire innocent et de son soutien avant que je ne m'effondre après une journée fatigante et des moments de dispersion. Merci pour ta belle présence tout au long de mes années de recherche.

À Tous mes amis, en particulier Soumia Affaissa et Oum El-Kheir Kaddouri merci beaucoup pour votre soutien et vos encouragements.

Enfin je voudrais remercier tous ceux qui m'ont soutenu et aidé de près ou de loin.

Dédicace

Pour tous ceux qui liront mon travail comme celui-ci, je vais résumer pour vous ce que j'ai appris tout au long de la réalisation de ce travail :

"Ne demandez à aucun chercheur comment il a fait cela, recherchez simplement ses travaux, ses recherches et ses réalisations, alors vous savez comment il a fait cela, puis aller au-delà des limites pour faire l'impossible."

Résumé

Au Sahara septentrional algérien, les eaux souterraines sont pratiquement l'unique ressource pour les différents usages, en ce que concerne la région orientale, plusieurs études ont donné une idée sur la présence de fluorure avec des concentrations important dans les eaux souterraines, et dans les aliments le plus consommées, avec un risque de fluorose. Cette étude est une contribution à l'étude de l'effet de la teneur en fluorure dans l'eau, sur sa concentration dans quelques légumes et d'estimer la quantité journalière en fluorure consommée. Les résultats obtenus montrent l'effet de la teneur en fluorure, des eaux d'irrigation, sur sa concentration dans les légumes en relation proportionnelle. Les résultats de notre étude ont également montré que la quantité journalière de fluorure consommée par habitant provenant de l'eau potable dans la région de Ouargla et Biskra dépasse les normes fixées par l'organisation mondiale de la santé (0,6 à 0,8 mg/l dans les climats chauds). La quantité journalière moyenne de fluorure consommée par habitant provenant des légumes dans la région d'étude dépasse la valeur recommandée par l'OMS (6 mg/j). Il est recommandé de prendre en compte la consommation journalière de fluorure, de réduire la consommation d'aliments riches en fluorure ou d'appliquer des méthodes physiques ou chimiques pour réduire le niveau de fluorure dans l'eau potable.

Mots clés : Fluorure, Eaux souterraines, Légumes, Quantité journalière, Ouargla, Biskra.

ملخص

تعتبر المياه الجوفية المصدر الوحيد لمختلف الاستخدامات في شمال الصحراء الجزائرية، فيما يتعلق بالمنطقة الشرقية، بينت العديد من الدراسات تواجد عنصر الفلورور بتركيز كبير في المياه الجوفية، والتي لوحظت أيضاً في الأطعمة الأكثر استهلاكاً، مما يشكل خطر الإصابة بمرض الفلوروروز على سكان المنطقة. تهدف هذه الدراسة إلى المساهمة في دراسة تأثير تركيز الفلوروروز في الماء على تركيزه في بعض الخضروات وتقدير الكمية اليومية من الفلورور المستهلك في جنوب الجزائر (حالتى ورقلة وبسكرة). بينت النتائج المتحصل عليها تأثير تركيز الفلوروروز في مياه السقي على تركيزه في الخضروات بعلاقة طردية. كما أظهرت نتائج دراستنا أن الكمية اليومية من الفلورايد المستهلكة للفرد من مياه الشرب بمنطقة ورقلة وبسكرة تتجاوز المعايير التي حددتها منظمة الصحة العالمية (0,6-0,8 ملغم / لتر في المناخ الحارة). متوسط كمية الفلورايد اليومية المستهلكة للفرد من الخضروات في منطقة الدراسة تتجاوز القيمة الموصى بها من قبل منظمة الصحة العالمية (6 ملغم/يوم). نوصي بمراعاة الاستهلاك اليومي من الفلوروروز، بتقليل تناول الأطعمة الغنية بالفلوروروز أو تطبيق طرق فيزيائية أو كيميائية لتحفيض نسبة الفلوروروز في مياه الشرب.

الكلمات المفتاحية: الفلوريد، المياه الجوفية، الخضار، الكمية اليومية، ورقلة، بسكرة.

Abstract

In the Algerian northern Sahara, groundwater is practically the only resource for various uses. In the eastern region, several studies have given an idea of the presence of fluoride with significant concentrations in groundwater, which is also observed in the most widely consumed foods, representing a risk of fluorosis for the region's inhabitants. This study aims to contribute to the study of the effect of fluoride concentration in water on its concentration in some vegetables and to estimate the daily amount of fluoride consumed in southern Algeria (case of Ouargla and Biskra). The results obtained showed the effect of fluoride concentration in irrigation water on its concentration in vegetables in proportional relationship. The results of our study also showed that the daily amount of fluoride consumed per capita from drinking water in the Ouargla and Biskra region exceeds the standards set by the World Health Organization (0.6-0.8 mg/l in hot climates). The average daily amount of fluoride consumed per capita from vegetables in the study region exceeds the value recommended by the WHO (6 mg/d). We recommend considering daily fluoride intake, reducing the consumption of fluoride-rich foods, or applying physical or chemical methods to reduce the level of fluoride in drinking water.

Key words: Fluoride, Groundwater, Vegetables, Daily amount, Ouargla, Biskra

Abréviations

B.I : Balance Ionique.

CE : Communauté Européenne.

CI : Continental Intercalaire.

CRAPC : Centre de Recherche en Analyse Physico-chimique.

CRSTRA : Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Aride.

CT : Complexe Terminal.

EC : Conductivité Électrique.

EDTA : Ethylène-Diamine TétrAcétique.

EPA : Environmental Protection Agency.

FNS : Fondation nationale de la santé.

ISFR: International Society for Fluoride Research.

ISSP : Institut Scientifique de Service Public

NRC : National Research Council.

ONM : Office national de météorologie.

OSS : Observatoire du Sahara et du Sahel.

PH : Potentiel d'Hydrogène.

SAR : Ratio d'adsorption du sodium.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

TH : Titre Hydrotimétrique.

WHO: World Health Organization.

Table des Matières

Introduction générale	1
Partie bibliographique	
Chapitre 1 : Généralité sur le fluor	
I.1.Introduction	6
II.1. 2. Le fluor et les ions fluorures	6
I.1.3. Propriétés générales du fluor	7
I.1.4. L'origine de fluor	9
I.1.5. Exposition au fluorure	11
I.1.5.1. L'eau	11
I.1.5.2. Les aliments	12
I.1.5.3.Les boissons	13
I.1.5.4. Le thé	14
I.1.5.5. Dentifrice	15
I.1.6. Le métabolisme et l'excrétion du fluorure	15
I.1.6.1. Absorption	15
I.1.6.2. Distribution	16
I.1.6.3 Excrétion	16
I.1.7. Les effets du fluorure	16
I.1.7.1.Mécanisme du fluorure contre les caries dentaires	18
I.1.8. Influence toxique du fluorure sur le corps humain	19
I.1.8.1. La fluorose	19
I.1.8.1.1. La fluorose dentaire	20
I.1.8.1.2. La fluorose squelettique	21
I.1.9. Les normes recommandées du fluorure	23
I.1.9.1. Les normes internationales	23
I.1.9.2. Les normes nationales	25
I.1.10. Le fluorure au Sahara septentrional Algeria	26
I.1.11.Conclusion	28
Chapitre 2 : Présentation de la région d'étude	
I.2.1.Introduction	31

I.2.2. Données générales sur la région Ouargla	31
I.2.2.1. Situation géographique	31
I.2.2.2. Facteurs climatique	32
I.2.2.2.1. Climat	32
I.2.2.2.2. Température	33
I.2.2.2.3. Précipitations	33
I.2.2.2.4. Évaporation	33
I.2.2.2.5. Humidité de l'air	33
I.2.2.2.6. Les vents	34
I.2.3. Données générales sur la région de Biskra	34
I.2.3.1. Situation géographique	34
I.2.3.2. Facteurs climatique	35
I.2.3.2.1. Climat	35
I.2.3.2.2. Température	35
I.2.3.2.3. Précipitations	36
I.2.3.2.4. Évaporation	37
I.2.3.2.5. Humidité de l'air	37
I.2.3.2.6. Les vents	38
I.2.4. Les ressources en eau dans la région d'étude	38
I.2.5. L'hydrogéologie de la région d'étude	39
I.2.5.1. Le Complexe Terminal	41
I.2.5.1.1. Le Miopliocène	41
I.2.5.1.2. L'Éocène inférieur	42
I.2.5.1.3. Sénonien	42
I.2.5.2. Le Continental Intercalaire	42
I.2.5.3. La nappe phréatique	43
I.2.6. Activité agricole	44
I.2.7. Irrigation	46
I.2.8. Conclusion	46

Partie expérimentale

Chapitre 1 : Matériels et Méthodes

II.1.1. Introduction	50
II.1.2. Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines	50

II.1.2.1.Échantillonnage et Prélèvement	50
II.1.2.2. Analyses sur site	52
II.1.2.3. Les éléments majeurs	53
II.1.2.3.1. Calcium et Magnésium	53
II.1.2.3.2. Titre hydrotimétrique	54
II.1.2.3.3. Potassium et Sodium	55
II.1.2.3.4. Titre alcalimétrique Complet	56
II.1.2.3.5. Chlorures	57
II.1.2.3.6. Sulfates	58
II.1.2.3.7. Nitrates	58
II.1.2.4. Détermination du résidu sec	59
II.1.2.5. Les Méthodes d'interprétation des résultats d'analyses physicochimique des eaux	61
II.1.2.5.1. La balance ionique	61
II.1.2.5.2. Représentation Hydrochimique d'une eau	61
II.1.3. Dosage de fluorure dans l'eau et dans les légumes	62
II.1.3.1. Dosage de fluorure dans l'eau	62
II.1.3.2. Dosage de fluorure dans les légumes	62
II.1.4.Conclusion	65
Chapitre 3 : Description du système hydroponique	
II.2.Introduction	67
II.2.2. Le choix du milieu agricole	67
II.2.3. Description du système hydroponique	67
II.2.4. Préparation de solution nutritive	68
II.2.5. La phase de germination de piment	69
II.2.6. La phase d'implantation dans le système hydroponique	70
II.2.7. Contrôle de la culture hydroponique	72
II.2.8. La phase de récolte de production	74
II.2.9.Conclusion	74
Chapitre 3: Résultats et Discussions	
II.3.1.Introduction	76
II.3.2. Qualité des eaux souterraine de la région d'étude	76
II.3.2.1. Contrôle de la qualité des résultats des analyses	76
II.3.2.2. Qualité des eaux souterraines de la région d'étude	77
II.3.2.2.1. Les paramètres sur site	77

II.3.2.2.2. Calcium et magnésium	79
II.3.2.2.4. Sodium	81
II.3.2.2.5. Potassium	82
II.3.2.2.6. Chlorures	83
II.3.2.2.7. Sulfates	84
II.3.2.2.8. Nitrates	86
II.3.2.2.9. Bicarbonates	87
II.3.2.2.10. Résidu Sec	88
II.3.2.3. Les éléments dominants	88
II.3.2.4. Facies chimiques	90
II.3.2.5. L'aptitude des eaux souterraines à l'irrigation	91
II.3.3. Distribution des ions fluorures dans l'eau et les légumes le plus consommé dans la région d'étude.	93
II.3.3.1. L'ion fluorure dans l'eau	94
II.3.3.2. Les légumes	96
II.3.4. L'effet de la concentration de fluorure dans l'eau sur sa concentration dans quelques légumes	97
II.3.5. La quantité moyenne journalière de fluorure consommée	100
II.3.6. Conclusion	103
Conclusion générale	105
Références	108
Annexes	122

Liste des tableaux

Tableau 1. Paramètres atomiques de l'atome de fluor.	7
Tableau 2. Localisation des forages échantillonnés	51
Tableau 3. Les normes et les paramètres mesurés.	61
Tableau 4. Concentrations de nutriments.	69
Tableau 5. Compositions des solutions A, B, C.	69
Tableau 6. Concentrations de fluorure.	71
Tableau 7. Paramètres physico-chimiques des eaux souterraines échantillonnées à Ouargla et Biskra	81
Tableau 8. Classification des eaux en fonction de leur dureté (Saley et al., 2019)	96
Tableau 9. Concentrations des ions fluorures dans les différentes eaux souterraines de la région d'étude	98
Tableau 10. Concentration des ions fluorures dans les légumes	99
Tableau 11. Teneur en fluorure accumulée dans le piment en fonction de la teneur en fluorure en solution nutritive.	101
Tableau 12. Interprétation du coefficient de corrélation	102
Tableau 13. Quantité moyenne journalière en légume consommés dans la région d'étude	102
Tableau 14. Contribution des légumes à l'apport journalière total du fluorure	102

Liste des figures

Figure 1. Cas de fluorose dentaire chez un enfant de 13 ans qui a consommé de l'eau naturellement fluorée à 4,8 ppm (de Souza et al., 2012).	20
Figure 2. Exemples d'aspects cliniques et radiographiques des cas de fluoroses osseuses identifiés osseuses identifiés(Rabier et al., 2008).	23
Figure 3. Localisation géographique de l'oasis d'Ouargla (Idder et al., 2014).	32
Figure 4. Situation géographique de la région Biskra.	35
Figure 5. Moyennes annuelles des températures pour la période (1990-2015) (Boucetta, 2018).	36
Figure 6. Variations internationales des précipitations de Biskra 1999-2010.	37
Figure 7. Points d'eau du CI et du en Algérie (OSS, 2003).	40
Figure 8. Le titrage de calcium.	54
Figure 9. Photométrie à émission de flamme (JENWAY PFP7).	55
Figure 10. Dosage d'alcalinité complet.	57
Figure 11. Dosage des ions chlorures par la méthode de Mohr.	58
Figure 12. Balance électronique (KERN-ACJ/ACS).	59
Figure 13. Étuve de pression réglée à 105°.	60
Figure 14. Spectrophotomètre UV-VIS DR 6000	63
Figure 15. Calcination des légumes dans un four à 500 °C	64
Figure 16. Montage de système hydroponique.	64
Figure 17. Expérimentation de germination des grains de piments	64
Figure 18. Phase de semis des piments	70
Figure 19. Suivi du pH et de la conductivité	70
Figure 20. Transfert des plantes avant nettoyage du système hydroponique	68
Figure 21. Verification des racines	68
Figure 22. Paramètres physiques des eaux de la région Ouargla.	77
Figure 23. Paramètres physiques des eaux de la région Biskra.	78
Figure 24. Evolutionde la dureté des eaux de la région Ouargla.	80
Figure 25. Evolution de la dureté de la région Biskra.	80
Figure 26. Teneurs en Sodium des eaux de Ouargla.	81
Figure 27. Teneurs en Sodium des eaux de Biskra.	82
Figure 28. Concentrations du Potassium dans les eaux de Ouargla.	83
Figure 29. Concentrations du Potassium dans les eaux de Biskra.	83

Figure 30. Concentrations des ions chlorures des eaux de la région Ouargla.	84
Figure 31. Concentrations des ions chlorures des eaux de la région Biskra.	84
Figure 32. Concentrations du sulfate dans les eaux de la région Ouargla.	85
Figure 33. Concentrations du sulfate dans les eaux de la région Biskra.	85
Figure 34. Concentrations du nitrate dans les eaux de la région Ouargla.	86
Figure 35. Concentrations du nitrate dans les eaux de la région Biskra.	86
Figure 36. Concentrations du bicarbonate dans les eaux de la région Ouargla.	87
Figure 37. Concentrations du bicarbonate dans les eaux de la région Biskra.	88
Figure 38. Diagramme présentant les principaux ions des eaux étudiées	89
Figure 39. Classification ionique des eaux souterraines à l'aide du diagramme de Stabler.	90
Figure 40. Diagramme de Piper des eaux souterraine de la région d'étude.	91
Figure 41. Diagramme de Richards du complexe terminal de la région étude.	93
Figure 42. Distribution des ions fluorure dans les eaux du complexe terminal de Ouargla.	94
Figure 43. Distribution des ions fluorure dans les eaux du complexe terminal de Biskra.	95
Figure 44. Distribution des ions fluorure dans les légumes étudiées	97
Figure 45. Evolution de la concentration en fluorure dans le piment (mg/kg) en fonction de la variation de la concentration en fluorure dans la solution nutritive (mg/l).	100

Introduction générale

Le fluorure est largement répandu dans la croûte terrestre. Il existe dans de nombreux de minéraux, tels que le spath fluor, la cryolithe et le fluorapatite (WHO, 2008). Un apport approprié en fluorure est bénéfique pour la prévention des caries dentaires. Toutefois, une consommation excessive peut induire des toxicités sur la santé comme la fluorose des dents, des squelettes et du système nerveux (Freeze and Lehr, 2009 ; Rivera et al., 1993). Un apport quotidien en fluorure de 0,05 à 0,07 mg F/kg de poids corporel, est considéré comme « optimal ». Les principales sources de fluorure sont l'eau et les aliments (Santé canada, 2010).

La valeur guide recommandée pour la teneur en fluorure des eaux potable est de 1,5 mg/l. Cependant, pour les régions à climats chauds, la teneur recommandée est comprise entre 0,6 - 0,8 mg /l (WHO, 2008) et de 0,6 à 1,2 mg/l pour les régions du Sud Algérien (Messaïfa, 2008).

En Algérie, de nombreuses études (Messaïfa, 2008 ; Belmabdi, 2009 ; Zobeidi, 2010 ; Baouia et Messaïfa, 2015 ; Baouia, 2017), leurs résultats montrent la présence et la variation des teneurs en fluorures dans les eaux souterraines et les aliments consommés au Sud de l'Algérie. L'objectif de cette recherche est de suivre sa mobilité de l'eau d'irrigation aux fruits de quelques légumes et à l'estimation de l'apport journalière en fluorure consommée par les habitants de la région d'étude. L'eau souterraine est l'unique source en eau potable.

Le travail est réparti en 02 parties distinctes :

La première, en quatre chapitres, présente le résultat de l'étude bibliographique :

- **Le premier chapitre**, intitulé "**Généralité sur le fluor**", décrit les propriétés physiques et chimiques de fluorure, ses sources et sa présence dans l'environnement (eau, sol et air), les facteurs influençant sa concentration dans les eaux, ses effets sur la santé et les normes recommandées.

- **Le deuxième chapitre**, consiste en une étude descriptive des caractéristiques des régions d'étude.

La première partie, vise de suivre l'adsorption des ions F^- dans les eaux souterraines naturellement minéralisées, en utilisant des adsorbants préparés à partir de coquilles d'œufs et d'os de bovins. Il se compose d'une synthèse bibliographique en quatre chapitres, qui couvrent différents aspects de l'étude de l'adsorption et de la défluoruration, ainsi que d'une étude descriptive des régions de l'étude.

La seconde partie, de ce manuscrit, en deux chapitres, est réservée à l'expérimentation :

- **Le premier**, décrit les techniques de dosage, ainsi que le protocole suivi pour la réalisation des essais d'adsorption des ions fluorures par les plantes légumineuses.

- **Le deuxième chapitre**, décrit les résultats des essais expérimentaux, en mettant en évidence l'effet de différents paramètres réactionnels sur l'accumulation des ions F^- , dans les plantes légumineuses, tels que l'effet de la concentration du fluorure dans les eaux.

Finalement, une conclusion générale sera présentée pour synthétiser les résultats obtenus à partir des essais réalisés.

Première partie

Étude bibliographique

Chapitre 1

Généralités sur le fluor

I.1.Introduction

Le fluorure est un oligo-élément essentiel pour la santé en concentration limitée, il deviendra un risque majeur lorsqu'il dépassera le niveau maximum spécifié par les normes national et international (Boyd, 2015).

Ce chapitre vise à présenter le fluor et les fluorures, les propriétés générales du fluor, l'origine du fluor, l'exposition, le métabolisme et l'excrétion de cet élément, ses effets sur la santé humaine, le mécanisme du fluor contre les caries dentaires, leur influence toxique sur le corps humain, et nous signalons également les normes nationales et internationales sur cet élément, sans oublier de donner une idée sur le fluor au Sahara septentrional Algérien.

II.1. 2. Les ions fluorures

Le fluorure est très abondant en milieu naturel et ne se retrouve jamais à l'état libre (Tisseuil, 2017). La fluorite, la cryolite et la fluorapatite sont les principaux minéraux de fluorure.

I.1.3. Propriétés de fluorure

Le fluorure de symbole F, de numéro atomique 9 et de poids atomique 19. Sa structure électronique fondamentale est : $1s^2, 2s^2, 2p^5$. Élément de la famille des halogènes, plus électronégatif, le plus oxydant et le plus réactif de tous les éléments chimiques.

La présence d'atomes de fluor, dans une molécule, provoqué des effets sur la structure et des propriétés atomiques fondamentales de l'atome de fluor (Bégué and Bonnet-Delpon, 2005) (Tableau 1).

Tableau 1. Paramètres de l'atome de fluor

Atome	Potentiel d'ionisation (kcal.mol ⁻¹)	Affinité électronique (kcal.mol ⁻¹)	Polarisabilité atomique (Å ³)	Rayon de vander waals (Å)	Électronégativité de Pauling Xp
F	401,8	79,5	0,557	1,47	3,98

La faible polarisabilité de fluor, auquel s'ajoute son l'électronégativité, lui confère une énergie supérieure (485 KJ /mol), à celle des C-H (412 kJ/mol) et C-O (356 kJ/mol) (Lavielle, 2009).

Plusieurs études traitant du terme fluor telles que celles de Brindha et Elango(2011), Nezli et al. (2009) indiquent que le fluor présent sous la forme d'un gaz diatomique sous sa forme élémentaire et a un numéro de valence 1. Il a un état d'oxydation de -1, on le retrouve sous forme inorganiques, libre en solution, lié par des liaisons de coordination aux cations dissous, ou sous forme de fluorures organiques

Le fluorure de calcium (CaF_2), le fluorure de sodium (NaF), le fluorure d'hydrogène (HF) et l'hexafluorure de soufre (SF_6) appartiennent au groupe des fluorures inorganique (LCPE, 1993).

L'ion fluorure, de propriétés basiques faibles, capte un proton pour former de l'acide fluorhydrique et en milieu acide, donne un complexe HF_2 (Annane, 2011). Le fluorure est généralement stable et non oxydable en milieu aquatique, et donne des complexes et composés insolubles (Zobeidi, 2010).

Dans le cas d'une température ambiante, le fluor est à l'état gazeux (F_2), jaune verdâtre à d'odeur forte et irritante (Guimard, 2002), il a une réactivité et une toxicité exceptionnelle (Tisseuil, 2017). Il réagit avec la majorité des molécules organiques et inorganiques ; avec les métaux, il forme des fluorures. Avec l'eau, il forme de l'acide fluorhydrique (Tylenda et al., 2003). Les travaux de Brindha et Elango (2011) montrent que la détermination des ions fluorures, par examen physique, est difficile, tandis que l'analyse chimique, peut déterminer aisément sa concentration dans les échantillons d'eau souterraine. En effet, le fluorure ne présente aucune couleur, goût ou odeur lorsqu'il est dissous dans l'eau.

Le fluor présente des isotopes ^{17}F , ^{18}F , ^{19}F , ^{20}F , ^{21}F . L'isotope naturel est ^{19}F . Tandis que seul l'isotope ^{18}F est utilisé en biologie en raison de sa période relativement courte (1,87h) (Harir, 1989).

I.1.4. Origine de fluorure

Le fluorure représente environ 0,06 à 0,09% de la croûte terrestre. Il est généralement associé à l'activité volcanique et aux gaz fumaroliques. Les eaux thermales, en particulier celles à pH élevé, sont également riches en fluor (Fawell et al., 2006). Il est présent dans de nombreux minéraux d'origine volcanique. Le plus important le spath fluor CaF_2 et la galène ou la pyrite, la cryolite NaF_3AlF_6 , la fluorapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F})$, la topaze $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{FOH})_2$ est également riche en fluor. Les minéraux fluorés d'importance secondaire sont la sellaïte MgF_2 , fluorite CaF_2 et Villiaumite NaF . Les micas et les scapolites, et souvent la tourmaline, contiennent également de petites quantités de fluor combiné (Fehér et al., 1953).

D'autre part, l'industrie de l'acier, de l'aluminium et les usines produisant du superphosphate ou de céramique, les centrales électriques alimentée au charbon, les briqueteries, les verreries et les raffineries de pétrole sont considérées comme une source potentielle de contamination en fluorure (OMS,1985). Au Groenland et de PikesPeak (Colorado), les gisements de cryolite Na_3AlF_6 sont exploités pour l'extraction d'aluminium (Fehér et al., 1953). Mazet (2002) a également souligné que l'emploi intense d'engrais phosphatés (fluoroapatite), de pesticides ou d'herbicides, à base du fluor, entraîne la contamination des eaux de la nappe phréatique.

Dans le milieu atmosphérique, le fluor se trouve en phase particulaire et sous formes gazeux, provenant des déchets industriels de la combustion du charbon et des émissions des volcans actifs (HF et H_2SiF_6 principalement) (Goni et al., 1973). Les formes particulières atmosphériques comprennent, le fluorure d'aluminium de sodium ou cryolite (Na_3AlF_6), le

fluorure d'aluminium, le fluorure de calcium et le fluorure de phosphate de calcium ou fluorapatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) (Chan, 2014).

Dans les eaux, les teneurs en fluorure varient, selon la nature des roches et la présence de minéraux fluorés (Fawell et al., 2006). De nombreux pays du monde, notamment en Afrique, en Asie et aux États-Unis, les eaux sont riches en fluorure. Les concentrations typiques en fluorure des villes de la vallée du Rift, allant de 1 et 33 mg/l (Tressaud, 2006). Pour l'Afrique centrale, l'eau des puits contenaient jusqu'à environ 10 mg/l.

Pour le sol, le fluorure provient des roches d'origine volcaniques ou des gisements de sels marins (Guimard, 2002). L'utilisation des engrais phosphatés, des boues d'épuration et des pesticides, contribuent de manière significative à la contamination des sols par le fluor (Guillaume, 2008). Les concentrations en fluorure allant de 20 à 1000 $\mu\text{g/g}$, en zones sans dépôts naturels de phosphate ou de fluor, jusqu'à plusieurs milliers de $\mu\text{g/g}$ dans les sols minéraux avec des dépôts de fluorure (Santé Canada, 2010).

I.1.5. Exposition au fluorure

Les sources courantes d'exposition au fluorure, sont les aliments et les boissons préparés avec de l'eau riche en fluorures, les compléments alimentaires en fluorure (le lait et le sel fluorés), les compléments non alimentaires en fluorure (notamment, les comprimés de fluorure) et l'ingestion accidentelle de dentifrices fluorés (Zohoori and Maguire, 2018).

Magalhães, (2018) a identifié plusieurs facteurs, varient d'une région à l'autre, de l'exposition quotidienne totale au fluorure, notamment l'eau, les aliments et l'utilisation de produits dentaires fluorés.

I.1.5.1. L'eau

L'eau est l'une des sources d'exposition au fluorure. Les boissons (Fawell et al., 2006), présentent la source principale en fluorure. En effet, pour la plupart des pays du monde, les eaux souterraines, sont la source unique d'alimentation. Les travaux de Shomaret al., (2004)

montrent une corrélation positive avec la teneur en fluorure et la fluorose dentaire. Les travaux de Wang et al., (1999), révèlent une interrelation entre la qualité de l'eau potable et la maladie de fluorose. La contribution de l'eau aux apports totaux en fluorure, selon l'âge, est de 57 à 90% à 2 mg/l et de 72 à 94% à 4 mg/l. Pour les personnes à forte consommation d'eau, la contribution est de 86 à 96% à 2 mg/l et de 92 à 98% à 4 mg/l. Les nourrissons et les enfants, ont la plus grande exposition totale au fluorure, allant de 0,079 à 0,258 mg/kg/jour à 4 mg/l et de 0,046 à 0,144 mg/kg/jour à 2 mg/l (NRC ,2006).

I.1.5.2. Les aliments

Le fluorure, qu'il soit d'origine volcanique ou anthropique, atteint l'eau, le sol, l'air et il s'accumule dans les aliments. Fawell et al., (2006) a souligné que les légumes et les fruits contiennent de faibles concentrations en fluorure ; cependant, l'orge et le riz contiennent des niveaux plus élevés. Des teneurs en fluorure > 4,2 mg/kg ont été signalées dans les céréales, les bananes, les pommes de terre et les patates douces au Kenya, au Maroc et en Papouasie-Nouvelle-Guinée (WHO, 1994). Luke, (1997) a mentionné que la viande, en particulier de la volaille et du poisson, contient de faible concentration ; cependant, la peau et les arêtes du saumon et des sardines, en conserve, contiennent respectivement 8 et 500 mg de F/kg, car les poissons sont exposés à des teneurs relativement élevés de fluorure (1,2 - 1,4 mg/l) dans l'eau de mer.

Cinq volontaires ont participé à l'étude de Tsunoda and Tsunoda, (1986), visant de suivre le processus d'absorption et d'excrétion de fluorure, après l'ingestion de riz et de légumes à feuilles vertes, produits dans une zone polluée par le fluorure atmosphérique. Les résultats ont été comparés à ceux obtenus à partir des expériences avec des personnes ayant reçu un régime alimentaire composé d'aliment similaire mais non polluée de fluorure. Les résultats montrent que l'apport quotidien moyen de fluorure, par chaque participant, était de 7,84 mg lorsque les personnes étaient nourries avec les aliments contenant de fluorure, alors qu'il était

de 1,89 mg lorsqu'ils étaient nourris avec les aliments non pollués. Des concentrations en fluorure, supérieures à 4,2 mg/kg, ont été signalées dans les céréales, les bananes, les pommes de terre et les patates douces, au Kenya, au Maroc et en Papouasie-Nouvelle-Guinée (WHO, 1994).

I.1.5.3. Les boissons

Les boissons, y compris les boissons gazeuses, peuvent contenir des teneurs en fluorure (Guillaume, 2008). Plus de 75% des boissons gazeuses ont des concentrations dépassant les 0,6 mg/l (Levy, 2003). La présence de fluorure, dans les boissons, est attribuée à l'utilisation d'une source riche de fluorure (Legault, 2005). Les boissons ayant une contribution non négligeable en fluorure (Santé Canada, 2010). Le lait maternel et le lait des vaches peuvent contribuer à de faibles concentrations à l'apport de fluorure. Les travaux de Kahama et al., (1997), mettent en évidence des teneurs allant de 0,05 à 0,22 µg/ml, dans le lait des vaches de la région du Kenya (lac Elementaita). Le lait maternel contient de très faibles concentrations ; cependant, les enfants qui ont été allaités à moins de 18 mois, sont susceptibles de développer une fluorose, comparativement aux enfants allaités de plus de 18 mois (Guillaume, 2008).

I.1.5.4. Le thé

Le thé est une source de fluorure (Messaitfa, 2008). Sa teneur varie selon le type de thé (Lung et al., 2008). Le thé contient des concentrations les plus élevées ($8,64 \pm 2,96$ mg/l), alors que le thé pur, avait les teneurs les plus faibles ($1,97 \pm 2,70$ mg/l).

L'étude de Chan (2014), montre que la bioaccessibilité du fluorure dans les infusions de thé est estimée entre 91,4 et 100% dans le compartiment gastrique humaine, avec davantage de fluorure disponible pour l'absorption dans l'intestin grêle (fraction gastro-intestinale), allant de 92,1 à 100%.

I.1.5.5. Dentifrice

La contribution de dentifrice, à l'apport en fluorure, par application directe sur les dents (Marinho et al., 2003) que l'effet anti-caries le plus important résulte de son action sur l'interface dent/plaque, en promouvant la reminéralisation des lésions carieuses précoces. Les jeunes enfants sont exposés à plus de fluorure que les adultes car ils ont plus de difficulté à contrôler la déglutition du dentifrice, ce qu'augmente le risque de fluorose dentaire (Legault, 2005).

I.1.6. Métabolisme et excrétion du fluorure

I.1.6.1. Absorption

D'une demi-vie d'absorption, d'environ 30 minutes, dans les liquides, le fluorure, soluble, est facilement absorbés après ingestion orale ; Cependant, l'absorption peut être réduite en formant des complexes alimentaires d'aluminium, de phosphore, de magnésium ou de calcium alimentaire. Environ 75 à 90% du fluorure, ingéré quotidiennement, est absorbé par le tractus gastro-intestinal. En outre, l'absorption se produit facilement à partir de l'estomac et est inversement proportionnelle au pH de l'estomac, ainsi que la majeure partie du fluorure circulant qui pénètre dans l'intestin rapidement absorbée, tandis que l'absorption par la muqueuse buccale représente moins de 1% (OMS, 1994 ; 2017).

I.1.6.2. Distribution

Après ingestion, le fluorure est réparti dans le sang, sous forme ionique ou organiques liposolubles. La forme ionique est la forme qui sera disponible pour être absorbée par les tissus durs. Environ 99% de la charge corporelle en fluorure, est associée aux tissus calcifiés, comme les os et les dents (Magalhães, 2018 ; Mullane et al., 2016). Le fluorure sera échangé (NRC, 2006) indiqué qui) entre les fluides corporels et l'os, tant au niveau de la couche superficielle de l'os (processus à court terme) que dans les zones de remodelage osseux (processus à plus long terme).

I.1.6.3 Excrétion

Le rein est la principale voie de l'excrétion du fluorure. L'excrétion rénale est estimée entre 35 à 70% de l'apport, chez les adultes. Le fluorure est également excrété dans les matières fécales, la sueur et la salive en faibles quantités (Tylenda et al., 2003). Les résultats de Tsunoda and Tsunoda, (1986) montrent, qu'il existe une relation positive dans la clairance du fluorure et l'excrétion urinaire de fluorure sur 24 heures (%), où le taux d'excrétion diminue avec la diminution de la clairance du fluorure.

I.1.7. Effets du fluorure

Le fluorure a des effets nocifs sur la santé. Une intoxication aiguë, peut déclencher des difficultés neurologiques (Long et al., 2002), formation de pierre urinaire (Singh et al., 2001), une hypocalcémie (Pettifor et al., 1989) des patients, le cancer (Tohyama, 1996 ; Takahashi et al., 2001 ; Yang et al., 2000) et à arrêt cardiaque (Santé Canada, 2010 ; Magalhães, 2018). Les effets cardiovasculaires sont attribués à l'hypocalcémie qui entraîne une tétanie, une diminution de la contractilité myocardique et au collapsus cardiaque, en plus, une hyperkaliémie a été suggérée cause d'épisodes récurrents de fibrillation ventriculaire et souvent de décès éventuel cas d'empoisonnement au fluorure (Tylenda et al., 2003). Quand la dose de fluorure dépasse 0,10 mg/kg, du poids corporel des enfants, et de 5 mg/kg pour les adultes, il devient toxique (Afssa, 2001). L'eau potable contenant des teneurs en fluorure >1mg/l, peuvent provoquer de la fluorose (Tressaud, 2006). La Santé de Canada (2010), a estimé que la dose minimale aiguë, provoquant des séquelles, est de 5 mg/kg du poids corporel. Une intoxication aiguë, peut survenir lorsqu'une ingestion accidentelle d'une dose de l'ordre de 0,5 à 8 mg F/kg/jour, qui sont beaucoup plus faibles que les doses létales (32 à 64 mg F/kg/jour) (Rivera et al., 1993). En générale, la toxicité du fluorure, dépende de la teneur ingérée, du temps d'exposition, au type d'activité métabolique des tissus impliqués et à l'âge de la personne (Rivera et al., 1993).

Par ailleurs, les ions fluorures occupent une place importante dans de nombreux composés médicaux (Bégué and Bonnet-Delpon, 2005). Il s'agit d'inhibiteurs d'enzymes (anti-infectieux, antitumoraux, antiviraux, AINS, etc.) ou de ligands : récepteurs transmembranaires couplés aux protéines G, récepteurs couplés aux canaux ioniques, récepteurs couplés aux canaux, récepteurs nucléaires, etc. Il est aussi largement utilisé dans les lustrages dentaires : comprimés, bain de bouche, dentifrice, ou de gel à usage topique pour lutter contre les caries (OMS, 2017). Plus de 70% des dentistes et des médecins (Rivera et al., 1993), prescrivent une supplémentation en fluorure en gouttes ou en comprimés pour les enfants, en plus de l'application topique dans les bains de bouche, les crèmes et les solutions de nettoyage dentaire.

1.1.7.1. Mécanisme du fluorure contre les caries dentaires

L'émail des dents, est un tissu acellulaire constitué de minéraux. L'hydroxyapatite, représentant 85% d'émail, est l'endroit d'échanges ioniques entre la cavité buccale et l'émail, notamment en ce qui concerne le calcium, le phosphate et le fluorure (Tisseuil, 2017). L'activité préventive des ions fluorure contre les caries dentaires (Tisseuil, 2017 ; Triller, 1998) se manifeste par une diminution de la déminéralisation (réduction de la teneur en calcium et élévation de la porosité de l'émail) et favorise la reminéralisation par la formation de fluoro-hydroxyapatite, où les fluorures modifient la structure chimique de l'apatite (remplacement des groupes hydroxyle (OH^-) par des ions fluorures (F^-) pour réduire l'attaque acide provoquée par des bactéries (notamment *Streptococcus mutans* et *Lactobacillus casei*), qui déminéralisent les minéraux de surface et dissolvent les cristaux d'hydroxyapatite de calcium en métabolisant les sucres et en les transformant en acides. Le fluorure exerce des effets antibactériens par l'inhibition métabolique des sucres et le blocage d'enzyme de glycolyse (l'énolase). Une étude *in vitro*, montre qu'une faible teneur en fluorure ($<0,1 \text{ mg/l}$), avait la capacité d'inhiber la progression du cari dentaire.

I.1.8. Effet toxique du fluorure sur le corps humain

I.1.8.1. La fluorose

La fluorose, maladie chronique, due à une consommation élevée en fluorure ; se manifeste par une marbrure des dents dans les cas légers (fluorose dentaire) et par des modifications de la structure osseuse, connues sous le nom de fluorose squelettique, qui peut provoquer des douleurs articulaires, une restriction de la mobilité et éventuellement augmenter le risque de certaines fractures osseuses. L'ossification des tendons et des ligaments, et des atteintes neurologiques en cas le plus grave (Tressaud, 2006).

Les toxicologues considèrent que la durée d'exposition est particulièrement importante pour évaluer l'impact sur la santé. Cependant, l'exposition aiguë par inhalation ou ingestion d'un apport suffisamment élevé, sur une période suffisamment courte, et l'exposition chronique à des taux d'absorption moindres, mais au-dessus d'un certain niveau définissable et vécues sur une longue période, provoque des séquelles sur l'organisme, comme la fluorose (intoxication chronique), qui affecte principalement les dents, les squelettes et le système nerveux (Freeze and Lehr, 2009 ; Rivera et al., 1993).

I.1.8.1.1. Fluorose dentaire

L'apport de fluorure à des niveaux élevés pendant la formation des dents, notamment avant l'âge de 3 ou 4 ans, est considéré comme un facteur de développement de la fluorose des dents permanentes au début de l'éruption, dans laquelle les niveaux trop élevés de fluorures peuvent perturber le bon fonctionnement des cellules qui forment l'émail (odontoblastes) et donc empêcher l'émail de mûrir normalement. Cela produit une marbrure de la dent qui apparaît initialement comme des "taches blanches", qui deviennent tachées de façon permanente et évoluent vers des dents brunes et finalement marbrées (Fuentes et al., 2007 ; Levy, 2003).

La sévérité de la fluorose peut varier en fonction de la dose ingérée, du période d'exposition, pendant la formation de l'émail, de la durée d'imprégnation, ainsi que de la

variabilité interindividuelle (Afssaps, 2008). La **Figure 1** présente le cas grave de fluorose dentaire.



Figure 1. Cas de fluorose dentaire chez un enfant de 13 ans qui a consommé de l'eau naturellement fluorée à 4,8 ppm (de Souza et al., 2012).

La fluorose dentaire, résulte d'une consommation élevée, d'une eau et des aliments riches en fluorure, lors de la formation des dents, se caractérise principalement par des marbrures brunes de l'émail qui commence avec des taches. Elle est due à des dépôts de fluorure dans la structure dentaire, entraînant des altérations des améloblastes, des modifications de l'homéostasie du calcium (Frazão et al., 2004 ; Schuld, n.d.).

L'exposition au fluorure pendant la maturation de l'émail provoque une perturbation liée à la dose de la minéralisation de l'émail, entraînant un élargissement des lacunes dans sa structure cristalline, une rétention excessive des protéines de l'émail et une porosité. L'émail poreux est susceptible d'engendrer une coloration des dents (Afssaps, 2008 ; NRC, 2007). Kahamaet al., (1997) a constaté que les niveaux élevés de fluorose dentaire sont attribués aux teneurs élevées en fluorure de l'eau et les aliments.

I.1.8.1.2. La fluorose squelettique

Dans la fluorose squelettique, le fluorure augmente progressivement dans l'os pendant de nombreuses années. Les premiers symptômes comprennent une raideur et des douleurs articulaires. Au cours des stades ultérieurs, une calcification des os se produit, une ostéoporose

dans les os longs et des symptômes d'ostéosclérose où les os deviennent plus denses et développent une structure cristalline anormale. Une toxicité aigüe, entraîne une détérioration musculaire et des douleurs. Les vertèbres de la colonne vertébrale peuvent fusionner et le patient devient paralysé (Brindha and Elango, 2011 ; Fuentes et al., 2007).

La fluorose osseuse, est une maladie liée à la consommation des doses de fluorure >10mg/j, durant moins 10 ans (Stoneman et al., 2014). La fluorose squelettique invalidante peut résulter de l'ostéosclérose, de la calcification des ligaments et des tendons et d'une déformation extrême des os (Fawell et al., 2006).

D'après Freeze et Lehr (2009), les différentes phases de la fluorose squelettique invalidante, ont été décrites comme suit :

- La première phase : apparition des douleurs intermittentes et une raideur des articulations,
- La deuxième phase : apparition des douleurs articulaires chroniques, des signes arthritiques et une ossification des ligaments,
- La troisième phase : entraîne une limitation des mouvements articulaires, des déformations invalidantes de la colonne vertébrale et atrophie musculaire.

Nagendra Rao (2003) a expliqué que la fluorose squelettique touche les jeunes et les personnes âgées et se manifeste chez les personnes consommant des eaux contenant plus de 3 à 6 mg/l de fluorure.

Le développement de fluorose osseuse, est influencé par plusieurs facteurs, dont l'âge, le régime alimentaire, l'état nutritionnel, le climat, l'état de la fonction rénale, la consommation de l'eau, l'apport de calcium, l'ampleur et à la durée de l'exposition au fluorure (Fawell et al., 2006 ; LCPE ,1993).

Les travaux de Rabier et al., (2008), réalisés sur des habitants de cinq communautés rurales du Sénégal, montrent que 70% des 900 enquêtés, consommant une eau de teneur en

fluorure $> 1,5\text{g/l}$, une fluorose dentaire et squelettique a été diagnostiquée ; alors que 52,7% des personnes enquêtée, présentaient des signes de fluorose osseuse. L'analyse radiographique indique que 26 des 36 examinés, présentaient un changement de la trame osseuse (ostéoseosté ocondensante) étendue, avec un épaissement des travées osseuses (ostéopénique). La **Figure 2**, présente un exemple clinique et radiographique des cas de fluoroses osseuses.



Figure 2. Exemples d'aspects cliniques et radiographiques des cas de fluoroses osseuses identifiés (Rabier et al., 2008)

I.1.9. Norme de fluorure recommandée

I.1.9.1. Normes internationales

Pour les eaux potables, l'organisation mondiale de la santé (OMS), recommande une concentration de $1,5\text{ mg/l}$; toute en prend en considération le climat, la consommation d'eau et des aliments. Les taches sur les dents apparaissent à des teneurs $> 1,5\text{ mg/l}$. Pour une meilleure protection, la concentration minimale nécessaire en fluorures, dans eaux est estimée à $0,5\text{ mg/l}$. Les effets de fluorure, augmentent avec sa teneur en eau, jusqu'à 2 mg/l . Ainsi, un apport supplémentaire en fluorure est nécessaire pour prévenir les caries dentaires lorsque sa concentration, dans l'eau du robinet, est $< 0,5\text{ mg/l}$. Cependant, la fluorose osseuse a été observé

à des concentrations de 3,0 à 6,0 mg/l, qui peuvent devenir mutilantes lorsque la teneur dépasse 10 mg/l, car à cette valeur se développe la fluorose squelettique invalidante (OMS, 1985 ; 2017). L'EPA a examiné les données sur l'incidence de la fluorose modérée et grave de l'émail et a constaté qu'à une teneur en fluorure de 2 mg/l, l'incidence de la fluorose modérée variait entre 0 à 15%. Les cas graves observent pour des teneurs > 2,5 mg/l. Ainsi, la concentration de 2 mg/l, a été jugée assurante pour prévenir la fluorose de l'émail qui serait esthétiquement inacceptable (NRC, 2007). D'après Goni et al., (1973), la norme recommandée pour le fluorure varie d'un pays à l'autre et selon les conditions. Elle est de 1 mg/l en France, de 1,5 mg /l en Espagne et de 0,7 à 1,2 mg/l au Canada. Pour la Turquie et la Communauté Européenne, ont recommandées une norme de 1,5 mg/l (ISFR ,2003). L'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé, (2008), indique qu'en l'absence de suppléments fluorés, la valeur guide, pour les eaux minérales embouteillées, est de 0,5 mg/l. Elle est de 0,3 mg/l, en cas de supplémentation. Ces eaux doivent être étiquetées, afin de connaître si elle convient ou non à la préparation des aliments de nourrissons.

L'OMS (2017) suggère une norme guide inférieure à 1,5 mg/l, lorsque les apports en fluorure, des autres sources sont proches ou supérieures à 6 mg/jour. Pour éviter tout risque de fluorose l'AFSSAPS (2008), il ne faut pas dépasser la dose 0,05 mg/j/kg, sans dépasser 1 mg/j. Tandis que, Zohoori et Maguire (2018), a rappelé que bien qu'un apport total en fluorure de 0,05 à 0,07 mg/kg/j, a été suggéré comme optimal pour les bienfaits pour la santé dentaire chez les enfants, l'apport en fluorure ne doit pas dépasser un niveau d'apport supérieur tolérable de 0,1 mg/kg PC/j, en particulier lors de la formation de l'émail dentaire.

I.1.9.2. Norme nationale

Les limites recommandées, varient de 0,6 à 0,8 mg/l, pour des températures de 26,3-32,6° C, et de 0,9-1,7 mg/l pour des températures allant de 10-12° C (OMS, 2008).

I.1.10. Le fluorure au Sahara septentrional Algeria

Compte tenu de l'intérêt des ions fluorures pour la santé, de la diversité de ces sources, de nombreuses études ont été mené sur le fluorure en Algérie, en particulier dans la région d'étude. Les travaux de [Messaitfa, \(2008\)](#), de [Belmabdi \(2009\)](#) et [Zobeidi \(2010\)](#), mettent en évidence la distribution des ions fluorures dans l'eau et les aliments, notamment les dattes et le thé, consommées par les habitants de Ouargla, Ghardaïa, EL-Oued, Biskra. Ces études, a montrées, qu'environ 70 % de toute la prise du fluorure dérive de l'eau consommée, le thé et les dattes représentant respectivement 10 % et 20 % de l'apport total journalier ingéré. Les résultats indiquent que la source principale en fluorure est l'eau, le thé, les dattes et aliments consommés. Pour les dattes, les teneurs en fluorure varient en fonction de la variété, la plus forte concentration se trouvant dans la variété Daglet noor (71 mg/kg). Par ailleurs, [Zobeidi \(2010\)](#), montre qu'un adulte, d'un poids moyen de 60 kg, vivant dans la zone d'étude, la dose ingérée est estimée à 0,29 mg/jour/kg, soit 5 fois plus élevé que la norme recommandée pour un adulte (0,05 à 0,07 mg/jour/kg). En outre, les travaux de [Baouia et Messaitfa \(2015\)](#), montrent, que les eaux des nappes exploitées, à Ouargla, contiennent des concentrations élevées en fluorure : Le mio-pliocène contenait des teneurs allant de 1,62 à 2,01 mg/l, soit supérieure à la norme recommandée par l'OMS (1, 5 mg/l). Tandis que le sénonien, la concentration oscille de 1,15 à 1,62 mg/l. Cependant, les eaux de la nappe albienne sont caractérisées par une teneur acceptable en fluorure. Quant aux principales denrées alimentaires, le thé et les dattes sont respectivement de 0,86 à 2,10 mg/l et de 0,48 à 18,24 mg/kg. Bien que les travaux de [Baouia et Messaitfa \(2015\)](#) ; [Lachouri \(2009\)](#) et [Zobeidi \(2010\)](#), ont visées le même objectif, toutefois la diversité des dates auxquelles ces études ont été réalisées et des méthodes d'analyse, montrent la probabilité et le risque de fluorose dentaire et squelettique, dans les régions étudiées et la nécessité d'adopter des méthodes efficaces pour l'élimination du fluorure présent dans l'eau. Par ailleurs, et devant la rareté de l'eau potable, de bonne qualité, dans le Sahara septentrional

algérien, Atia et Hoggui (2012) ; Lounici et al., (1997), Youcef et Achour (2001 ; 2004), de nombreux procédés de défluoruration des eaux souterraines ont été testés.

En général, dans la région d'étude, le fluorure dans l'eau, dépasse la recommandation l'OMS (1,5 mg/l). Les teneurs les moins élevées, ont été enregistrées à la nappe de l'Albien quelle que soit la région considérée (Achour et al., 2008 ; Bouchemal et al., 2011 ; Tabouche and Achour, 2004 ; Messaitfa, 2008). 57,5% des eaux de consommées au Sud algérien ayant des teneurs élevées (Djellouli et al., 2005).

I.1.11. Conclusion

Le fluorure est un oligo-élément naturel qui n'existe pas librement dans la nature. Il est toujours combiné à d'autres éléments. Les volcans présentent sa présence dans l'air, l'eau et le sol. Les industries et les engrais agricoles phosphatées, sont des origines anthropiques de fluorure dans le milieu naturel. Le fluorure soluble dans l'eau, atteint rapidement le tractus gastro-intestinal. Après ingestion, il est distribué dans le sang du corps. Environ 99% de la charge corporelle, est associée aux tissus calcifiés comme les os et les dents, l'urine est les principales voies d'excrétion du fluorure, le fluorure est également excrété dans les matières fécales, la sueur et la salive en faibles quantités. Comme tous les éléments chimiques, le fluorure a des effets bénéfiques et néfastes, sur la santé, l'exposition aiguë sur une période suffisamment courte et l'exposition chronique à des taux d'absorption moindres, sur une longue période, provoque des effets toxiques comprenant la fluorose dentaire et squelettique.

Chapitre 2

Présentation de la région d'étude

I.2.1. Introduction

Le Sahara occupe plus des 3/4 de la surface totale en Algérie (Slimani, 2015). Les eaux fossiles, le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire, sont l'unique réserves exploitées (OSS, 2003).

Ce chapitre se consacre de présenter la zone d'étude (Ouargla et Biskra), y compris les données générales sur la zone d'étude, la situation géographique et les facteurs climatiques. Nous présentons ensuite les ressources en eau, l'hydrogéologie, l'activité agricole et l'irrigation dans la région.

I.2.2. Généralités sur la région de Ouargla

I.2.2.1. Situation géographique

Ouargla, d'une superficie de 163.230 km², se situe au fond de la vallée nord de l'Oued M'ya, à une altitude de 157 m, correspondant aux coordonnées, 5° 20' Est de longitude et 31° 58' Nord de latitude. Comprend 21 communes, dont la population était estimée à 636967 habitants en 2010 (Aissa and Boutoutaou, 2017).

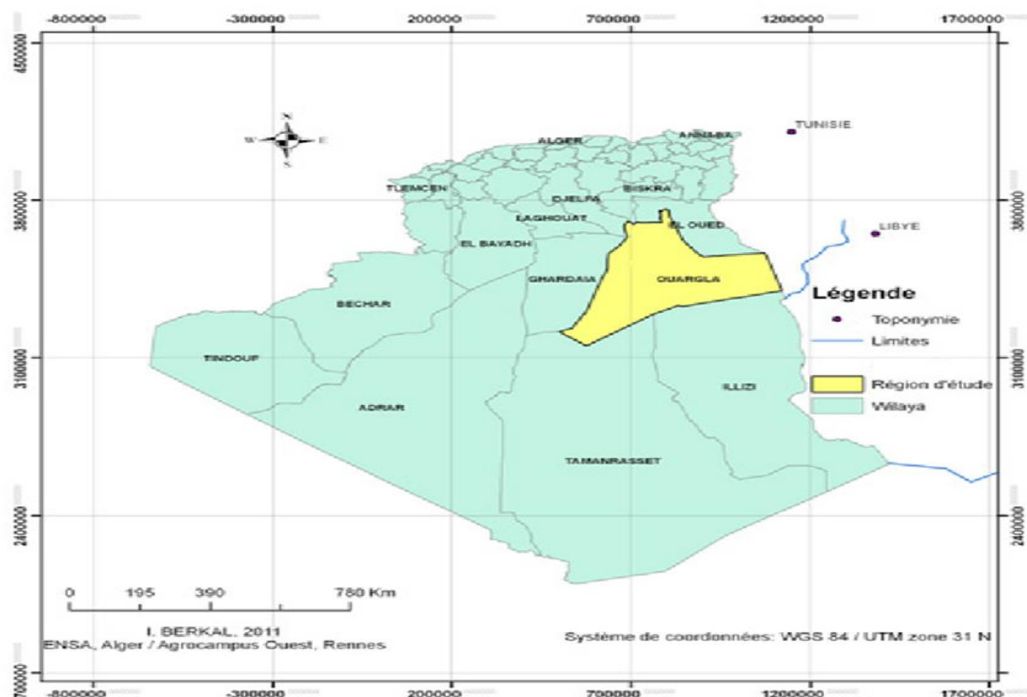


Figure 3. Localisation géographique de Ouargla (Idder et al., 2014)

I.2.2.2. Facteurs climatiques

I.2.2.2.1. Climat

Le climat de Ouargla est hyper aride, avec des hivers tempérés et une sécheresse permanente. Il se caractérise notamment par, des précipitations rares et irrégulières, un fort ensoleillement, de grands écarts de température et une forte évaporation.

I.2.2.2.2. Température

Ouargla se caractérise par des températures très élevées en été, avec une moyenne annuelle de 23,5 °C. Durant la période 2009 -2018 (ONM, 2019), le maxima moyens (45 °C), est enregistré au mois de juillet et minima moyens (0 °C) a été enregistré au mois de janvier. L'année peut être distinguée en deux périodes Sail (2006):

- L'une très chaude, allant de mois de Mai à Octobre, caractérisée par une températures moyennes supérieures à la moyenne annuelle avec un maximum au mois de Juillet et d'Août,
- L'autre période, fraîche couvrant le reste de l'année.

I.2.2.2.3. Précipitations

La précipitation est très rare et irrégulière qui ne dépassent guère 60 mm/an en plus pendant 39 ans (Bettahar et al., 2017). La moyenne annuelle des précipitations, durant la période 2009 -2018, a été de 35,1 mm (ONM, 2019).

I.2.2.2.4. Évaporation

L'évaporation annuelle moyenne, calculée durant la période 2009-2018, est de 244,84 mm/an. Ce qui correspondait à un taux d'évaporation de 442 mm/j, en juillet (ONM, 2019).

I.2.2.2.5. Humidité de l'air

Dans le nord du Sahara, l'humidité mensuelle moyenne est de 26,6% pendant l'été (juillet) et 60,2% pendant le mois de décembre.

I.2.2.2.6. Les vents

Ouargla, les vents, différentes directions, sont au printemps avec de grande vitesse. La vitesse moyenne du vent varie entre 59,8 et 94,3 km/h (ONM, 2019).

I.2.3. Données générales sur la région de Biskra

I.2.3.1. Situation géographique

Biskra, avec ces 12 Daïra et 33 communes (Fig. 4), se distingue entre, le domaine montagneux au nord, et les plateaux présahariens au Sud (Farhi and Belhamra, 2012). Elle est située, entre 5° et 7° de longitude Est, 34° et 35° de latitude Nord (Moussa et al., 2020). Biskra et d'une superficie de 21671 km², son altitude est de 128 m au-dessus du niveau de la mer (Bouchemal and Achour, 2015).

En 1997, au recensement général, la population de Biskra, est estimée à 603 799 habitants, avec une densité de 28 habitants/km² (Masmoudi, 2009).

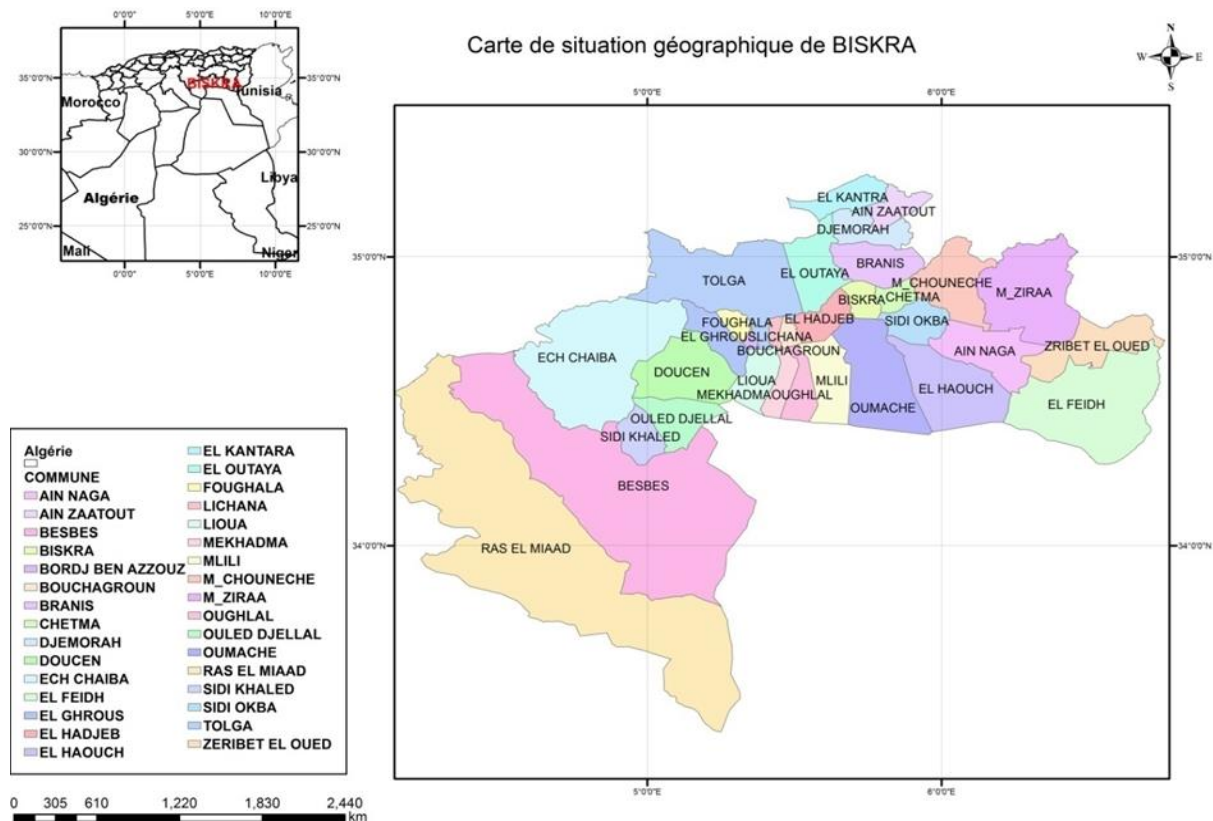


Figure 4. Situation géographique de la région Biskra.

I.2.3.2. Facteurs climatiques

I.2.3.2.1. Climat

Du point de vue climatique, Biskra est une zone de transition entre l'environnement semi-aride des hautes plaines et le domaine hyperaride du Sahara. Les mois, février, avril, juin, juillet et août, se caractérisent par un climat hyperaride. Les mois de septembre, octobre et mai sont caractérisés par un climat désertique. Alors que les mois de novembre, décembre et janvier possèdent des caractéristiques steppiques.

I.2.3.2.2. Température

La région de Biskra connaît une augmentation progressive des températures au fil des années. Une analyse (Rekis, 2010), des données de 10 ans (1999-2010), permette de constater que les températures moyennes annuelles sont élevées. Les maxima absolus ($> 42\text{ °C}$) ont enregistré au mois de juillet, et des minima ($4\text{ à }8\text{ °C}$) en janvier. Les travaux de Boucetta (2018), montrent (Fig. 5) que durant la période 1990-2015, la température moyenne annuelle la plus basse ($21,4\text{ °C}$) est enregistrée pendant l'année 1991-1992 ; Cependant la moyenne annuelle maximale est de $23,3\text{ °C}$.

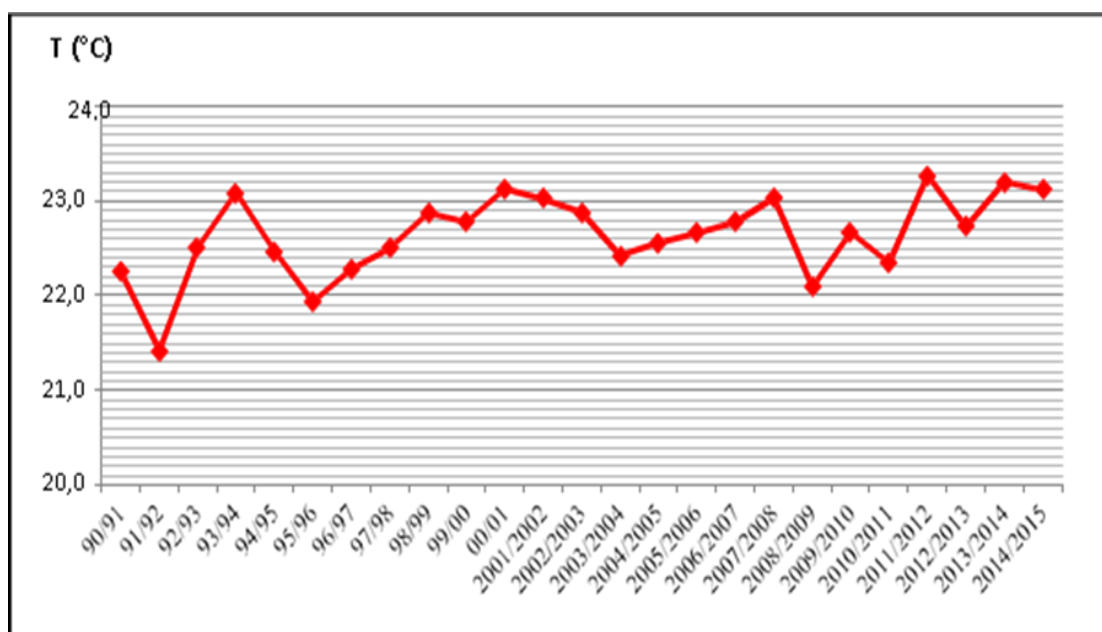


Figure 5. Moyennes annuelles des températures pour la période (1990-2015) (Boucetta, 2018).

I.2.3.2.3. Précipitations

La précipitation à Biskra est faible et mal répartie. La pluviométrie moyenne annuelle, calculée durant la période 1999-2009, est de 131,2 mm (Rekis (2010)), avec une minimale (47 mm) en 2002 et un maximum (294,1 mm) en 2004 (Fig. 6).

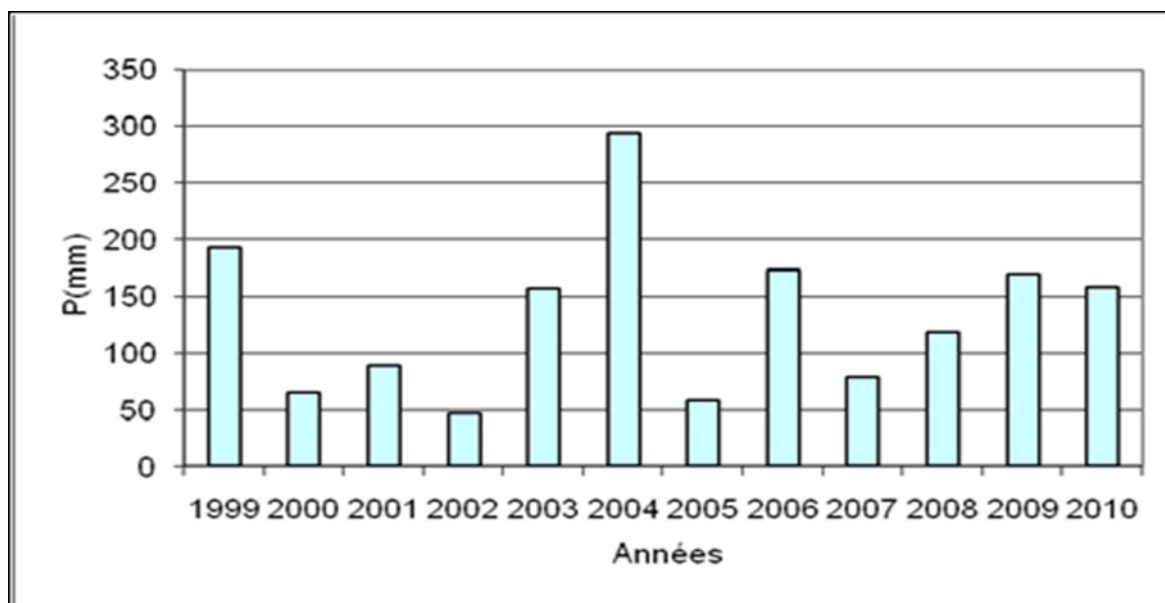


Figure 6. Variations des précipitations de Biskra 1999-2010)

L'étude de Azioune et al. (2018), montre un retour de la période humide au cours de la période 2002-2010, accompagnée d'une augmentation des événements pluvieux intenses.

I.2.3.2.4. Évaporation

Masmoudi (2009) a indiqué que la forte évaporation est due à la très faible couverture végétale, Ainsi que le taux d'évaporation moyen est estimé à 2600 mm/an.

I.2.3.2.5. Humidité de l'air

Le taux d'humidité moyenne mensuelle, durant la période de novembre à Janvier (Allia, 2018) , est de l'ordre de 54%, 59% et 57%, respectivement. La plus faible (26%), a été enregistrée au mois de Juillet.

I.2.3.2.6. Les vents

A Biskra, le vent est relativement fréquent. Les vents froids et humides, venant des hauts plateaux, sont les plus dominants, en période hivernale. Quant aux vents d'Est et de Sud-

Est, sont fréquents en été. Ainsi qu'en printemps et en été, les vents de sables venant du Sud-Ouest sont fréquents. De plus, les vents très chauds et secs qui apparaissent en été sont le sirocco (Bacha, 2010). La vitesse moyenne annuelle du vent est estimée à 4,5 m/s (Bouchemal, 2017).

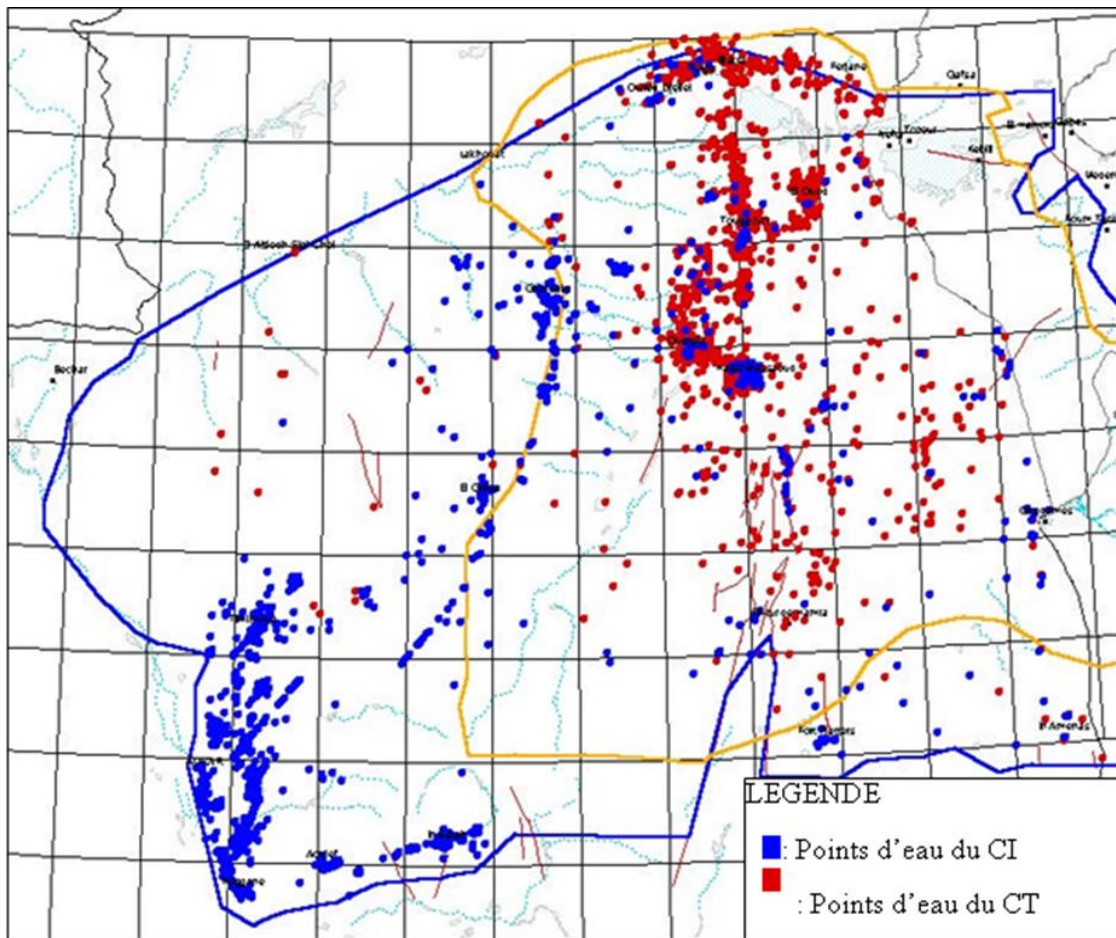
I.2.4. Ressources en eau de la région d'étude

L'Algérie est la plus pauvre en eau, avec une disponibilité $< 500 \text{ m}^3/\text{personne}/\text{an}$ (Jemmali and Sullivan, 2014). L'indice de vulnérabilité, atteint les 87,1% en 2012, caractérisant une pénurie d'eau (Kherbache, 2020). Les ressources en eau, sont de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables (Ghibeche et al., 2013). Pour Biskra, les ressources de surface, sont principalement les crues des oueds (Oued Biskra, Oued Djeddi, Oued El Abiod, Oued El Arab) (Bacha, 2010 ; Boucetta, 2018).

Depuis son exploitation, des nappes souterraines, le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire (Boucetta, 2018 ; Bouchemal, 2017 ; Rekis, 2012), les prélèvements passent de $600 \text{ Hm}^3/\text{an}$, en 1970, à plus de $2000 \text{ Hm}^3/\text{an}$, en 2015 (Bouselsal, 2017). Les eaux de la zone d'étude, sont fortement minéralisées et dure (Bouchemal, 2017), de qualité médiocre avec une teneur en sel, dépasse les 7 g/l (Khadraoui, 2003).

I.2.5. Hydrogéologie

Le système aquifère, est d'une superficie de plus d'un million de km^2 . Dans la partie occidentale du Sahara ; environ 700000 km^2 en Algérie, 80000 km^2 en Tunisie et 250000 km^2 en Libye. Il est exploité par 8000 points d'eau : 5000 en Algérie, 2000 en Tunisie et près d'un millier en Libye (OSS-UNESCO, 2005). La Figure 4 (OSS, 2003), présente les ressources souterraines exploitées en Algérie.



Légende :

— : Limite du Continental intercalaire

— : Limite du Complexe Terminal

Figure 7. Les ressources souterraines exploités en Algérie (OSS, 2003)

Belkseir et al., (2016) ont souligné qu'il existe deux systèmes aquifères dans le bassin d'Oued

Righ :

- Le Continental Intercalaire (CI), profond et étendu, se compose de sables et de grès d'âge albien.

- Le Complexe Terminal (CT), peu profond et moins étendu, se compose de deux ensembles différents : un ensemble continental constitué de sables, de graviers et de grès d'âge miopliocène, formant les 1^{ères} et 2^{èmes} couches réservoir (TC1) (TC2) et un autre, TC3, marin et composé de calcaires d'âge sénonien-écocène.

I.2.5.1. Le Complexe Terminal

Englobant le Sénonien, l'Eocène, le Miocène, le Plio-Quaternaire et le Turonien (Chabour, 2005). Cette nappe occupe une superficie d'environ 350 000 km² (Idder et al., 2014). Son exploitation, dans la zone étude, est par pompage à 19,4 m³/s, soit 91% de l'exploitation globale en Algérie (OSS, 2003). D'autre part ; OSS (2003) et Chabour (2005), ont mentionnés que le niveau aquifère des calcaires du Complexe Terminal en Algérie est formé par le Sénonien carbonaté (Santonien, Campanien et Maestrichtien) et l'Eocène carbonaté qui inclut les calcaires du Paléocène et de l'Eocène inférieur.

I.2.5.1.1. Le Miopliocène

D'une profondeur comprise entre 100 et 300 m, et un débit moyen de 15 l/s (Bouchemal, 2017), la nappe est composé de sables, de grès et quelque fois de calcaires et d'argiles. Son épaisseur moyenne, est de 75 m au Sud et atteint les 250 m au Nord (Idir et al., 2014). À l'Est de Biskra, la nappe est subdivisée en deux nappes. La première profonde, connue de Pontien et l'autre (le Mio-pliocène), d'une profondeur moyenne (Hadoud, 2013).

I.2.5.1.2. L'Éocène inférieur

Les sondages effectués, montrent que le calcaire Eocène, présente un réseau de diaclases dense, d'origine tectonique et karstique (Drouiche et al., 2013).

Du côté de l'approvisionnement en eau ; les travaux de Sedrati et al. (2008) et Bouchemal (2017), qualifiant la nappe par la plus sollicitée par rapport à la nappe du Mio-Pliocène. Drouiche et al. (2013), signalent que l'Eocène inférieur, apparait au nord de Biskra (commune d'El Ghrous), et devient plus profonde en allant vers le sud.

I.2.5.1.3. Le Sénonien

La nappe est d'une épaisse série marno-calcaire marine allant de 1500 à 2000 m d'épaisseur (Allia, 2018). Au Nord et au Nord-Est de Biskra, la nappe est représentée par

important aquifère le Maestrichtien et le Campanien, d'une profondeur allant 200 à 900 m (Rekis ,2012).

I.2.5.2. Le Continental Intercalaire (Albien)

La nappe s'étend sur une superficie de 600000 km² (Harkati, 2018 ; Idder et al., 2014 ; Kechichedetal, 2013) du bassin sédimentaire du Sahara septentrional. De formation sablo-argileuse, d'origine continentale avec des incursions marines ou lagunaires parfois très importantes (Chabour, 2006).

L'Albien est d'une faible possibilité de recharge par infiltration des eaux descendant de l'Atlas saharien au nord, des monts du Dahra à l'est et des oueds de l'extrémité ouest du Tademaït (Bouselsal, 2017 ; Ouali and Bouguern, 2016). A Ouled Djellal et Sidi Khaled, la nappe est entre 1500 à 2500 m de profondeurs (Allia, 2018).

I.2.5.3. La nappe phréatique

Les nappes phréatiques sont essentiellement composées de formations quaternaires. Elles sont situées dans les plaines et les lits d'oueds et sont principalement alimentées par les précipitations, les eaux de crue, parfois par le drainage d'aquifères plus profonds et artésiens, les eaux de drainage, les fuites causées par les canalisations, les forages et par le retour des eaux d'irrigation (Chabour, 2006). De composition hétérogène (blocs, galets, graviers et sables (Allia, 2018) et d'épaisseur de 1 à 8 m, la nappe occupe tout le fond de la vallée d'Ouargla et les isolats des aquifères artésiens sous-jacents (Aissa et Boutoutaou, 2017).

I.2.6. Activité agricole

Aux zones d'études, l'agriculture présente près de la moitié de l'emploi. La superficie irriguée, est de plus de 110000 hectares. Plus de 6,8 millions palmiers, dont plus de la moitié est de deglet nour, couvrant une superficie de 75 000 ha. Les cultures légumières d'hiver comprennent l'ail, l'oignon vert. Les cultures d'été sont principalement les tomates, le piment,

le melon et la pastèque...etc. les céréales, l'arboriculture et les cultures industrielles (Daoudi and Lejars, 2016).

L'intensification du maraîchage au sud, est incitée par l'installation gratuite de puits et de systèmes d'irrigation. Benameur-Saggou et al. (2021) et Rekibi (2015) ont mentionné que la région de Ouargla est une oasis dont l'activité agricole est principalement marquée par la phoeniciculture. Cependant, actuellement, plusieurs agriculteurs de la région ont associé la plasticulture comme une nouvelle spéculation lucrative à leurs palmeraies (Benameur-Saggou et al., 2021). Les cultures sous serre les plus courantes sont les tomates, les poivrons, les piments, les aubergines, concombre, les melons et les pastèques (Amichi et al., 2015 ; Bensaha and Bezzari, 2014).

Les producteurs cultivent les poivrons et les piments tout au long de l'année, en pré-saison (août à janvier) et en saison (janvier à juillet), tandis que les tomates sont principalement cultivées en présaison (Amichi et al., 2015).

Sahali et al. (2021) ont indiqué que dans les régions du Sahara algérien, les cultures maraîchères ont connu une amélioration de leur production en 2019. Les régions du sud, notamment Biskra et El-Oued, se classant en première place pour la production nationale de cultures maraîchères dont les tomates, les oignons, les ails, les pommes de terre, les melons et pastèques.

Bensaha and Bezzari, (2014) et Hartani et al., (2015), considèrent que le climat saharien, les grandes surfaces de sol potentiellement cultivable, la disponibilité des eaux et la faible superficie de serre, permettent l'exploitation des espaces libres entre les palmiers. Pour ces raisons, la plasticulture trouve un milieu favorable pour se développer.

Selon Rekibi (2015), la région du Biskra est considérée comme le premier fournisseur de légumes provenant de différentes régions d'Algérie, dont les cultures maraîchères dites "extra précoces". Biskra est considérée comme la première à l'échelle national en cultures

maraîchères. La production atteint les 913 mille quintaux, soit 42% de la production nationale totale.

Sahali et al., (2021) a également indiqué que Biskra considéré comme un pôle de production pour les cultures maraîchères sous serre. Cette région a fait une amélioration des rendements et une expansion des surfaces plantées, la surface plantée était d'environ 7 920 ha, soit plus de 40% de la surface totale des cultures sous serre en Algérie.

I.2.7. Irrigation

Au sud, les eaux souterraines sont fortement exploitées en irrigation (Daoudi and Lejars, 2016). Le système de gouvernance et d'économie d'eau, est la clé de la durabilité de cette agriculture au Sud (Daoudi and Lejars, 2016).

I.2.8. Conclusion

La région d'étude (Ouargla et Biskra), occupent un vaste territoire en Algérie. Ouargla se trouve, à une altitude de 157 m, correspondant aux coordonnées géographiques 5° 20' de longitude est et 31° 58' de latitude nord. Quant à Biskra, elle se situe entre 5° et 7° de longitude Est et 34° et 35° de latitude Nord. Le climat de ces régions est de type saharien, avec des hivers tempérés et une sécheresse permanente, des précipitations faibles et rare, un fort ensoleillement, de grandes variations de température et une forte évaporation.

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional en Algérie couvre une superficie d'environ 700 000 km² et est exploité par quelque 5 000 points d'eau, forages et sources.

Deuxième Partie

Étude Expérimentale

Chapitre 1

Matériels et Méthodes

II.1.1. Introduction

Ce chapitre vise à exposer les techniques de caractérisation et les procédés expérimentaux utilisés dans notre étude. Dans cette perspective, en premier lieu, une présentation sera faite sur les méthodes de dosage des ions fluorures et les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines et les légumes les plus consommés dans la région. En second lieu, une description du matériel et de l'appareillage utilisés dans notre étude sera exposée, ainsi qu'une explication détaillée du protocole expérimental d'adsorption sera présentée.

II.1.2. Analyse physico-chimiques des eaux

II.1.2.1. Échantillonnage et Prélèvement

Une étude a été menée afin de connaître la concentration des ions fluorures des eaux souterraines de la région d'étude (Ouargla, Biskra). Pour ce faire, 30 forages d'eaux souterraines ont été échantillonnés sur différentes nappes exploitées (Sénonien, Turonien, Miopliocène, Maestrichtien et Plio-Quaternaire). Chaque bouteille, porte le code de forage, le type d'aquifère et la date de prélèvement (Tableau 2). Les échantillons ont été prélevés dans des bouteilles en plastique propres et rincées par de l'eau à étudiée. Avons d'être analysées (éléments majeurs et fluorure), les échantillons ont été conservés à 4 °C conformément à la recommandation de [Rodier et al., \(2009\)](#).

Tableau 2. Localisation des forages d'eau échantillonnées

La région	Forage	Nappe	Date de mise en service	Les coordonnées		Prof (m)	La date de prélèvement		
				X	Y		Jour	Heure	
Ouargla	Said otba1	Sénonien	1990	5,329535	31,977059	193	05/01/2021	10:14	
	Mekhadma1		1978	5,313031	31,942643	200	05/01/2021	09:25	
	Nakhil		1990	5,331942	31,955505	188	04/01/2021	09:43	
	Ifri1		1996	5,339295	31,964481	176	04/01/2021	10:37	
	Ain hadji		1998	5,318874	31,961021	200	04/01/2021	09:20	
	Bamendil3		2012	5,278595	31,983631	176	05/01/2021	11:05	
	Gherbouz 2	Miopliocène	1991	5,314497	31,959255	185	04/01/2021	09:09	
	Elkhafdji 4		2003	5,258447	31,954676	201	05/01/2021	11:24	
	Bamendil 1		1983	5,284452	31,984003	131	05/01/2021	10:50	
	Bahmid		1941	5,328932	31,961921	76	04/01/2021	10:07	
	Douane		1990	5,348006	31,957823	191	04/01/2021	10:50	
	Said otba 2		2012	5,345304	31,977671	183	05/01/2021	10:28	
	Pôle universitaire		Sénonien	2011	5,292044	31,939044	50	05/01/2021	09:02
	Cité 324			2016	5,317436	31,948657	64	05/01/2021	09:43
	Lala mimouna			1982	5,322248	31,953106	172	04/01/2021	08:35
	Ain elouiz			2000	5,349467	31,951366	179	04/01/2021	11:06
Biskra	Route Tolga3	Turonien	2007	5,691861	34,835833	280	26-10-2020	14:40	
	Route Tolga1		2007	5,701944	34,841833	300	26/10/2020	14:32	
	Route Tolga4		2007	5,695778	34,838694	300	26/10/2020	14:25	
	BN2		2006	5,550216	34,765634	200	26/10/2020	13:57	
	Megloub 05				5,544056	34,771278	300	26/10/2020	13:45
	Megloub13		2016	5,5415	34,775194	350	26/10/2020	13:38	
	Droh3	Maestrichtien	2007	5,911917	34,891806	233	28/10/2020	10:14	
	Droh4		2007	5,908833	34,888750	440	28/10/2020	10:06	
	Droh5		2007	5,905556	34,886028	285	28/10/2020	09:59	
	Envirennement n°2)		Plio-Quaternaire	2016	5,742944	34,899250	//	28/10/2020	14:24
	Oued elhai F4			1988	5,741250	34,890583	48	28/10/2020	13:38
	O.H (sif 6 Bis)	Miopliocène	1987	5,742054	34,884787	44	28/10/2020	13:47	
	Alia (ZP3)		2006	5,760917	34,861139	200	28/10/2020	10:02	
	Boukhalfa		Plio-Quaternaire	1982	5,744679	34,850081	100	28/10/2020	12:00
	Hopital n°2 (jaune aveugle)	1991		5,734565	34,871990	130	28/10/2020	11:28	

II.1.2.2. Analyses sur site

Le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité électrique (CE) et la température des eaux, ont été analysés sur site, à l'aide d'un Multi paramètre portatif (multi 350 i).

II.1.2.3. Les éléments majeurs

Les cations et les anions majeurs, sont mesurés selon des méthodes standard décrites par Rodier et al., (2009).

II.1.2.3.1. Calcium et Magnésium

Eléments de la dureté des eaux ; leurs teneurs varient selon la nature du terrain traversé (Rodier et al., 2009). La méthode titrimétrique à l'EDTA a été utilisée pour estimer leurs teneurs.

Dans un erlenmeyer ; d'une capacité de 250 ml, 50 ml d'échantillon est mélangé avec 2 ml de solution NaOH et 0,10 g de murexide. L'EDTA a été ajouté, goutte à goutte, jusqu'au virage de la couleur de la solution de rose au violet (**Fig. 8**), à un pH compris entre 12 et 13.

La concentration en calcium est donnée par l'expression suivante :

$$[\text{Ca}^{2+}](\text{még/l}) = \frac{V_{\text{EDTA}} N_{\text{EDTA}} \cdot 1000}{\text{Volume de la prise d'essai}}$$

$$[\text{Mg}^{2+}](\text{mg/l}) = [\text{TH}] - [\text{Ca}^{2+}]$$

Avec : $[\text{mg/l}] = ([\text{még/l}] \times \text{la masse molaire}) / \text{le nombre de valence}$



Figure 8. Le titrage de calcium

II.1.2.3.2. Titre hydrotimétrique

La dureté d'une eau, est la somme des ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} et Sr^{2+} dissous. Pratiquement, la dureté totale d'une eau est la somme de sa dureté calcique et de sa dureté magnésienne. On distingue, la dureté calcique et magnésienne, la dureté carbonatée ou temporaire [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ et $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$], de la dureté non carbonatée ou permanente (CaSO_4 ,

CaCl₂, MgSO₄, MgCl₂). La dureté totale d'une eau est mesurée selon la méthode titrimétrique en utilisant du noir d'ériochrome T. Dans un erlenmeyer de 250 ml, 50 ml d'échantillon ont été versés et 2 ml de solution tampon à un pH de 10 ont été ajoutés, ainsi que 10 gouttes d'indicateur NET. L'EDTA (0,02 mol/l) a été ajouté goutte à goutte jusqu'à ce que le virage violet devienne bleu franc.

La dureté ou titre hydrotimétrique, exprimée en degré français (°F), est donnée par l'expression suivante :

$$TH \text{ (méq/l)} = \left[\frac{VEDTA \text{ versé} * Normalité \text{ de EDTA}(0,02)}{Vp} * 1000 \right]$$

$$TH(°F) = TH \text{ (méq/l)} * 5$$

II.1.2.3.3. Potassium et Sodium

Le potassium est un élément répandu dans les eaux naturelles. Il peut être présent dans l'eau potable à des teneurs susceptibles de présenter une menace pour la santé (OMS, 2017).

Le sodium, avec la forte solubilité de ses sels, expliquent sa présence dans les eaux à des niveaux anormalement élevés résultant probablement au lessivage des sels, aux lixiviations à travers des sols salins ou de l'infiltration des eaux saumâtres (Fifati, 2012).

Le dosage du potassium et de sodium a été effectué par photométrie à émission de flamme (Fig. 9).



Figure 9. Photométrie à émission de flamme (JENWAY PFP7).

II.1.2.3.4. Titre alcalimétrique Complet

On distingue deux titres : Simple (TA) et complet (TAC).

$$TA = [CO_3^{2-}] + [OH^-]$$

$$TAC = [HCO_3^-] + 2 [CO_3^{2-}] + [OH^-] \text{ (Rodier et al., 2009).}$$

Pour déterminer le TAC, deux gouttes de méthylorange ont été ajoutées à l'échantillon et la solution a été titrée de nouveau avec le même acide sulfurique (0,02 mol/l), jusqu'au virage de la couleur du jaune au jaune orangé (pH = 4,3) (**Fig. 10**). Les deux titres alcalimétriques sont calculés selon les expressions suivantes :

$$[TA](\text{még/l}) = \frac{V_{HCl} N_{HCl} \cdot 1000}{\text{Volume de la prise d'essai}} \quad (5.9)$$

$$[TAC](\text{még/l}) = \frac{V_{HCl} N_{HCl} \cdot 1000}{\text{Volume de la prise d'essai}} \quad (5.10)$$

$$[HCO_3^-] = [TAC] - [TA] \quad (5.11)$$

Avec : 1 még/l = 0,001 mol/l et [mg/l] = ([még/l] x la masse molaire) / le nombre de valence.

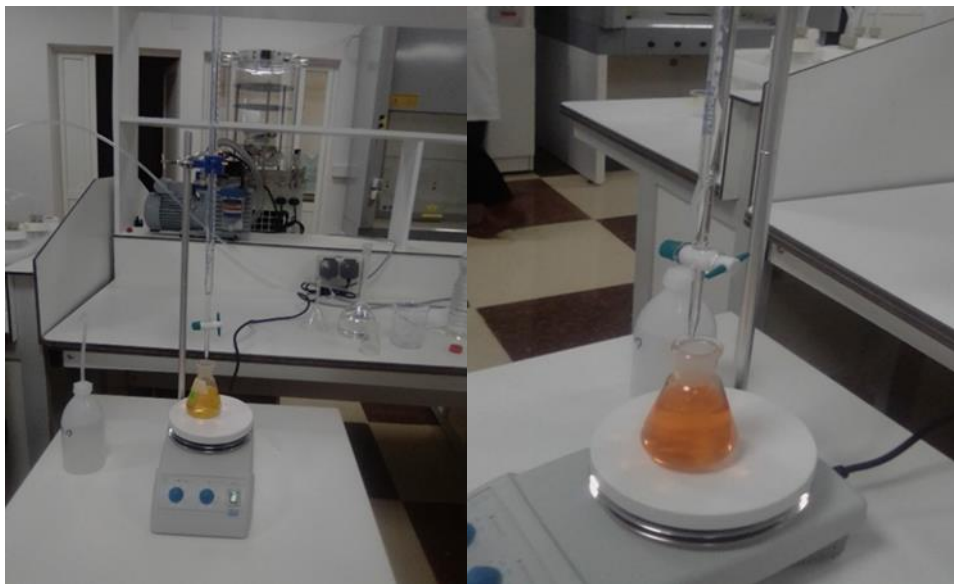


Figure 10. Dosage d'alcalinité complet.

II.1.2.3.5. Chlorures

Des concentrations élevées en chlorure, augmentent les taux de corrosion conduites de distribution, ce qui entraîne une augmentation des teneurs de métaux dans l'eau de consommation.

La teneur en Cl^- , a été dosée par la méthode de Mohr. Soit un échantillon de 100 ml d'eau à analyser a été introduit dans le système expérimental. Pour le traitement de l'échantillon, 2 à 3 gouttes, d'acide nitrique pur, ont été ajoutées, suivies d'une pincée de carbonate de chaux et de 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10%, tout en surveillant la neutralité du pH. Ensuite, une solution de nitrate d'argent a été versée à partir d'une burette jusqu'à l'apparition d'une couleur rouge rosâtre (**Fig. 11**), qui doit persister pendant une durée de 1 à 3 minutes. La concentration des ions chlorures est déterminée selon l'expression suivante :

$$[\text{Cl}^-](\text{még/l}) = \frac{V_{\text{AgNO}_3} N_{\text{AgNO}_3} \cdot 1000}{\text{Volume de la prise d'essai}}$$

Avec : $[\text{mg/l}] = ([\text{még/l}] \times \text{la masse molaire}) / \text{le nombre de valence}$.

V le nombre de millilitres de nitrate d'argent 0,1N utilisés et pour une prise d'essai de 100 ml



Figure 11. Dosage des ions chlorures par la méthode de Mohr

II.1.2.3.6. Sulfates

Il s'agit des teneurs naturelles, résultant probablement des processus de dissolution-précipitation, de l'interaction prolongée eau-roche (Carrillo-Rivera et al., 2002), de la lithologie

du terrain aquifère (Kim et Jeong, 2005), de la profondeur et de la température des eaux, du pH de l'eau, de la nature des terrains traversés. Des teneurs élevées en sulfates provoquent des maladies diarrhéiques chez l'homme et la corrosion des canalisations, notamment en cuivre (Bashir et al., 2012 ; Fifati, 2012).

La concentration en sulfates a été mesurée en utilisant un spectromètre UV-Visible (HACH DR 6000), à une longueur d'onde de 420 nm. Les résultats sont affichés directement en mg/l.

II.1.2.3.7. Nitrates

Les engrais azotés, sont la cause de la teneur excessive en NO_3^- des eaux de surfaces et souterraines (nappes phréatiques). La teneur maximale admissible recommandées par l'OMS est 50 mg/l. Les nitrates ont été dosées par un spectromètre UV-Visible (HACH DR 6000) à une longueur d'onde 415 nm, en présence du salicylate de sodium ; de salicylate de sodium. La présence des nitrates, donnent des Parantiroi-salicylate de sodium, de couleur jaune (Rodier et al., 2009).

II.1.2.4. Détermination du résidu sec

La teneur en résidu sec, présente la quantité des minéraux qui reste, par pesée (**Fig. 12**), après l'évaporation de l'eau à 105 °C (**Fig. 13**). Il présente un indice représentatif de la minéralisation totale (Guerraiche, 2017 ; Sail, 2006).

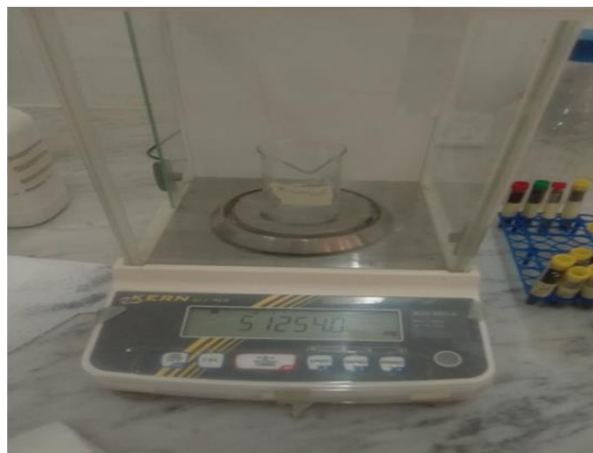


Figure 12. Balance électronique (KERN-ACJ/ACS).



Figure 13. Étuve de pression réglée à 105°.

La masse des résidus secs (RS), en mg/l, est estimée selon la formule suivante

$$R.S = \frac{(M1 - M0) * 1000}{V}$$

V : la prise d'essai d'eau à analyser (volume) en ml.

M0 : La masse en mg du bécher vide.

M1 : La masse en mg du bécher après étuvage la prise d'essai d'eau à 105 °C.

Le **Tableau 3** présente les normes recommandées pour l'analyse de l'eau.

Tableau 3. Les normes et les paramètres mesurés.

Paramètres	Normes
pH	NF T 90-017
CE	NF T 90-111
TH	ISO 6059
Ca ²⁺	NF T90-016
TAC	NF EN ISO 9963-1
Cl ⁻	NF T 90-111
SO ₄ ²⁻	ISO 5667
NO ₃ ⁻	T 90-012
Na ⁺	NF T 90-019
K ⁺	NF T 90-019
RS	NA 6945

II.1.2.5. Interprétation

II.1.2.5.1. Balance ionique ou Erreur à la neutralité (ε)

La balance ionique, ou l'erreur à la neutralité, nous permis de vérifier la fiabilité des analyses. Exprimée en pourcentage d'erreur, et se calcule comme le rapport entre les anions et des cations selon la formule suivante :

$$\text{Balance ionique (\%)} = \frac{[\sum(\text{cations}) - \sum(\text{anions})]}{[\sum(\text{cations}) + \sum(\text{anions})]} * 100$$

Les cations et les anions sont exprimées, en mEq/l ou en °F. La formule suivante a été appliquée pour convertir les mg par litre en mEq par litre

$$\text{mEq/l} = (\text{mg par litre} \times \text{valence}) / (\text{masse molaire})$$

L'analyse est considérée acceptable si l'erreur est $\leq 5\%$, dans le cas contraire, elle est rejetée ou remise en question (Walter, 2010).

II.1.2.5.2. Représentation Hydrochimique d'une eau

Le diagramme de piper permet d'établir le faciès hydrochimique des eaux de la région d'étude. Le logiciel « DIAGRAMMES », permet de tracer des diagrammes de Piper. Les diagrammes de Stabeller et de Richards sont utilisés pour évaluer la qualité d'eau.

II.1.3. Dosage des ions fluorures dans l'eau et les légumes

II.1.3.1. Dosage de fluorure dans l'eau

Les ions fluorures, est naturellement présent dans les eaux à des teneurs variables (Mullane et al., 2016) et peuvent être la source de contamination la plus courante. L'eau est généralement la principale source d'apport quotidien en fluorure (Fawell et al., 2006). Quant aux teneurs des ions fluorures, dans les eaux souterraines, ils varient considérablement en fonction du contexte hydrogéologique de la région (Ottawa, 2001).

Le fluorure total contenu dans l'eau et les principaux légumes (Piment, Aubergine, Tomate, Oignon, Pomme de terre, Courgette), consommés en zone d'étude, a été dosé selon la méthode de SPADNS en utilisant un spectromètre UV-Visible (HACH DR 6000), à une longueur d'onde de 580 nm. La méthode SPADNS consiste à mélanger 10 ml d'échantillon

avec 2 ml du réactif SPADNS pour les ions fluorures dans une cuvette de 10 ml. La cuvette est ensuite insérée dans un spectrophotomètre Hach DR 6000 (**Fig. 14**). Les résultats sont en mg/l d'ions fluorures.



Figure 14. Spectrophotomètre Hach DR 6000

Pour les légumes, l'incinération est nécessaire pour oxyder la matière organique et libérer du fluorure. Comme Taves (1983) et Singer et Ophaug (1986) ont constaté des teneurs de fluorures plus élevées après la calcination des céréales et de poivre noir. Pour extraire le fluorure des légumes, ces derniers sont calcinés dans un four (**Fig. 15**) porté à 500 °C pendant deux heures. Il a été rapporté que les méthodes de calcination peuvent entraîner une perte de fluorure à des températures supérieures à 550 °C (Venkateswarlu, 1975 ; Bock, 1979 ; Campbell, 1987). Après calcinations, une minéralisation par de mise en contact d'une masse de 5 g de charbon, avec de l'acide chlorhydrique concentré. Après 24 heures, le minéralisât est

ajusté à 100 ml avec de l'eau distillée, suivi d'une filtration et analyse des ions fluorures. Concernant les tomates, après extraction du jus, le fluorure est analysé.



Figure 15. Calcination des légumes dans un four à 500 °C

II.1. 4. Conclusion

Ce chapitre a exposé plusieurs aspects importants. Tout d'abord, le dosage des ions fluorures à partir des échantillons d'eaux souterraines et de minéralisât des légumes a été réalisé en utilisant la méthode SPADNS. Ensuite, la description des méthodes d'analyse des paramètres physicochimiques.

Chapitre 2

Description du système hydroponique

II.2.1 Introduction

Le chapitre décrit les principaux matériels et méthodes utilisés pour quantifier la teneur en fluorure dans les eaux les fruits (piment). Une description du système hydroponique, la préparation de la solution nutritive et les différentes phases de culture hydroponique ont été décrits. Les paramètres tels que la phase de germination, de l'implantation dans le système hydroponique, le contrôle de la culture et la phase de récolte seront décrites.

II.2.2. Le choix du milieu agricole

Le fruit de piment est une tradition rituelle chez les habitants du sud algérien, outre la plante s'adapte aux conditions de la région et de sa forte résistante aux maladies. Pour décrire l'effet de la teneur de fluorure dans l'eau, sur son accumulation dans le fruit de piment, nous avons fertilisé le milieu hydroponique sous serre, d'une culture de piment local (erg) par du fluorure. Le choix de ce type de culture hydroponique nous permet d'exercer un contrôle plus précis sur la nutrition de la plante d'une part et d'autre part, il protège la plante contre les ravageurs et les maladies (Habben, 1974).

II.2.3. Description du système hydroponique

Pour assurer l'alimentation et la distribution de la solution nutritive nous avons utilisé des tuyaux en PVC de 110 mm de diamètre. Des trous sont perforés le long des tuyaux pour mettre en place des gobelets plastiques perforés afin d'assurer l'aération et l'arrivée de la solution nutritive au niveau des racines (**Fig. 16**).



Figure 16. Montage du système hydroponique

II.2.4. Préparation de la solution nutritive

La solution nutritive a été préparée à partir de la solution Cooper (tableau 4).

Tableau 4. Concentrations de nutriments

Élément	Code	Concentration en mg/l
Azote	N	NO_3^- 217,513
		NH_4^+ 16,194
Phosphore	P	62,591
Potassium	K	294,807
Magnésium	Mg	50
Calcium	Ca	154,168
Soufre	S	80,224
Fer	Fe	12
Zinc	Zn	0,4
Bore	B	0,701
Cuivre	Cu	0,1
Molybdène	Mo	0,2
Manganèse	Mn	2

Pour un volume de 10 litres, un pH comprise entre 5,5 à 6,5 et une conductivité électrique allant de 1,9 à 3,3 mS/cm, le tableau 5, montre les compositions des solutions A, B, C.

Tableau 5. Compositions des solutions A, B, C

Solution	Engrais	Composition d'engrais	Masse (gr)	Volume (litre)
A	Copper sulfate (pentahydrate)	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,039	10
	Molybdate d'ammonium	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,037	
	Sulfate de magnésium (heptahydrate)	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	36,754	
	Sulfate de manganèse	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}$	0,615	
	Magnesol (sulfate de magnésium)	$16\text{MgO} + 31\text{SO}_3$	52,159	
	Potassium Nitrate	13.7-0-46.2	23,168	
B	EDTA	EDTA 6%	20	10
C	CARNIVAL	N 13,92% Mg 1,42% Ca 15,4% Zn 0,04% B 0,07%	100,109	10

II.2.5. Phase de germination de piment

Les graines de piment ont été germées dans une plaque alvéolée (**Fig. 17**) dont le substrat était un compost. Les semis ont été irrigués jour après jour avec de l'eau distillée de conductivité $<5 \mu\text{S}/\text{cm}$. La température de l'air était de 17 à 23 °C, la nuit, et de 24 à 31 °C le jour, et l'humidité relative allant de 65 à 85%.

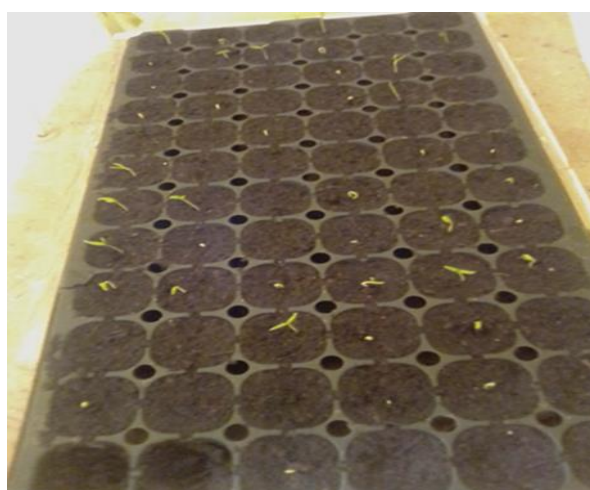


Figure 17. Expérimentation de germination des graines de piments

II.2.6. Phase d'implantation dans le système hydroponique

Une cinquantaine (50) de semis de piment de même taille, de même longueur de tige et de même nombre de feuilles, ont été transférés au système de culture hydroponique (**Fig. 18**). Avant d'être placées dans le système hydroponique, les racines ont été doucement rincées avec de l'eau distillée.



Figure 18. Phase de semis des piments

10 plants ont été plantés dans des canaux numérotés de 1 à 5, selon les concentrations du fluorure préparé à partir d'une solution mère de NaF (**Tableau 6**).

Tableau 6. Les concentrations de fluorure

Numéro du canal	[F ⁻](mg/l)
1	0
2	0,5
3	1,5
4	2
5	4

II.2.7. Contrôle de la culture hydroponique

Aux conditions naturelles de lumière, l'acidité et la conductivité électrique de la solution nutritive, sont quotidiennement mesurées avec précision et ajustées si nécessaire (**Fig. 19**). Le nettoyage du système hydroponique et le renouvellement de la solution nutritive sont effectués tous les 10 jours (**Fig. 20**). L'état sanitaire des plantes, y compris les racines, doit être examiné et suivi quotidiennement (**Fig. 21**).



Figure 19. Suivi du pH et de la conductivité



Figure 20. Transfert des plantes avant le nettoyage du système hydroponique.



Figure 21. Vérification des racines

Chapitre 3

Résultats et Discussion

II.3.1. Introduction

Le chapitre décrit l'analyse des éléments dominants, du faciès chimique et de l'analyse de l'aptitude des eaux à l'irrigation. La distribution des ions fluorures dans l'eau et les principaux légumes (Piment. Aubergine. Tomate. Pomme de terre. Oignons) consommés dans la zone d'étude, en plus d'une discussion approfondie sur l'estimation de la quantité quotidienne moyenne de fluorure ingéré.

II.3.2. Qualité des eaux souterraines

II.3.2.1. Erreur à la neutralité

Toutes les valeurs de la balance ionique d'analyse chimique des d'eau souterraine échantillonnées sont < 5%.

II.3.2.2. Qualité des eaux souterraines

Toutes propriété physique, chimique ou biologique, influençant l'adéquation de l'eau aux systèmes écologiques naturels ou à son utilisation par l'homme, est une variable de qualité et fait référence à l'aptitude de l'eau à un usage particulier (Boyd ,2015). Les paramètres physico-chimiques analysées dans les eaux échantillonnées, sont présentés dans le **tableau 7**.

Les températures de l'eau, mesurées au mois de janvier, pour les différents forages du complexe terminal de Ouargla, allant de 18 et 23,4 °C (**Fig. 22**). Quant à la région de Biskra, Les températures mesurées durant la période d'Octobre et Novembre, pour les différents forages du complexe terminal, étaient entre 23,5 et 31°C (**Fig. 23**). La conductivité électrique (CE) était très élevée (2130 et 7050 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (**Fig. 22** et **23**) indiquant une forte minéralisation des eaux étudiées.

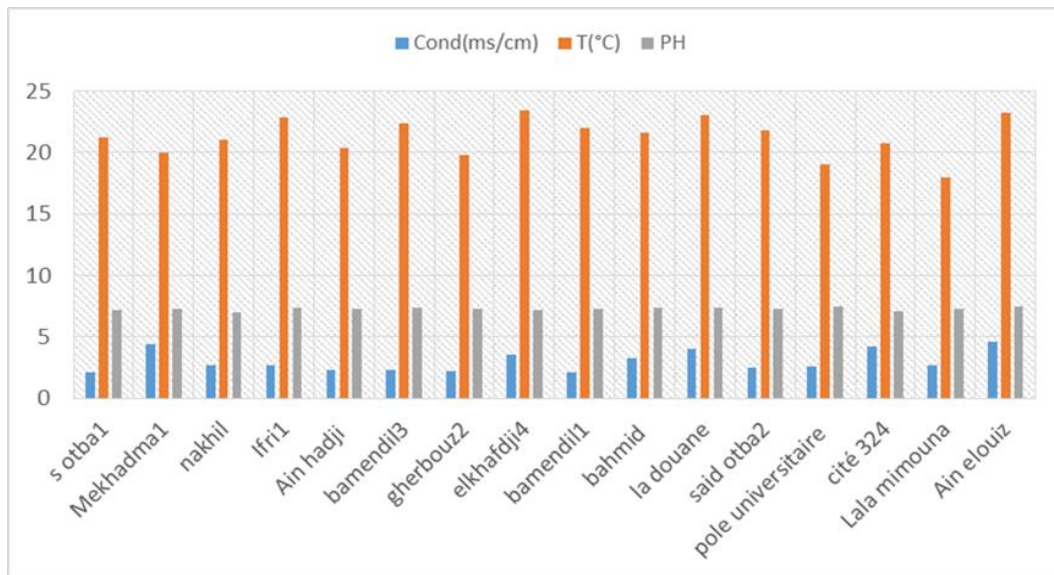


Figure 22. Paramètres physiques des eaux de Ouargla

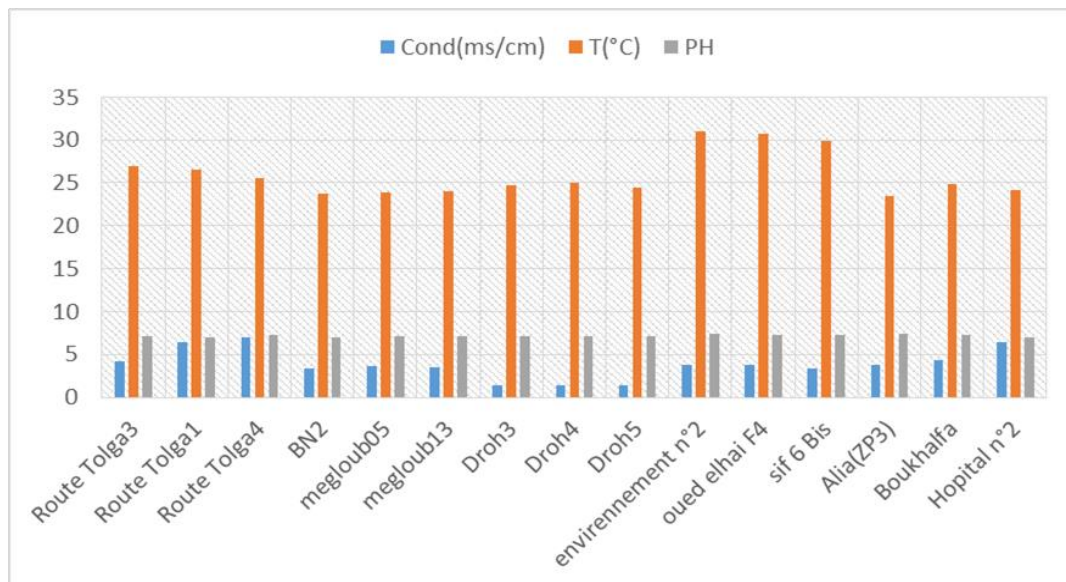


Figure 23. Paramètres physiques des eaux de Biskra

Tableau 7 Paramètres physico-chimiques des eaux souterraines échantillonnées à Ouargla et Biskra

Région	Forages	Nappes	T (°C)	pH	Cond (µS/cm)	Concentrations (mg/l)								TH (°F)	Résidu Sec (mg/l)
						Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
Ouargla	Said otba1	Sénonien	21,20	7,21	2130	997,42	190,08	13,32	1108,27	181,00	69,96	30,12	670,83	74,40	1694
	Mekhadma1		20,00	7,29	4370	2051,30	142,50	29,63	956,94	285,40	129,24	84,21	1145,52	125,20	3496
	Nakhil		21,00	6,94	2680	1227,96	110,00	24,13	926,61	214,00	92,40	41,25	710,39	92,00	2266
	Ifri1		22,80	7,34	2680	1091,52	110,00	24,86	945,24	213,80	82,92	39,66	552,16	88,00	1780,8
	Ain hadji		20,40	7,30	2320	1025,65	215,50	19,54	1124,66	169,00	83,88	34,36	749,95	77,20	3510
	Bamendil 3		22,40	7,35	2310	940,96	99,80	17,03	1084,31	198,00	75,12	38,60	473,05	80,80	4834
	Gherbouz 2		19,80	7,32	2260	1058,58	155,92	19,29	1142,33	170,00	86,16	33,30	749,95	78,40	782
	Elkhafdji 4		23,40	7,21	3570	1100,93	148,60	28,62	1100,74	251,20	107,52	59,02	591,72	107,60	2934
	Bamendil 1	Miopliocène	22,00	7,30	2150	926,85	177,27	16,90	1133,00	180,00	75,36	31,71	631,28	76,40	1690
	Bahmid		21,60	7,38	3270	1096,22	160,80	27,47	1118,63	240,00	131,52	59,02	552,16	114,80	2768
	Douane	Sénonien	23,00	7,35	3990	1270,30	197,40	29,33	1065,63	270,00	111,60	65,65	710,39	114,00	3052
	Said otba2		21,80	7,32	2480	1185,62	196,79	20,24	1056,13	199,00	87,96	35,42	789,50	86,40	2022
	pôle universitaire		19,00	7,46	2600	752,77	186,42	22,48	1077,97	205,60	52,80	43,91	512,61	73,40	2158
	Cité 324		20,70	7,13	4240	1387,92	209,60	30,10	1022,66	291,20	142,08	74,93	710,39	132,00	3588
	Lala mimouna		18,00	7,25	2710	1176,21	200,45	21,13	1167,99	194,00	94,80	39,66	789,50	88,00	2144
	Ain elouiz		23,20	7,44	4640	1411,45	191,30	31,60	1163,16	297,60	109,44	77,58	789,50	120,00	3852
Biskra	Route Tolga3	Turonien	27,00	7,10	4150	926,50	218,16	13,20	948,46	303,00	84,96	10,69	441,09	111,15	2612
	Route Tolga1		26,50	7,05	6360	1527,10	296,94	12,69	1390,08	320,00	135,48	23,68	884,97	136,45	4038
	Route Tolga4		25,50	7,19	7050	1697,60	336,90	14,12	1439,54	309,00	109,23	26,00	1162,50	122,76	4707
	BN2		23,80	7,05	3330	678,99	294,40	12,19	639,03	273,00	105,13	7,74	240,21	112,05	2519
	Megloub 05		23,90	7,09	3660	710,30	299,94	10,51	698,98	242,00	101,22	8,92	309,24	102,68	2533
	Megloub 13		24,00	7,18	3540	749,30	327,00	12,32	423,95	218,00	96,14	8,92	312,14	94,56	2079
	Droh3	Meastrichtien	24,70	7,18	1393	235,80	339,86	4,15	338,11	138,00	80,55	2,55	70,63	68,06	837
	Droh4		25,00	7,19	1354	291,55	332,96	3,32	259,96	150,00	73,26	2,55	89,17	68,03	593
	Droh5		24,50	7,18	1434	246,90	346,40	4,92	297,89	140,00	75,41	2,06	79,13	66,42	881
	Environnement n°2(oued elhai)	Plioquatenaire	31,00	7,38	3770	940,32	303,96	9,00	919,98	161,00	71,11	6,47	703,03	69,88	1240
	F4(oued elhai)		30,70	7,27	3710	943,70	303,96	7,70	855,31	161,00	70,45	6,47	647,00	69,60	1373
	SIF 6 Bis (oued elhai)		29,90	7,33	3350	752,60	219,60	11,41	845,82	224,00	41,31	5,98	460,65	73,21	1967
Alia (ZP3)	Miopliocène	23,50	7,41	3780	886,80	314,02	11,55	867,53	188,00	109,62	6,47	514,07	92,67	2284	

Boukhalfa	Plioquaternaire	24,80	7,28	4390	986,70	333,03	18,99	1035,10	210,00	110,64	10,86	600,67	98,60	2702
Hôpital n°2 (jaune aveugle)		24,10	6,97	6450	1522,80	325,52	18,77	1422,30	319,00	139,84	18,63	861,92	138,01	4044

Les eaux souterraines étudiées sont de nature dures et légèrement alcalines. Le pH variait entre 6,94 et 7,44 et la dureté totale (TH) de 73,4 à 132 °F, pour la région de Ouargla (Fig. 24), avec une moyenne de 102,7 °F. Pour les eaux de Biskra, la dureté totale (TH) de 66,42 à 138,01 °F, avec une moyenne de 102,22 °F (Fig. 25), dépassant ainsi, pour les deux régions, la valeur maximale recommandée (54 °F) (Tableau 8).

Tableau 8. Classification des eaux en fonction de leur dureté (Saley et al., 2019)

TH (°F)	0 à 7	7 à 15	15 à 25	25 à 42	> 42
Eau	Très douce	Douce	Moyennement dure	Dure	Très dure

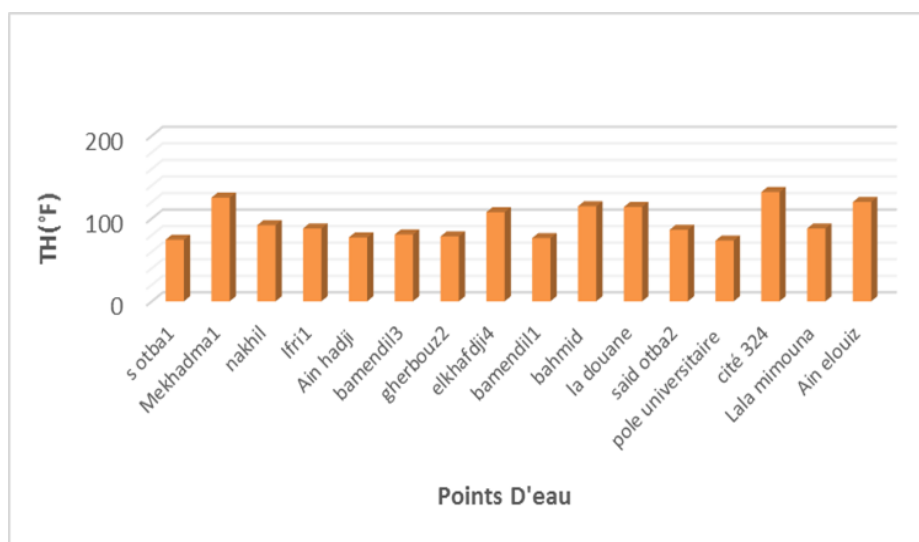


Figure 24. Evolution de la dureté des eaux d’Ouargla

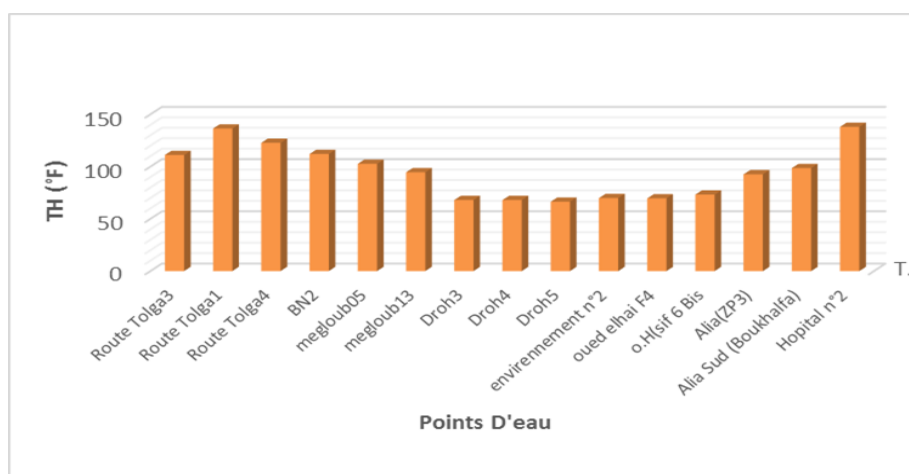


Figure 25. Evolution de la dureté des eaux Biskra

Les teneurs en calcium et en magnésium des eaux dépassent, dans de nombreux forage, les limites recommandées, soit 200 et 85 mg/l, respectivement. La teneur en Ca^{2+} , allant de 169 à 298 mg/l, pour la région d'Ouargla et entre 140 à 320 mg/l pour la région de Biskra et le Mg^{2+} de 53 à 142 mg/l, pour la région de Ouargla, et entre 41 à 140 mg/l, pour Biskra.

Les teneurs en sodium, pour les eaux de Ouargla (**Fig. 26**), varient considérablement de 473 à 1146 mg/l, avec une moyenne de 810 mg/l ; pour les eaux de Biskra, les teneurs variant de 71 à 1163 mg/l (**Fig. 27**), avec une moyenne de 617 mg/l ; dépassant ainsi la limite recommandée de 250 mg/l (OMS, 2017).

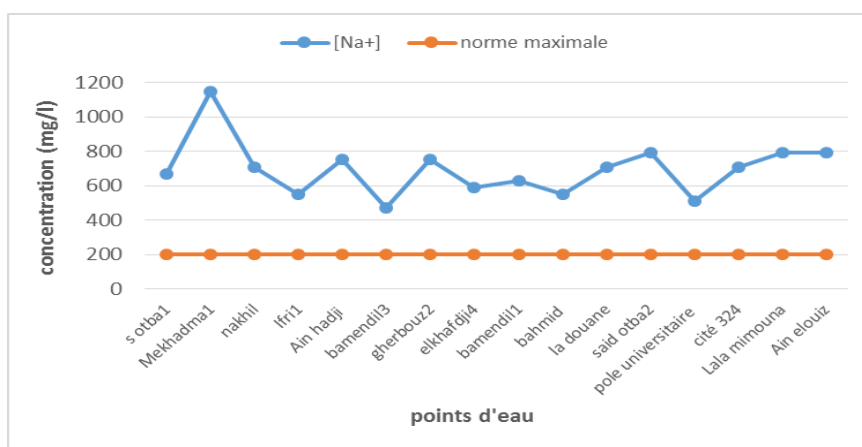


Figure 26. Teneur en sodium dans les eaux de Ouargla

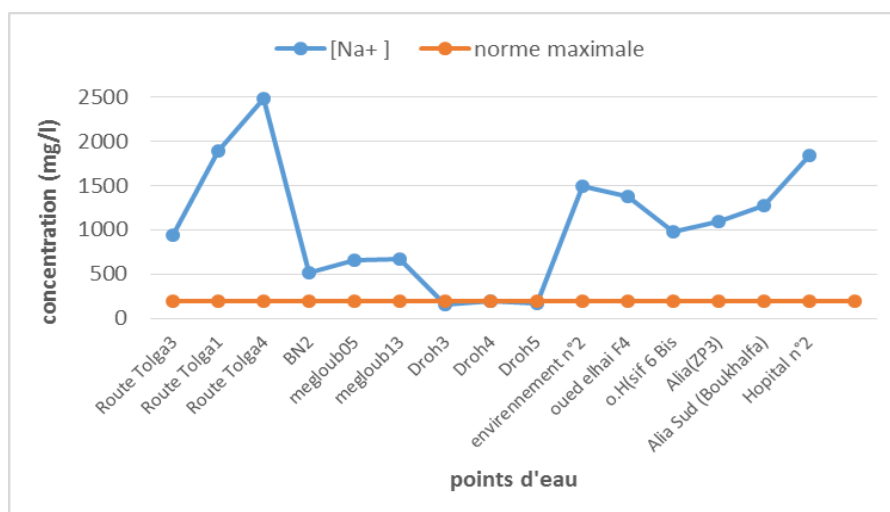


Figure 27. Teneur en sodium dans les eaux de Biskra

Les teneurs en potassium allant de 2 à 26 mg/l et de 30 à 84 mg/l, respectivement pour les eaux de Ouargla (**Fig. 28**) et de Biskra (**Fig. 29**). De ses résultats on déduit que les teneurs en potassium ne dépassent pas, pour la plupart des eaux étudiées, les limites recommandées par l'OMS (50 mg/l).

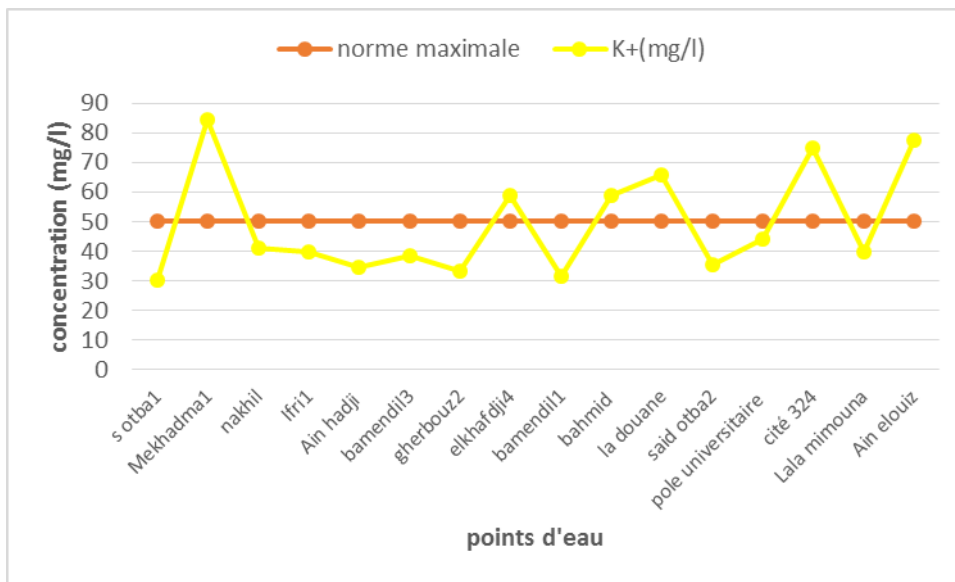


Figure 28. Concentrations du potassium dans les eaux de Ouargla

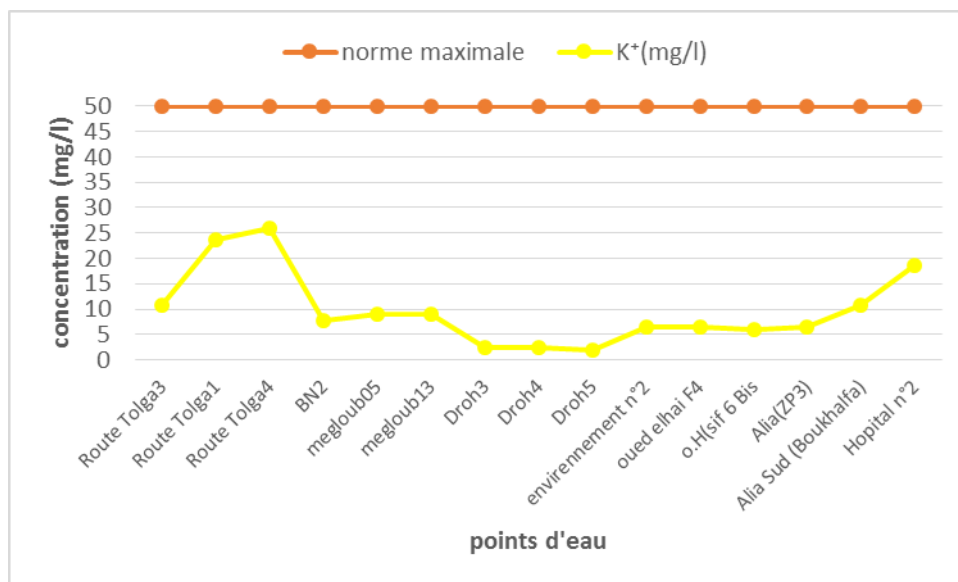


Figure 29. Concentrations du potassium dans les eaux de Biskra

Les teneurs en chlorure, des eaux souterraines des régions d'étude, varient considérablement de 753 à 2051 mg/l, pour les eaux de Ouargla (**Fig. 30**), avec une moyenne de 1402 mg/l, et entre 236 à 1698 mg/l, pour les eaux de Biskra (**Fig. 31**), avec une moyenne de 967 mg/l ; dépassant ainsi, la limite recommandée de 500 mg/l.

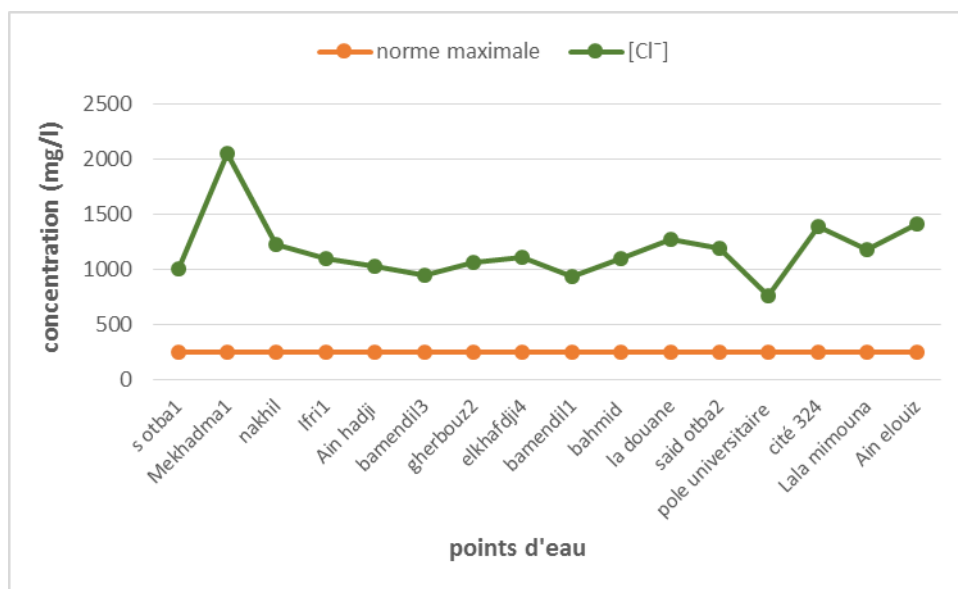


Figure 30. Concentrations des ions chlorures des eaux de Ouargla.

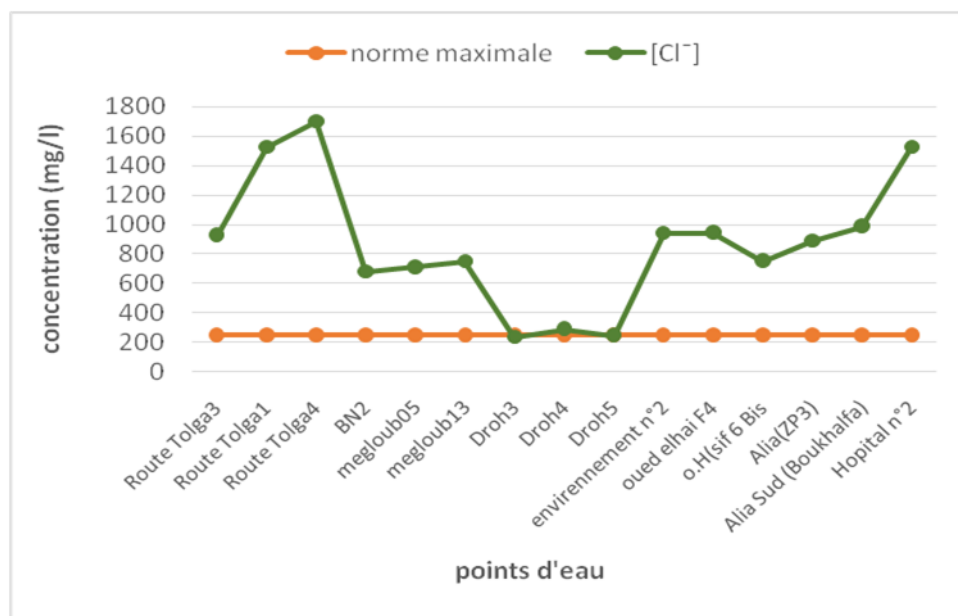


Figure 31. Concentrations des ions chlorures des eaux de Biskra.

Les teneurs de sulfates oscillent entre 927 et 1168 mg/l dans les eaux de Ouargla (Fig. 32), et entre 260 à 1442 mg/l pour les eaux de Biskra (Fig. 33), dépassent les limites recommandées (400 mg/l).

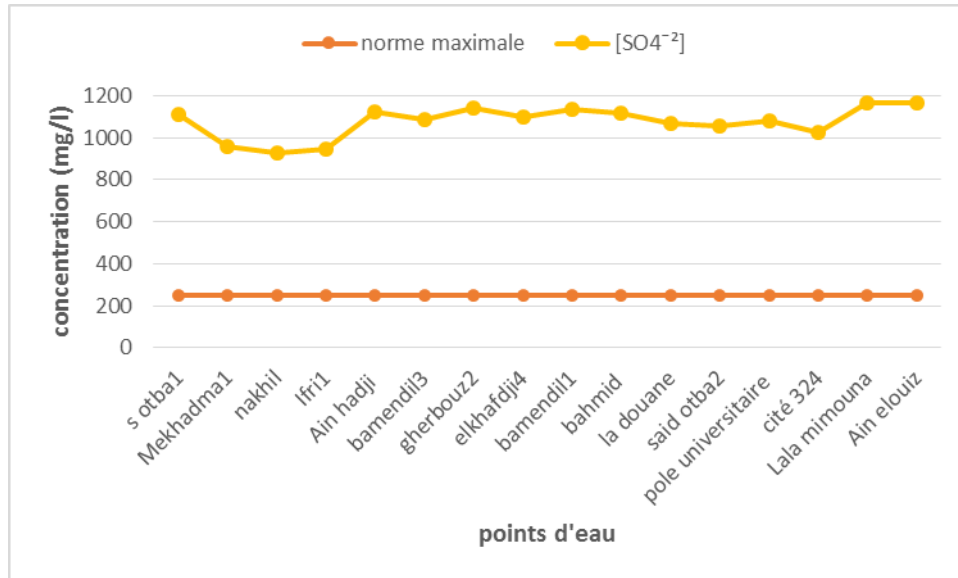


Figure 32. Concentrations du sulfate dans les eaux de Ouargla

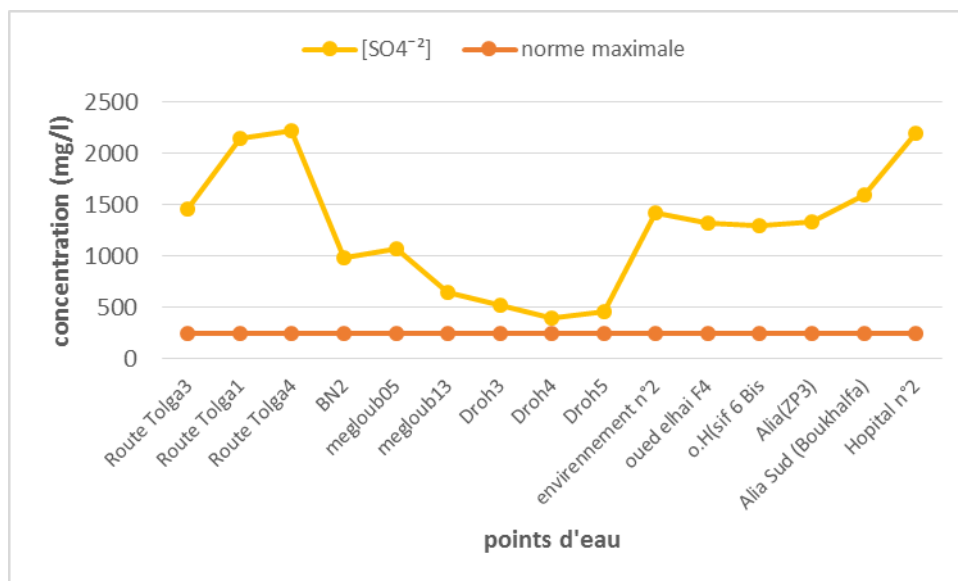


Figure 33. Concentrations du sulfate dans les eaux de Biskra

Les nitrates et comme le montre les **figures 34 et 35**, les teneurs en nitrates des eaux étudiées, dépassent largement la limite recommandée par l'OMS (50 mg/l). A l'exception des eaux de la nappe phréatique, en l'absence d'une agriculture intensive auxquelles s'ajoute la profondeur des eaux souterraines ; il semble que ces résultats peuvent être attribuées à l'interférence d'autres éléments tel que le fer et le chlorure, pendant la mesure par spectrophotomètre.

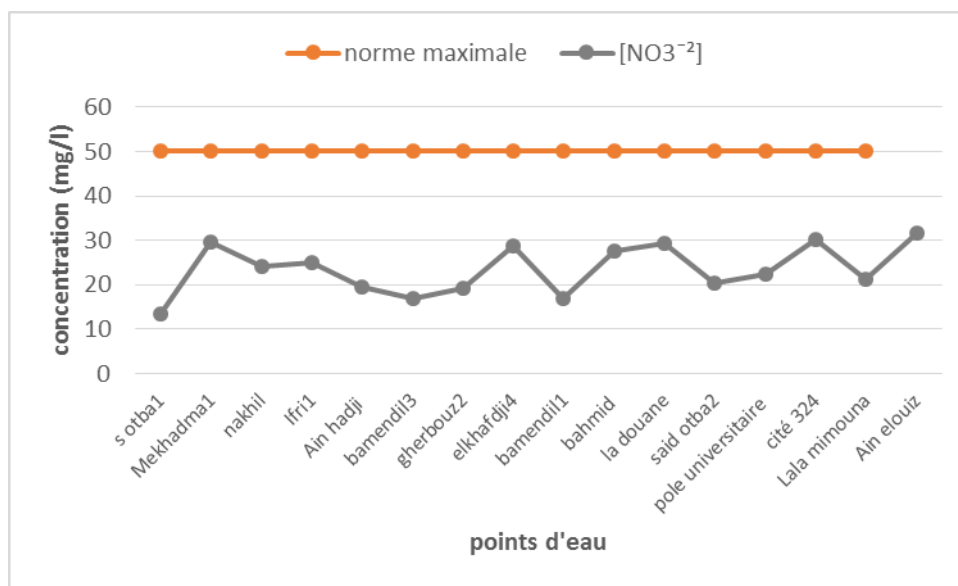


Figure 34. Concentrations en nitrate des eaux de Ouargla

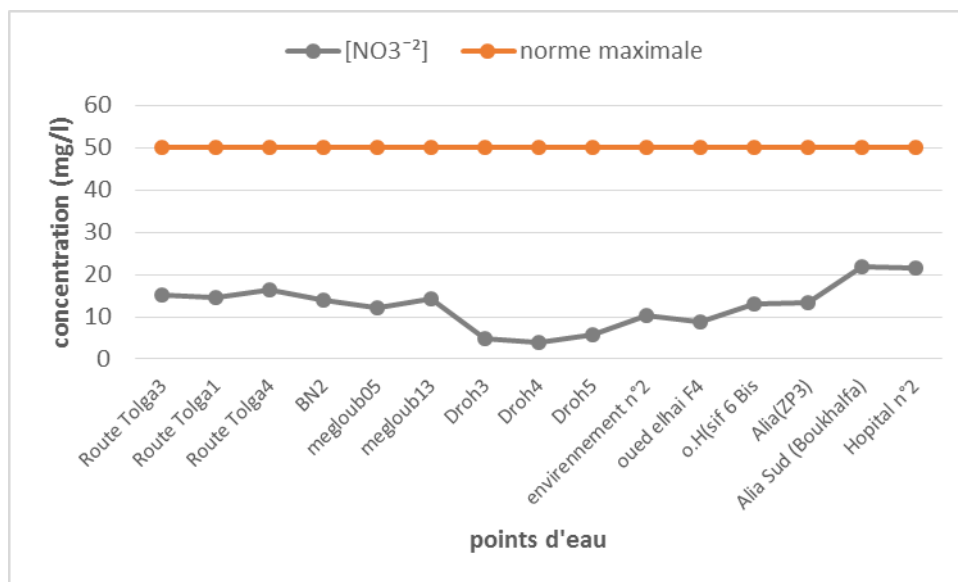


Figure 35. Concentrations en nitrate des eaux de Biskra

Les teneurs en bicarbonates (HCO_3^-), des eaux souterraines d'Ouargla (Fig. 36) et de Biskra (Fig. 37). La teneur maximale en bicarbonate enregistrée dans la région de Ouargla est de 215,5 mg/l, alors que la plupart des teneur enregistrées à Biskra dépassent les 300 mg/l. Les teneurs en alcalinité totale des eaux naturelles sont généralement comprises entre 10 et 300 mg/l (Boyed, 2015).

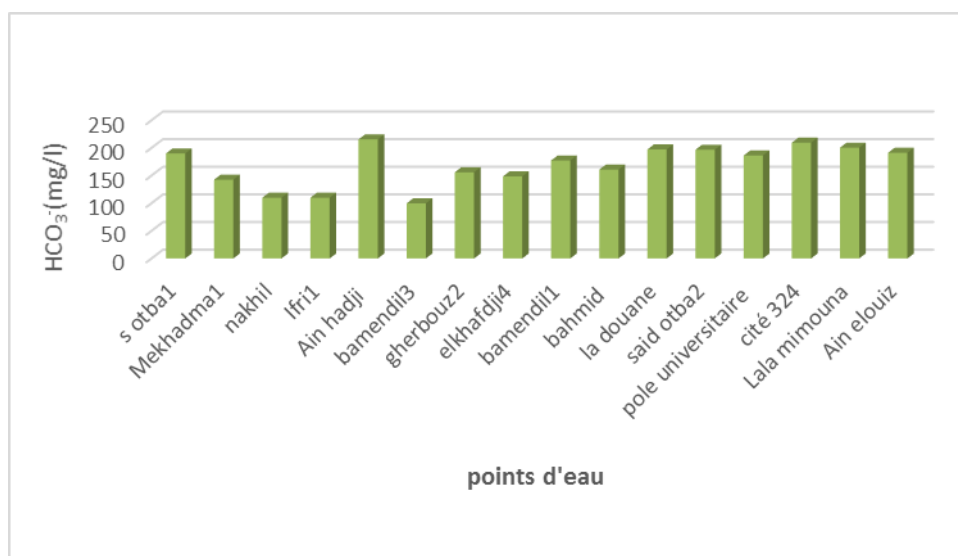


Figure 36. Concentrations des bicarbonates dans les eaux de Ouargla

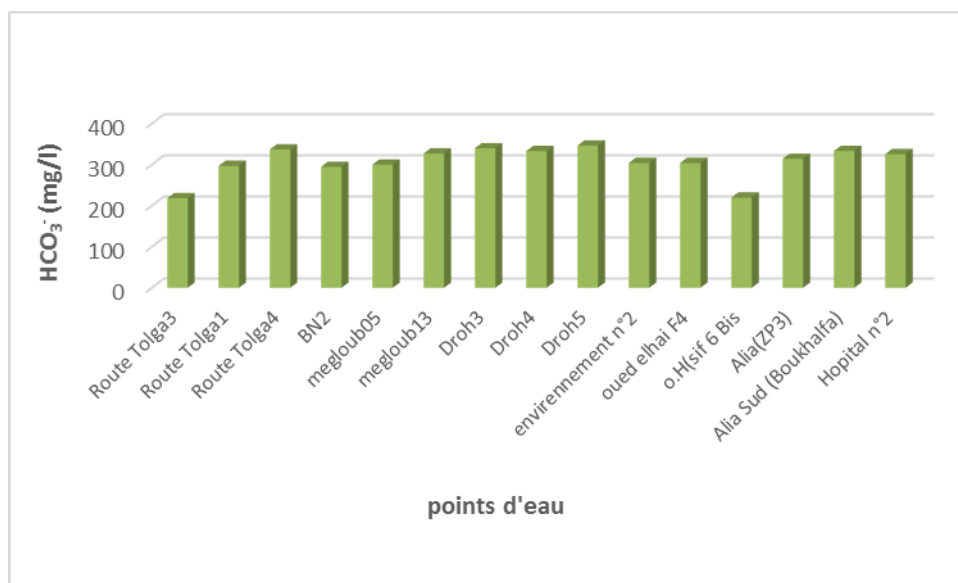


Figure 37. Concentrations des bicarbonates dans les eaux de Biskra

Résidu sec (Tableau 7) : Une eau est considérée d'excellente qualité, si son résidu sec est <300 mg/l et inacceptable pour une teneur <1500 mg/l (Guerraiche, 2017). Pour la région d'Ouargla, les teneurs en résidu sec oscillent entre 782 et 4834 mg/l, pendant que la région Biskra les résidus secs, varient entre 593 et 4707 mg/l, traduisant la forte minéralisation des eaux étudiées.

Les diagrammes présentés dans les figures 38 et 39, montrent respectivement les anions et les cations les plus dominants dans les eaux. La **figure 38**, montre que le sodium (Na^+) est l'élément le plus dominant (52%) ; cependant, les concentrations de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}) et de potassium (K^+) représentent moins de 45% de la somme des principaux cations. En ce qui concerne les anions, la somme des chlorures (Cl^-) et des sulfates (SO_4^{2-}) représente à eux seul 92% de la somme des anions.

Les cations

Les anions

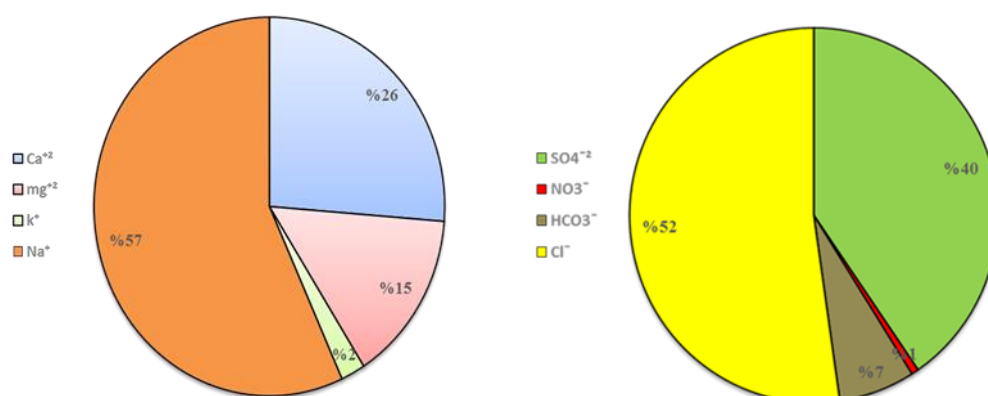


Figure 38. Diagramme présentant les principaux ions des eaux étudiées

Le diagramme de Stabeller (**Fig. 39**), montre que les eaux souterraines du complexe terminal, de la région étudiée, sont caractérisées par une prédominance des ions chlorures par rapport aux ions sulfate et bicarbonate ($\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$). Le sodium (Na^+) est le cation dominant, suivi du calcium (Ca^{2+}). Cependant, pour les forages BN 2, Droh 3, Droh 4 et Droh 5, l'abondance relative est : $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$. On note que les eaux de la région de Biskra contiennent de fortes teneurs en bicarbonate (HCO_3^-) par rapport aux eaux de Ouargla.



Figure 39. Classification ionique des eaux souterraines à l'aide du diagramme de Stabler

II.3.2.4. Facies chimiques

Selon le diagramme de Piper (**Fig. 40**), les résultats de la projection des concentrations des principaux ions des eaux, montrent que les eaux du Sénonien et du Mio-Pliocène, de Ouargla, appartiennent au faciès chloruré sodique et potassique ; Alors que les eaux de Plio-Quaternaire et de Mio-Pliocène, de la région Biskra, possèdent un faciès chloruré sodique et potassique, tandis que les eaux du Maestrichtien et du Turonien présentent un faciès chloruré et sulfaté-calcique et magnésien.

(a) Ouargla

(b) Biskra

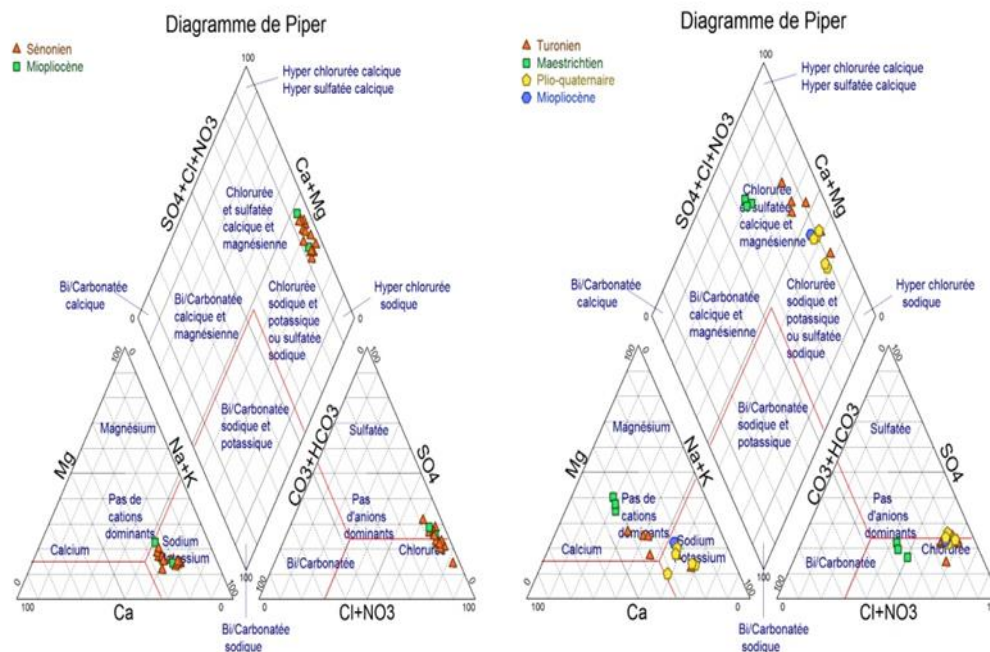


Figure 40. Diagramme de Piper des eaux souterraine étudiées

II.3.2.5. Aptitude des eaux souterraines à l'irrigation

La teneur en sodium, est un critère important dans la classification des eaux d'irrigation. En effet, le sodium réagit avec le sol pour créer des risques sodiques en remplaçant d'autres cations. L'ampleur de ce remplacement est estimée par le ratio d'adsorption du sodium (SAR) (Goswamee et al., 2015). Le ratio d'adsorption de sodium des eaux, donne l'indication de son aptitude à l'irrigation (Adimalla et al., 2018 ; Goswamee et al., 2015 ; Nayak et al., 2022 ; Vasanthavigar et al., 2010). Le SAR est déterminé par l'expression suivante :

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}}$$

SAR = Sodium Absorption Ratio (millimole/litre) 1/2

Ca²⁺ = concentration d'ions calcium, me/l

Mg²⁺ = concentration d'ions magnésium, me/l

Selon le diagramme de Richards (**Fig. 41a**), les eaux du complexe terminal de Ouargla, sont principalement situés dans les classes C4S3 (Salinité élevée avec sodium élevé), et C5S3 (salinité très élevée avec sodium élevé) à l'exception de 2 échantillons qui sont situés dans la classe C4S4 (salinité élevée avec sodium très élevé) et un échantillon est situé dans la classe C5S4 (salinité très élevée avec sodium très élevé). À l'exception de 2 échantillons du Turonien et un échantillon du Plioquaternaire, qui appartiennent à la classe C5-S4 (très forte salinité avec très forte teneur en sodium), les eaux souterraines du complexe terminal de Biskra, présentent une SAR moyennes à fortes salinité, appartiennent à trois classes (**41b**) :

1. Salinité élevée avec forte teneur en sodium (C4-S3) concernant les nappes du Plioquaternaire et du Miopliocène,
2. Salinité élevée et teneur moyenne en sodium (C4-S2), concernant la nappe du Turonien,
3. Salinité élevée et faible teneur en sodium (C3-S1) pour la nappe du Maestrichtien.

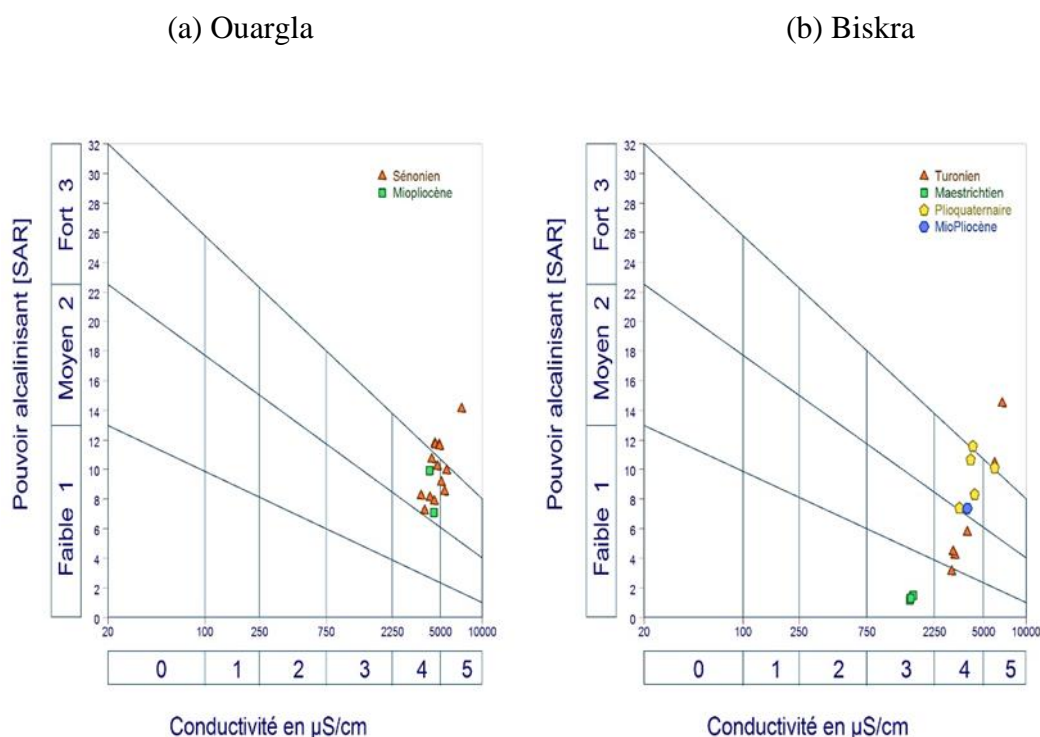


Figure 41. Diagramme de Richards du complexe terminal de la région étudiée

La représentation des échantillons prélevés du complexe terminal, sur le diagramme de Richards, montre que les eaux de la région d'étude sont déconseillées à l'irrigation, en raison

de leur très forte salinité et du risque de sodium. La salinité de cette eau peut être attribuée à plusieurs facteurs en particulier ;

a) Origine géologique : les formations géologiques du complexe terminal telles que les évaporites,

b) conditions climatiques : climat sec et aride, précipitations faibles et irrégulières, forte évaporation, entraîne une augmentation de la teneur en sel dans les eaux.

II.3.3. Teneurs en fluorures des eaux et légumes

Il existe de nombreuses sources d'exposition au fluorure, les principales étant l'eau et les aliments. La présente étude, dont la finalité est de déterminer les niveaux de fluorure et de sa distribution dans les eaux et les légumes les plus consommés dans la région d'étude.

II.3.3.1. Teneurs en fluorure des eaux

Les résultats d'analyse des teneurs en fluorure des eaux, des 31 forages échantillonnées, montrent une variation spatiale, allant de 0,59 mg/l, pour les forages exploitants la nappe du Plioquaternaire, à 1,36 mg/l, pour les forages exploitants les eaux de Sénonien (**Tableau 9**). Ce sont les eaux de la région de Biskra, exploitants les nappes de Meastrichtien, de Plioquaternaire et de Miopliocène, qui présentent les plus faibles teneurs (< 1 mg/l). Le niveau le plus élevé (1,39 mg/l) a été observé à Ain Elouiz (Ouargla) et le plus bas (0,59 mg/l) a été enregistré à Boukhalfa (Biskra). La totalité des eaux (100%), avaient des teneurs en fluorure < 1,5 mg/l. Par ailleurs, l'analyse met en évidence que 32% des eaux exploitées, avaient des teneurs < 1 mg/l, alors que 68% contenaient entre 1 et 1,4 mg/l de fluorure, dépassent ainsi la norme de l'OMS, pour les climats chauds (0,6 - 0,8 mg/l) (WHO, 2008). Il s'agit des teneurs naturelles, résultant probablement des processus de dissolution-précipitation des minéraux fluorés, présents dans les aquifères (Farooqi et al., 2007), de l'interaction prolongée, eau-roche et (Carrillo-Rivera et al., 2002), de la lithologie du terrain aquifère (Kim et Jeong, 2005), de la profondeur (Bhagavan et Raghu, 2005) et de la température des eaux, de la concentration en

ions calcium et en bicarbonate dans l'eau (Chandra et al., 1981), de la nature des terrains traversés (Tekle-Haimanot et al., 2006) et de la présence d'une formation géologique contenant du fluorure (Meenakshi et al., 2004; Li et al., 2016).

Les figures 42 et 43 présentent la distribution des ions fluorures dans les eaux du complexe terminal de la région d'Ouargla et de Biskra.

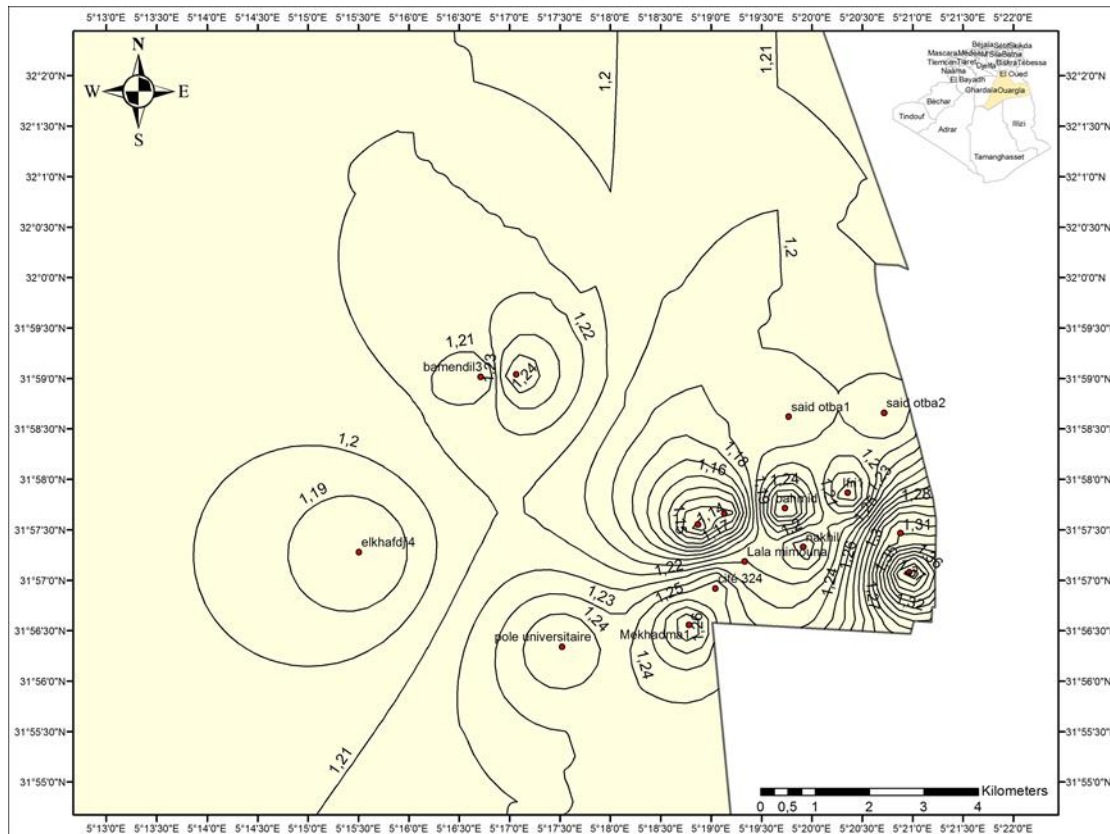


Figure 42. Distribution des ions fluorures dans les eaux du complexe terminal de Ouargla

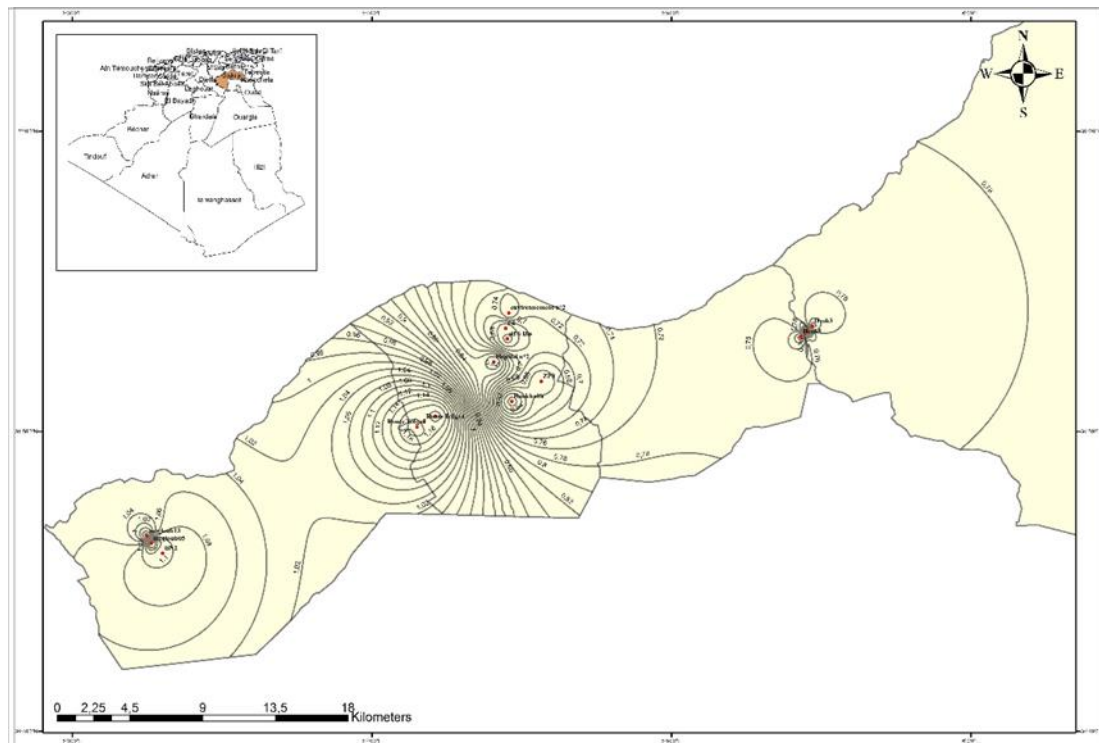


Figure 43. Distribution des ions fluorures dans les eaux du complexe terminal de Biskra

Tableau 9. Concentrations des ions fluorures dans les différentes eaux souterraines de la région d'étude

Région	Forages	Nappes	[F ⁻] (mg/l)	Région	Forages	Nappes	[F ⁻] (mg/l)
Ouargla	Said otba1	Sénonien	1,19	Biskra	Route Tolga 3	Turonien	1,20
	Mekhadma1		1,28		Route Tolga1		1,19
	Nakhil		1,18		Route Tolga 4		1,17
	Ifri1		1,17		BN2		1,10
	Ain hadji		1,12		Megloub 05		1,20
	Bamendil 3		1,2		Megloub 13	0,94	
	Gherbouz 2		1,11		Droh3	0,70	
	Elkhafdji 4	1,18	Droh4		0,90		
	Bamendil 1	Miopliocène	1,25		Droh5	0,68	
	Bahmid		1,27		Environnement n°2 (oued elhai)	0,76	
	Douane		1,31		F4 (oued elhai)	0,66	
	Said otba2		1,19		Sif 6 Bis (oued elhai)	0,65	
	Pôle universitaire		1,25		Alia (ZP3)	0,64	
	Cité 324	Sénonien	1,25		Boukhalfa	0,59	
	Lala Maimouna		1,21		Hôpital n°2 (jaune aveugle)	0,84	
Ain Elouiz	1,39						

II.3.3.2. Teneurs en fluorure des légumes

Les teneurs en ions fluorures, dans les différents légumes, allant de 18,4 à 40,6 mg/kg (**Tableau 10**). Ce sont les tomates, qui enregistrent les plus faibles teneurs (18,4 à 19,4 mg/kg), quelque que soit la région considérée. Le niveau le plus élevé (40,4 mg/kg) a été observé au niveau de l'Aubergine (Ouargla) et la pompe de terre (40,6 mg/kg) de Biskra.

Tableau 10. Concentrations des ions fluorures dans les légumes

Légumes	[F ⁻](mg/kg)	
	Ouargla	Biskra
Aubergine	40,4	34,4
Pomme de terre	39,8	40,6
Piment	37,8	39,2
Courgette	38,4	37,2
Tomate	19,4	18,4
Oignon	39,4	33,6

De la figure 44, on déduit que la concentration de fluorure varie d'un légume à une autre, dans une même région. Cette différence semble être s'expliquer par la capacité d'absorption et d'accumulation des ions fluorures pour chaque plante. Les travaux de [Mezghani et al., \(2005\)](#), montrent que l'accumulation des ions fluorures dans les feuilles varient considérablement selon l'espèces. Par ailleurs, la hauteur de la plante, la surface d'interception, la rugosité, l'âge et la configuration des feuilles, sont les principaux facteur de la rétention des polluants. L'absorption et l'accumulation de fluorure, sont plus importantes chez les arbres à feuillage persistant (olivier) que chez plantes à feuilles caduques. La différence de la concentration en fluorure, pour une même plante, peut être expliquer au plusieurs facteurs :

- Différence de concentration en fluorure en fonction du type de sol dans lequel la plante est cultivée,
- Effet de la teneur en fluorure des eaux d'irrigation.

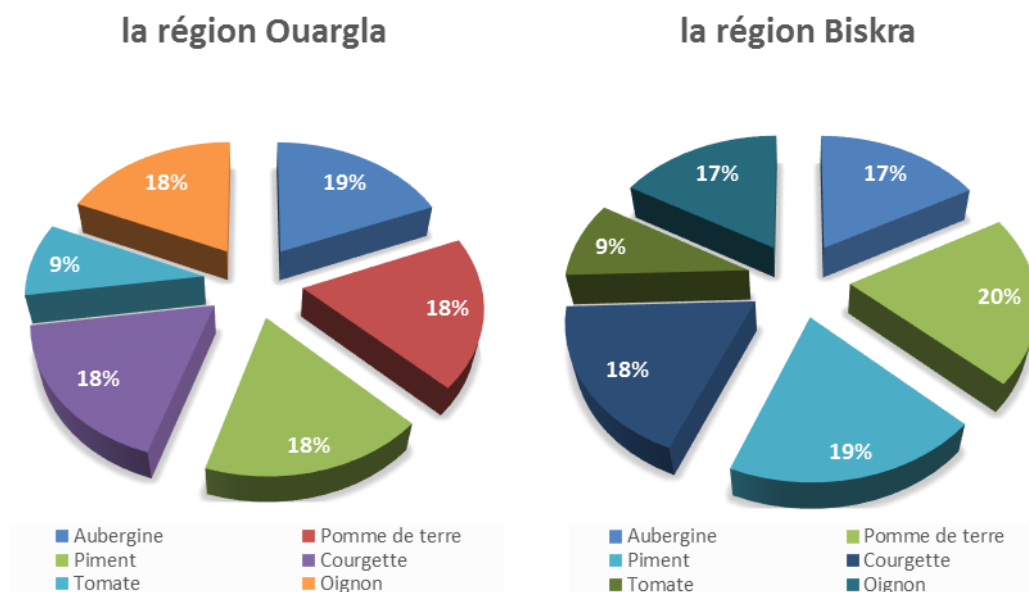


Figure 44. Distribution de fluorure dans les légumes étudiés

II.3.4. Effet de fluorure, en eau d'irrigation, sur son accumulation dans les légumes

Pour ce faire, il a été orienté d'étudier et de suivre l'accumulation de fluorure chez les piments, plantes résistantes aux maladies (Mahbou-somo-toukam et al., 2010), mieux adapté aux températures élevées et aux conditions sous serres. Les plantes ont été irriguées par une solution synthétique de fluorure, à teneur allant de 0 à 4 mg/l (**Tableau 11**)

Tableau 11. Teneur en fluorure accumulée dans le Piment en fonction de la teneur en fluorure en solution nutritive

[F](mg/l) dans la solution nutritive	[F](mg/kg) dans le piment en
0	0
0,5	8,4
1,5	12,4
2	14,8
4	19

Le coefficient de corrélation de Pearson (r), est calculé selon suivante :

$$r = \frac{n\sum xi. yi - (\sum xi)(\sum yi)}{\sqrt{[(n\sum xi^2) - (\sum xi)^2]}\sqrt{[(n\sum yi^2) - (\sum yi)^2]}}$$

Où

Xi : la valeur de la variable x

Yi : la valeur de la variable y

n : nombre de données

La corrélation est expliquée de +1 à -1, autrement dit, corrélation plus forte et plus faible. La valeur 0, indique une corrélation minimale ou inexistante (Putra and Suprpto, 2018 ; Rasam et al., 2014). Les directives permettent d'interpréter les coefficients de corrélation sont présentées dans le **Tableau 12**.

Tableau 12. Interprétation du coefficient de corrélation.

Valeur du coefficient de corrélation (r)	Interprétation des coefficients de corrélation
0,00 - 0,199	Très faible
0,20 - 0,399	Faible
0,40 - 0,599	Moyen
0,60 - 0,799	Forte
0,80 - 1,000	Très forte

La relation entre la concentration du fluorure dans la solution nutritive et celle trouvée dans le piment cultivé, dans cette solution, est d'un coefficient de corrélation de Pearson, $r=0,913$, indiquant ainsi, que la concentration du fluorure dans le piment, a une forte corrélation positive avec les teneurs en fluorure dans la solution nutritive. Cela suggère qu'une augmentation de la concentration en fluorure, dans le piment, est associée à une augmentation proportionnelle de la concentration de fluorure dans les eaux. Les résultats présentés dans la **figure 45**, montrent qu'il existe une relation linéaire proportionnelle entre la concentration de fluorure dans la solution nutritive et celles accumulées dans le piment.

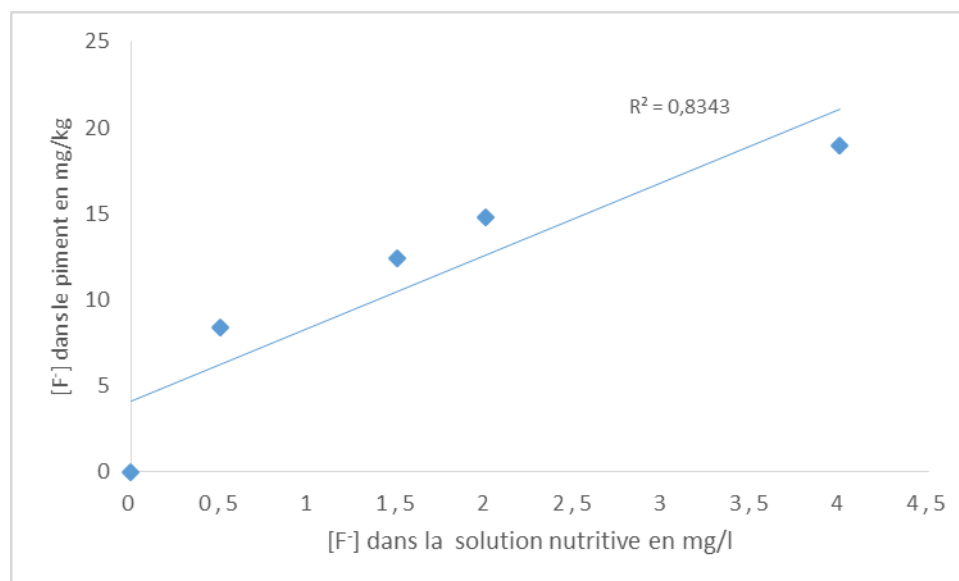


Figure 45. Evolution de la concentration en fluorure dans le piment (mg/kg) en fonction de la variation de la concentration en fluorure dans la solution nutritive (mg/l).

De ce résultat, on peut conclure que la concentration de fluorure dans l'eau souterraine, de la région d'étude, influence la concentration de fluorure dans les légumes.

II.3.5. Quantité moyenne journalière de fluorure consommée

Il est pratiquement difficile d'établir un bilan du fluorure total ingéré chaque jour. En effet, les sources sont multiples. Il se trouve pratiquement dans les aliments, à des teneurs variables. Les céréales (Haikel et al., 1986), les poissons (Malde et al., 1997), le sel (Martinez-Mier et al., 2005), le thé (Cao et al., 2006 ; Messaïtfa, 2008) et les boissons (Jimenez-Farfan et al., 2004), sont riches en fluorure. En l'absence d'un bilan complet, établir un bilan même partiel, est une nécessité absolue, comme guide et base de référence. En se basant sur le volume moyenne en eau (2,5 l/j), consommé journalièrement, et de la masse des légumes (**Tableau 13**) consommé, le total quotidien en fluorure, en mg/j, ingéré par un adulte, est calculé selon l'expression de Heikens et al., (2005) suivante :

$$\text{Consommation totale quotidienne} = \sum_i C_i I_i \quad (2)$$

Où i , représente la source (eau et légumes), C , donne la teneur dans la source (mg/l ou mg/g) et I , est la consommation de la source (g/j ou l/j).

Tableau 13. Quantité moyenne journalière en légumes consommés dans la région d'étude

Légumes	Consommation (Kg/j)
Pomme de terre	0,14
Aubergine	0,13
Courgette	0,09
Oignon	0,06
Piment	0,029
Tomate	0,13

Les résultats du tableau 13 font remarquer que la prise quotidienne en fluorure provenant de l'eau potable, varie avec la région, de 1,11 à 1,39 mg/l (1,22 mg/l en moyenne) à Ouargla et de 0,59 à 1,20 mg/l (0,88 mg/l en moyenne) à Biskra.

Un adulte habitant ces régions, en ingère quotidiennement 23,57 mg/j (Ouargla) à 21,25 mg/j pour Biskra (**Tableau 14**). Bien que ce bilan soit présenté à titre indicatif, il nous donne une idée éloquente de la masse de fluorure ingérée. Plus de 54% de toute la prise de fluorure dérive de celle de Pomme de terre et d'Aubergine consommée ; le Piment contribue de 5% à l'apport total journalier.

Tableau 14. Contribution des légumes à l'apport journalière total du fluorure

Légumes	[F ⁻](mg/kg)	Consommation journalière totale (mg/j)
Ouargla		
Pomme de terre	39,8	5,57
Aubergine	40,4	5,52
Courgette	38,4	3,46
Oignon	39,4	2,36
Piment	37,8	1,09
Tomate	19,4	2,52
Biskra		
Pomme de terre	40,6	5,68
Aubergine	34,4	4,47
Courgette	37,2	3,35
Oignon	33,6	2,02
Piment	39,2	1,14
Tomate	18,4	2,39

La prise quotidienne moyenne en fluorure provenant de légumes, dépasse la teneur recommandée par l'OMS (6 mg/j). Une dose recommandée qui est de 0,05 - 0,07 mg/kg/j (Levy, 1994). Toutefois, pour les habitants de nos régions, dont l'eau riche en fluorure, les apports alimentaires (les légumes notamment), semblent nécessaire de défluorurer les eaux.

II.3.6. Conclusion

L'interprétation des résultats, d'analyses physico-chimiques, nous a permis l'évaluation la qualité de l'eau, ces facies chimiques, son aptitude à l'irrigation. L'effet de la concentration de fluorure des eaux sur sa concentration dans quelques légumes est largement discuté. La dose optimale calculée pour les eaux, dépasse pour la plupart de l'année celle recommandée en régions chaudes.

Conclusion générale

L'analyse physico-chimiques des eaux, nous a permis d'évaluer sa qualité vis à vis sa potabilité et son aptitude à l'irrigation. Ce sont des eaux de qualité mauvaise. La teneur des principaux éléments majeurs ayant des teneurs dépassant la norme de potabilité recommandée. Pour les éléments majeurs, le sodium (Na^+) est l'élément le plus dominant (52 %) ; cependant que les teneurs en calcium (Ca^{2+}), en magnésium (Mg^{2+}) et en potassium (K^+) représentent moins de 45% de la somme des cations. Concernant les anions, la somme des chlorures (Cl^-) et des sulfates (SO_4^{2-}), représente 92% de la somme des anions. Les eaux souterraines du complexe terminal, sont caractérisées par une prédominance des ions chlorure par rapport aux ions sulfate et bicarbonate ($\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$). Le sodium (Na^+) est le plus dominant, suivi du calcium (Ca^{2+}). Cependant, pour les forages BN2, Droh3, Droh 4 et Droh 5, l'abondance relative des principaux cations est comme suit : $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$.

Selon les facies chimiques, les eaux de Plio-Quaternaire et de Mio-Pliocène, de la région Biskra, présentent une faciès chloruré sodique et potassique, tandis que les eaux de Maestrichtien et de Turonien, présentent un faciès chloruré et sulfaté-calcique et magnésien. Quant aux eaux de Sénonien et de Mio-Pliocène, de Ouargla, elles appartiennent au faciès chloruré sodique et potassique.

Concernant l'aptitude des eaux à l'irrigation, la représentation des eaux du complexe terminal sur le diagramme de Richards, montre que ces eaux sont impropres à l'irrigation en raison de leur très forte salinité.

La teneur en fluorure, des eaux souterraines étudiées, est comprise entre 0,59 à 1,36 mg/l. Ce sont les eaux de Biskra, exploitants les nappes de Maestrichtien, de Plioquaternaire et de Mio-pliocène, qui présentent les plus faibles teneurs (< 1 mg/l). Le niveau le plus élevé (1,39 mg/l) a été observé à Ain Elouiz (Ouargla) et le plus bas (0,59 mg/l) a été enregistré à Boukhalfa (Biskra). La totalité des eaux (100%), avaient des teneurs en F < 1,5 mg/l, tandis que 32% des

Conclusion générale

eaux échantillonnées, avaient une concentration < 1 mg/l ; Par ailleurs, l'analyse met en évidence que 68%, des eaux exploitées, contenaient entre 1 et 1,4 mg/l, dépassent ainsi la norme de l'OMS, pour les climats chauds (0,6 - 0,8 mg/l) (WHO, 2008).

La teneur en fluorure, contenue dans les légumes, varie selon l'espèce, de 18,4 mg/kg pour les tomates à plus de 40,6 mg/kg, pour l'aubergine et la pomme de terre. Ces derniers se montrent accumuler le fluorure présent dans les eaux. Les expériences montrent une relation proportionnelle entre la concentration de fluorure dans l'eau d'irrigation et sa concentration dans les légumes.

Les résultats font remarquer que la prise quotidienne en fluorure provenant de l'eau potable dépasse la norme recommandée par l'OMS (0,6 - 0,8 mg/l), pour les régions à climats chauds. Pour les légumes, les apports alimentaires journalier moyenne en consommée par un habitant, dépasse la valeur recommandée par l'OMS (6 mg/j) (OMS, 2008).

Références

- Achour, S., Youcef, L., & Guergazi, S. (2008). Qualité physico-chimique des eaux souterraines et superficielles du Sahara septentrional oriental algérien. *L'Eau, l'industrie, Les Nuisances*, 311, 79–84.
- Adimalla, N., Li, P., & Venkatayogi, S. (2018). Hydrogeochemical evaluation of groundwater quality for drinking and irrigation purposes and integrated interpretation with water quality index studies. *Environmental Processes*, 5(2), 363–383.
- Agence française de sécurité sanitaire des aliments. (2003, Novembre). *Rapport du Comité d'experts spécialisé "eaux" concernant la proposition de fixation d'une valeur limite du fluor dans les eaux minérales naturelles*
- Agence Française de Sécurité Sanitaire des produits de Santé. (2008, Octobre). *Utilisation du fluor dans la prévention de la carie dentaire avant l'âge de 18 ans*. Mise au point. Saint-Denis.
- Aissa, R. B., & Boutoutaou, D. (2017). Characterization of groundwater in arid zones (Case of Ouargla basin). *Energy Procedia*, 119, 556–564.
- Allia, Z. (2018). *Le Système Aquifère Mio-pliocène du Bassin de Chott Melrhir-Zab Chergui: Caractérisation, Géométrie et Hydrochimie*. [PhD Thesis, Université Mohamed Khider–Biskra].
- Amichi, F., Bouarfa, S., Lejars, C., Kuper, M., Hartani, T., Daoudi, A., Amichi, H., & Belhamra, M. (2015). Des serres et des hommes : Des exploitations motrices de l'expansion territoriale et de l'ascension socioprofessionnelle sur un front pionnier de l'agriculture saharienne en Algérie. *Cahiers Agricultures*, 24(1), 11–19.
- Annane, O. (2011). *Amélioration de la technique de défluoruration par le nouveau procédé d'électrocoagulation bipolaire* [Mémoire de magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou]. UMMTO. <https://www.ummtto.dz/dspace/handle/ummtto/1024>

Références

- Atia, D. (2010). *Défluoruration des eaux de la région d'El-Oued. Etude comparative et paramètres influent*[Mémoire de Magister, Université KasdiMerbah Ouargla].Thèses Algérie. <https://www.theses-algerie.com/2637662781920891>
- Atia, D., &Hoggui, A. (2012). Defluoridation of water by precipitation. *J.Chem. Pharm.Res*, 4, 5180-5184.
- Azioune, R., Tatar, H., & Nouaceur, Z. (2018). Pluies extrêmes et risque d'inondation dans la ville de Biskra (Algérie). *Sciences & Technologie. D, Sciences de La Terre*, 48, 93–106.
- Bacha, B. (2010). *Diagnostic écologique d'une zone humide artificielle : le barrage de foug el kherza (Biskra, Algérie)* [PhD Thesis, Université Mohamed Khider-Biskra].
- Banas, D. and Lata, J. C. (2006). Nitrates. The White Paper pollutants habitat. Université Paris-Sud.
- Baouia, K., &Messaitfa, A. (2015). Distribution and removal of fluoride ions in the drinking waters in the Algerian South (Ouargla as a showcase). *EnergyProcedia*, 74, 294–300.
- Bashir, M. T., Ali, S. and Bashir, A. (2012). Health effects from exposure to sulphates and chlorides in drinking water. *Pakistan J. of medical and health sciences*, 6(3), 648-652.
- Bégué, J.-P., & Bonnet-Delpon, D. (2005). *Chimie bioorganique et Médicinale du Fluor* (EDP Science/CNRS, Eds).Paris.
- Belghiti, M. L., Chahlaoui, A., Bengoumi, D.and El Moustaine, R. (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc). *LARHYSS Journal*, (14), 21-36.
- Belksier, M. S., Chaab, S., & Abour, F. (2016). Qualité hydro chimique des eaux de la nappe superficielle dans la région de l'Oued Righ et évaluation de sa vulnérabilité à la pollution. Synthèse : *Revue Des Sciences et de La Technologie*, 32, 42–57.
- Benameur-Saggou, H., Benterbah, F., Neciri, M., Remli, M., Boukhlaf, O., Chennouf, R., & Benbrahim, K. (2021). Inventaire des coccinelles de la region de ouargla et etude de ses capacites predatrices. *Revue Des Bio Ressources*, 11(2), 12–12.

Références

- Bensaha, H., & Bezzari, S. (2014). Les serres agricoles en zone saharienne : Impact de dispositif de stockage thermique dans la région de Ghardaïa (Algérie). *Troisième Séminaire International Sur Les Energies Nouvelles et Renouvelables SIENR*.
- Bettahar, A., Nezli, I. E., & Kechiched, R. (2017). Evolution and Mineralization of Water Chemistry in the Aquifer systems of the Terminal Complex of the Wadi Righ Valley. *Energy Procedia*, 119, 318–324.
- Bhagavan SV and Raghu V (2005) Utility of check dams in dilution of fluoride concentration in ground water and the resultant analysis of blood serum and urine of villagers, Anantapur District, Andhra Pradesh, India. *Environ. Geoch. Health* 27: 97-108.
- Bock R (1979) *Decomposition Methods in Analytical Chemistry*, trans. by I.L. Marr, International Text Book Co. Glasgow 138p.
- Boucetta, D. (2018). *Effets des changements climatiques sur les cultures pratiquées et les ressources en eau dans la région de Biskra* [PhD Thesis, Université Mohamed Khider Biskra].
- Bouchahm, N., & Achour, S. (2008). Qualité des Eaux Souterraines des Aquifères de la Région Orientale du Sahara Septentrional Algérien. *Journal Algérien des Régions Arides*, 19–27.
- Bouchemal, F. (2017). *Diagnostic de la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Biskra* [PhD Thesis, Université Mohamed Khider-Biskra].
- Bouchemal, F., & Achour, S. (2015). Qualité physico-chimique et paramètres de pollution des eaux souterraines de la région de Biskra. *Larhyss Journal*, 22, 197–212.
- Bouchemal, F., Bouchahm, N., & Achour, S. (2011). Qualité des eaux des nappes aquifères de la région de BISKRA. *Rev. Sci. Fond. Appl.*, 3(1), 34–44.
- Bouselsal, B. (2017). Groundwater quality in arid regions: The case of Hassi Messaoud Region (se Algeria). *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(1), 528–541.
- Boyd, C. E. (2015). *Water quality: An introduction*. In *Water Quality: An Introduction*. Second Edition. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17446-4>

Références

- Brindha, K., & Elango, L. (2011). Fluoride in groundwater: Causes, implications and mitigation measures. In: Monroy, S.D. (Ed.), *Fluoride Properties, Applications and Environmental Management, 1*, 111–136.
- Brinis, N. (2011). *Caractérisation de la salinité d'un complexe aquifère en zone aride cas de l'aquifère d'El-Outaya region Nord-Ouest de Biskra*. Algérie [PhD Thesis, Faculté des sciences et de la technologie, Université Mohamed Khider-Biskra].
- Campbell A (1987) Determination of fluoride in various matrices. *Pure Appl. Chem.* 59: 695-702.
- CAO J., ZHAO Y., LI Y., DENG H.J., YI J., LIU J.W., 2006. Fluoride levels in various black tea commodities: measurement and safety evaluation. *Food Chem. Toxicol.*, 44, 1131-1137.
- Carrillo-Rivera, J. J., Cardona, A., & Edmunds, W. M. (2002). Use of abstraction regime and knowledge of hydrogeological conditions Environ Geol Environ Geol to control high fluoride concentration in abstracted groundwater: San Luis Potosi basin. *Mexico. Journal of Hydrology*, 261(1), 24–47.
- Chabour, N. (2006). *Hydrogéologie des domaines de transition entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne à l'Est de l'Algérie* [PhD Thesis, Faculté des Sciences de la Terre, Université Mentouri-Constantine], Algérie.
- Chandra SJ, Thergaonkar VP, Sharma R (1981) Water quality and dental fluorosis. *Ind J Public Health* 25(1):47-51.
- Chan, L. (2014). *Human exposure assessment of fluoride from tea (Camellia Sinensis L.) with specific reference to human bioaccessibility studies*. [Doctoral dissertation, University of Derby].
- Chehma, A. (2005). *Etude floristique et nutritive des parcours camelins du Sahara septentrional Algérien cas des régions de Ouargla et Ghardaïa* [PhD Thesis, Université Badji Mokhtar-Annaba : 178 p].
- Chehma, A. (2011). Le Sahara en Algérie, situation et défis.

Références

- Chehma, A., & Djebar, M. R. (2008). Les espèces médicinales spontanées du Sahara septentrional algérien : distribution spatio-temporelle et étude ethnobotanique. *Synthèse : Revue Des Sciences et de La Technologie*, 17, 36–45.
- Dadamoussa, M.L., Senoussi. A., Idder. M.A., Belaroussi, M.E., Idder-Ighili, H., & Boummada, A. (2015). La petite mise en valeur au Sahara septentrionale algérien : Entre politiques de développement et réalité ; cas de Ouargla, Ghardaïa et El-Oued. *Livestock Research for Rural Development*, 27, 10.
- Daoudi, A., & Lejars, C. (2016). De l'agriculture oasienne à l'agriculture saharienne dans la région des Zibans en Algérie. Acteurs du dynamisme et facteurs d'incertitude. *New Medit*, 45–52.
- Souza, C. F. M., Júnior, J. F. L., Adriano, M. S. P. F., & Sampaio, F. C. (2012). Systemic Methods of Fluoride and the Risk for Dental Fluorosis. In *Oral Health Care-Prosthodontics, Periodontology, Biology, Research and Systemic Conditions. IntechOpen*.
- Djellouli, H. M., Taleb, S., Harrache-Chettouh, D., & Djaroud, S. (2005). Physicochemical quality of drinking water in southern Algeria: Study of excess mineral salts. *Sante (Montrouge, France)*, 15(2), 109–112.
- Drouiche, A. M., Chaib, W., Rezeg, A., & Bougherira, N. (2013). Risque de contamination des eaux souterraines par les nitrates en régions arides ; cas d'Elghrous (Région des Ziban-Sud-Est Algérien). *Journal Algérien des Régions Arides*.
- Farhi, Y., & Belhamra, M. (2012). Typologie et structure de l'avifaune des Ziban (Biskra, Algérie). *Courrier Du Savoir*, 13, 127–136.
- Farooqi A, Masuda H, Firdous N (2007) Toxic fluoride and arsenic contaminated groundwater in the Lahore and Kasur districts, Punjab, Pakistan and possible contaminant sources. *J Environ Pollut* 145(3):839-849.
- Fawell, J., Bailey, K., Chilton, J., Dahi, E., & Magara, Y. (2006). *Fluoride in drinking water*. IWA publishing.

Références

- Fehér, F., Herr, W., Schneider, A., & Hecht, H. (1953). *Handbuch der analytischen Chemie: Qualitative Nachweisverfahren. Elemente der siebenten Gruppe: Fluor, Chlor, Brom, Jod, Mangan, Technetium, Rhenium*. Springer-Verlag.
- Fifati, A. (2012). *Typologie et caractérisation de la qualité des aquifères d'une zone aride. Cas de la région de Guerrara. Ghardaia (sud Algérien)*. [Doctoral dissertation, Université de Tébessa-Larbi Tébessi].
- Fondation nationale de la santé. (2013). Manuel pratique d'analyse de l'eau. 4ème édition. brasilia, 153.
- Frazão, P., Peverari, A. C., Forni, T. I. B., Mota, A. G., & Costa, L. R. D. (2004). Fluorose dentária: comparação de dois estudos de prevalência. *Cadernos de saude publica*, 20, 1050-1058.
- Freeze, R. A., & Lehr, J. H. (2009). *The Fluoride Wars: How a Modest Public Health Measure Became America's Longest-Running Political Melodrama*. John Wiley & Sons.
- Fuentes, I. H.-G., de Estrada Riverón, J. D., Hernández, F. M., & Díaz, J. D. Z. (2007). Fluorosis dental: No solo un problema estético. *Rev Cubana Estomatol*, 44(4), 143–155.
- Ghibeche, I., Azouzi, B., & Hartani, T. (2013). Contribution à la régionalisation stochastique des paramètres physico- chimiques des eaux souterraines dans le cadre d'un SIG, application à la région de Djelfa. *SIHE. Ouargla*.
- Ghosh, S., Majumder, S., & Roychowdhury, T. (2019). Assessment of the effect of urban pollution on surface water-groundwater system of Adi Ganga, a historical outlet of river Ganga. *Chemosphere*, 237, 124507.
- Goni, J., Greffard, J., Leleu, M., & Monition, L. (1973). Le fluor dans les eaux de boisson. *BRGM, Service Géologique National-France*.
- Goswamee, D. S., Shah, P. K., & Patel, Y. S. (2015). Analysis of quality of groundwater and its suitability for irrigation purpose in Visnagar Taluka, Mehsana District, Gujarat. *Scientific Engineering and Technology Research*, 4, 2907-2911.
- Guerraiche, Z. (2017). *Impact de la pollution urbaine sur les eaux de surface du Grand Constantinois*. [Dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra].

Références

- Guillaume, N. (2008). *Données actuelles sur la fluorose dentaire* [Thèse de Doctorat, Université de Nantes].
- Guimard, G. (2002). *La fluorose dentaire : Données actuelles et évaluation* [Thèse de doctorat, UHP-Université Henri Poincaré]. HAL archives-ouvertes.fr
- Habben, J. (1974). Note générale sur la culture hydroponique.
- Haddoud, M. (2013). *Contribution à l'étude des éléments chimiques en traces dans les eaux souterraines profondes de la wilaya de Biskra. Cas du cuivre et du zinc* [PhD Thesis, Université Mohamed Khider-Biskra].
- HAIKEL Y., VOEGEL J.C., Frank R.M., 1986. Fluoride content of water, dust, soils and cereals in the endemic dental fluorosis area of Khouribga (Morocco). *Arch. Oral Biol.*, 31, 279-286.
- Harir, M. (1989). *Fluorose humaine et animale incidences sur certaines régions du Maroc* [Thèse de doctorat, Université de Joseph FOURIER]. HAL Id: [dumas-01561144](https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01561144), <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01561144>
- Harkati, D. (2018). *Prévision de la salinité de la couche active des sols et optimisation du régime d'irrigation à caractère lessivant des terres mise en valeurs dans le sud-est Saharien : Cas de Biskra et l'Oued Righ* [PhD Thesis, Université Mohamed Khider Biskra].
- Hartani, T., Naouri, M., & Kuper, M. (2015). L'entrée des jeunes dans l'agriculture : Cas du maraîchage sous serre dans les Ziban (Algérie). *Alternatives Rurales*, 10.
- Hecini, L. (2014). *Glossaire de l'eau*. CRSTRA. Biskra.
- Heikens, A., Sumarti, S., Van Bergen, M., Widianarko, B., Fokkert, L., Van Leeuwen, K., & Seinen, W. (2005). The impact of the hyperacid Ijen Crater Lake: Risks of excess fluoride to human health. *Science of the Total Environment*, 346(1–3), 56–69.
- Idder, T., Idder, A., Tankari Dan-Badjo, A., Benzida, A., Merabet, S., Negais, H., & Serraye, A. (2014). Les oasis du Sahara algérien, entre excédents hydriques et salinité. L'exemple de l'oasis d'Ouargla. *Revue Des Sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 27(2), 155–164.

Références

- Idir, M. H., Nezli, I. E., & Bouregaa, S. (2014). Description géologique et géométrique des formations aquifères de la cuvette de Ouargla. *Algerian Journal of Arid Environment "AJAE"*, 4(1), 8–8.
- Institut scientifique de service public. (2014). Méthode de mesure in situ du ph de l'eau par la méthode électrochimique. CWEA.
- International Society for Fluoride Research. (2013, October 18–21). *xxxist conference advances in fluoride research. Program and abstract book*. In associate professor jashwanti d. sharma & university of rajasthan, jaipur, india (presidents).TEHRAN, IRAN.
- JIMENEZ-FARFAN M.D., HERNANDEZ-GUERRERO J.C., LOYOLA-RODRIGUEZ J.P., LEDESMA-MONTES, C., 2004. Fluoride content in bottled waters, juices and carbonated soft drinks in Mexico City, Mexico. *Int. J. Paediat. Dent.*, 14, 260-266.
- Kahama, R. W., Kariuki, D. N., Kariuki, H. N., & Njenga, L. W. (1997). Fluorosis in children and sources of fluoride around Lake Elementaita region of Kenya. 30(1), 19-25.
- Kechiched, R., Djeghoubi, R., Fougou A., Nezli, I. E., & Haddane, A. (2013). Apport de la géostatistique non-paramétrique à la cartographie des concentrations du fluor dans les eaux de la nappe du Complexe Terminal (CT)–Hassi Messaoud (Sud algérien). *Le Séminaire International sur L'Hydrogéologie et l'Environnement 5 - 7 Novembre 2013, Ouargla (Algérie)*.
- Khadraoui, A. (2003). Gestion des ressources en eau souterraines au Sahara Algérien. Journées Techniques et Scientifiques. El Oued, 19–20.
- Kim, K., & Jeong, G. Y. (2005). Factors influencing natural occurrence of fluoride-rich groundwater: A case study in the south eastern part of the Korean Peninsula. *Chemosphere*, 58(10), 1399–1408.
- Lachouri, A. (2009). *Distribution des ions fluorures dans les eaux et les principaux aliments, Evaluation du risque de la fluorose dans deux communautés du sud Est Algérien (Ouargla et El Oued)*. [thèse de doctorat , Université de Ouargla-KasdiMerbah].3(2), 69-99.

Références

- Lavielle, S. (2009). *Synthèse de molécules fluorées pour le développement d'un nouvel outil de nano-imagerie: application à l'imagerie de l'angiogénèse pathologique* [Doctoral dissertation, Bordeaux 1].
- Legault, C. (2005). Le fluor et la santé des dents chez l'enfant. *Québec Pharmacie*, 52(8), 503.
- Levy, S. M. (2003). Une mise à jour sur les fluorures et la fluorose. *J Can Dent Assoc*, 69(5), 286–291.
- Li, X., Wu, P., Han, Z., & Shi, J. (2016). Sources, distributions of fluoride in waters and its influencing factors from an endemic fluorosis region in central Guizhou. *China. Environmental Earth Sciences*, 75(11), 1–14.
- Long Y-G, Wang Y-N, Chen J, Jiang S-F, Nordberg A, Guan Z-Z (2002) Chronic fluoride toxicity decreases the number of nicotinic acetylcholine receptors in rat brain. *Neurotoxicology and Teratology* 24(6): 751-757.
- Loi canadienne sur la protection de l'environnement. (1993). *Fluorures inorganiques*. Ministre des Approvisionnements et Services Canada. Groupe Communication Canada — Édition Ottawa, Canada.
- Lounici, H., Addour, L., Belhocine, D., Grib, H., Nicolas, S., Bariou, B., & Mameri, N. (1997). Study of a new technique for fluoride removal from water. *Desalination*, 114(3), 241–251.
- Luke, J. A. (1997). *The effect of fluoride on the physiology of the pineal gland*. [Doctoral dissertation, Université of Surrey].
- Lung, S. C. C., Cheng, H. W., & Fu, C. B. (2008). Potential exposure and risk of fluoride intakes from tea drinks produced in Taiwan. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 18(2), 158-166.
- Magalhães, H. I. C. (2018). *Efeitos do flúor na saúde humana*. [Doctoral dissertation. Universidade Fernando Pessoa]
- Mahbou-Somo-Toukam, G. (2010). *Diversité de Ralstonia Solanacearum au Cameroun et bases génétiques de la résistance chez le piment (Capsicum Annuum) et les Solanacées* [Doctoral dissertation, AgroParisTech].

Références

- MALDE M.K., MAAGE, A., MACHA, E., JULSHAMN, K., BJORVATN, K., 1997. Fluoride Content in selected food Items from five areas in East Africa. *J. Food Comp. Analy*, 10, 233-245.
- Marinho, V. C., Higgins, J., Logan, S., & Sheiham, A. (2003). Fluoride toothpastes for preventing dental caries in children and adolescents. *Cochrane database of systematic reviews*, (1).
- MARTINEZ-MIER E.A., SOTO-ROJAS A.E., BUCKLEY C.M., ZERO D.T., MARGINEDA J., 2005. Fluoride concentration of bottled water, tap water, and fluoridated salt from two communities in Mexico. *Int. Dent J.*, 55, 93-99.
- Masmoudi, R. (2009). Etude de la fiabilité des systèmes de distribution d'eau potable en zones arides cas de la région de Biskra [PhD Thesis, Université Mohamed Khider-Biskra].
- Mazet, P. (2002). *Les eaux souterraines riches en fluor dans le monde*. Université de Montpellier II.
- Meenakshi S, Garg VK, Kavita K, Renuka S, Malik A (2004) Groundwater quality in some villages of Haryana, India: focus on fluoride and fluorosis. *J Hazard Mater* 106(1):55-60.
- Messaïtfa, A., & Safer, M.Ch. (2007). Fluoride contents in groundwater and the main consumed foods (dates and tea) in Southern Algeria region. *Online Journal of Earth Sciences*, 1(2), 70-75.
- Messaïtfa, A. (2008). Fluoride contents in groundwater and the main consumed foods (dates and tea) in Southern Algeria region. *Environmental Geology*, 55(2), 377–383.
- Mezghani, I., Elloumi, N., Abdallah, F. B., Chaieb, M., & Boukhris, M. (2005). Fluoride accumulation by vegetation in the vicinity of a phosphate fertilizer plant in Tunisia. *Fluoride*, 38(1), 69-75.
- Moussa, M. T. B., Hadeif, Y., Bouncer, H., Oudjehih, M., Beichi, F., Aouidane, S., & Benaldjia, H. (2020). Enquête ethnobotanique sur *Matricaria pubescens* (DESF.) SCHULTZ (Asteraceae) auprès de la population des régions sud est d'Algérie Ethnobotanical

Références

- survey on *Matricaria pubescens* (DESF.) SCHULTZ (Asteraceae) among the population of the south-eastern regions of Algeria. *Thérapeutique*, 35(88), 1–17.
- Nagendra Rao, C. (2003, 15-17 December). Fluoride and environment-a review. In Martin J. Bunch, V. Madha Suresh and T. Vasantha Kumaran(eds.), *Proceedings of the third international conference on environment and health*, Chennai, India (pp. 15-17).
- National Research Council. (2006). *Fluoride in drinking water: a scientific review of EPA's standards*. The National Academies Press. Washington, D.C.
- Nezli, I. E., Achour, S., & Hamdi-Aïssa, B. (2009). Approche hydrogéochimique à l'étude de la fluoration des eaux de la nappe du complexe terminal de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). *Courrier Du Savoir*, 9,57–62.
- Mullane, D. M., Baez, R. J., Jones, S., Lennon, M. A., Petersen, P. E., Rugg-Gunn, A. J., & Whitford, G. M. (2016). Fluoride and oral health. *Community dental health*, 33(2), 96-99.
- Organisation mondiale de la Santé (1985). *Directives de qualité pour l'eau de boisson*. (vol.1).recommandations.
- Organisation mondiale de la Santé. (2017). *Directives de qualité pour l'eau de boisson*.(4e éd). Intégrant le premier additif.
- OSS (2003). Système aquifère du Sahara Septentrional, une Conscience de bassin, 2ème édition. Hydrogéologie, volume II, Juin 2003.
- OSS-UNESCO, I. A. (2005). Ressources en eau et gestion des aquifères transfrontaliers de l'Afrique du Nord et du. IHP-IV Series on Groundwater no. 11.
- Ottawa. 2001. Canadian Water Quality Guidelines for the protection of aquatic life: Inorganic Fluorides. Scientific Supporting Document. Report No. 1-1. Environmental Quality Branch, Environment Canada.
- Ouali, S., & Bouguern, A. (2016). Characterization study of the Albian reservoir of southern Algeria. *Revue Des Energies Renouvelables*, 19(4), 525–531.

Références

- Pettifor JM, Schnitzler CM, Ross FP, Moodley GP (1989) Endemic skeletal fluorosis in children: hypocalcemia and the presence of renal resistance to parathyroid hormone. *Bone and Mineral* 7(3):275-288.
- Putra, D. A., & Suprpto, M. (2018). Assessment of the road based on PCI and IRI road condition measurement. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 195, p. 04006). EDP Sciences.
- Rabier, C., Somé, N. A., Faye, A., Sy, M. H., Yam, A. A., Biagui, E. P., & Thiam, B. (2008). Enquête épidémiologique : Impact du fluor ingéré via les eaux de boisson sur la santé des populations de cinq communautés rurales du Sénégal. *Journal des Sciences et Technologie*, 7(2), 7-12.
- Rasam, A. R. A., Ghazali, R., Noor, A. M. M., Mohd, W. M. N. W., Hamid, J. R. A., Bazlan, M. J., & Ahmad, N. (2014, February). Spatial epidemiological techniques in cholera mapping and analysis towards a local scale predictive modelling. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 18, No. 1, p. 012095). IOP Publishing.
- Rekibi, F. (2015). *Analyse compétitive de la filière tomate sous serre. Cas de la Wilaya de Biskra* [PhD Thesis, Université Mohamed Khider-Biskra].
- Rekis, A. (2012). *Etude spatio-temporelle du changement de la végétation de la région ouest de Biskra. Approche cartographique par télédétection* [PhD Thesis, Université Mohamed Khider-Biskra].
- Rivera, S., Godorcci, S., Borgel, L., Díaz, E., Fuchs, T., & Martin, M. I. (1993). Fluor: Potenciales efectos adversos. *Revista Chilena de Pediatría*, 64(4), 278–283.
- Rodier, J. Legube, B., Merlet, N., Brunet, R., Mialocq, J. C., Leroy, P. et al (2009) . *L'analyse de l'eau*. 9e éd, Dunod.
- Sahali, N., Douar, B., & Selmani, A. (2021). Analyse de l'évolution récente des cultures maraichères en Algérie Analysis of recent trends in market gardening in Algeria. *Revue Cahiers Economiques*, 12(02), 487–496.
- Sail, N. (2006). *Evolution de la salinité des eaux des nappes du complexe terminal de la région de M'ya-Ouargla* [PhD Thesis, Alger].
- Saley, A. K. H., Sandao, I., Michelot, J.-L., & Boureïma, O. (2019). Apport des Paramètres Physico-Chimiques des Eaux à l'amélioration de la Connaissance de l'aquifère du

Références

- Continental Intercalaire/Continental Hamadien de la Région de Tahoua (Bassin des Iullemeden, Niger). *European Scientific Journal ESJ*, 15(12).
- Santé Canada (2010). *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique – Fluorure*. Bureau de l'eau, de l'air et des changements climatiques, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Ottawa (Ontario).
- Schuld, A.(n.d.). *Fluor : propagande et réalité*. <http://docplayer.fr/162442031-Fluor-propagande-et-realite.html>
- Sedrati, N., Bouchahm, N., Chaib, W., Rezeg, A., Slimani, R., Benaouda, L., & Djabri, L. (2008). Apports de la géophysique pour la détermination de l'extension des aquifères de la région de Biskra. *Journal Algérien des Régions Arides*, 7, 45-54.
- Shomar, B., Müller, G., Yahya, A., Askar, S., & Sansur, R. (2004). Fluorides in groundwater, soil and infused black tea and the occurrence of dental fluorosis among school children of the Gaza strip. *Journal of water and Health*, 2(1), 23-35.
- Singer L and Ophaug RH (1986) Determination of fluoride in foods. *J. Agr. Food Chem.* 34: 510-513.
- Singh PP, Barjatiya MK, Dhing S, Bhatnagar R, Kothari S, Dhar V (2001) Evidence suggesting that high intake of fluoride provokes nephrolithiasis in tribal populations. *Urological Research* 29(4):238-244.
- Slimani, N. (2015). Impact du comportement alimentaire du dromadaire sur la préservation des parcours du Sahara septentrional algérien: Cas de la région de Ouargla et Ghardaïa [Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah].
- Stochastique des paramètres physicochimiques des eaux souterraines dans le cadre d'un SIG, application à la région de Djelfa.
- Stoneman, J., Wallar, L., & Papadopoulos, A. (2014, Février). La fluoration de l'eau de consommation au Canada : Tendances, avantages et risques. *Centre de collaboration nationale en santé environnementale*.

Références

- Tabouche, N., & Achour, S. (2004). Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien. *Larhyss Journal*, 3, 99–113.
- Takahashi K, Akiniwa K, Narita K (2001) Regression analysis of cancer incidence rates and water fluoride in the U.S.A. based on IACR/IARC (WHO) data (1978-1992). *J Epid* 11(4):170-179.
- Taves DR (1983) Dietary intake of fluoride ashed (total fluoride) v. unashed (inorganic fluoride) analysis of individual foods. *Br. J. Nutr.* 49: 295-301.
- Tekle-Haimanot R, Melaku Z, Kloos H, Reimann C, Fantaye W, Zerihun L, Bjorvatn K (2006) The geographic distribution of fluoride in surface and groundwater in Ethiopia with an emphasis on the Rift Valley. *Sci Total Envir* 367(1):182-190.
- Thomas, C., Orban, P., & Brouyère, S. (2017). Caractérisation de la concentration de référence de certains paramètres chimiques présents naturellement dans les masses d'eau souterraine captives du Socle et du Crétacé (BR01) et du Landénien (BR03) en Région de Bruxelles-Capitale.
- Tisseuil, R. (2017). *Le fluor : Action, toxicités et sources* [Doctoral thèses, Université POTIERS].
- Tohyama E (1996) Relationship between fluoride concentration in drinking water and mortality rate from uterine cancer in Okinawa prefecture, Japan. *J Epid* 6(4):184-191.
- Travi, Y. (1993). Hydrogéologie et hydrochimie des aquifères du Sénégal. Hydrogéochimie du fluor dans les eaux souterraines (Vol. 95, No. 1, pp. 3-158). Persée-Portail des revues scientifiques en SHS.
- Tressaud, A. (2006). *Fluorine and the Environment Agrochemicals, Archaeology, Green Chemistry & Water.*(Vol. 2). Elsevier Ltd.
- Triller, M. (1998). Le fluor, agent préventif de la maladie carieuse : mécanisme, sources, risques. *Archives de pédiatrie*, 5(10), 1149-1152.

Références

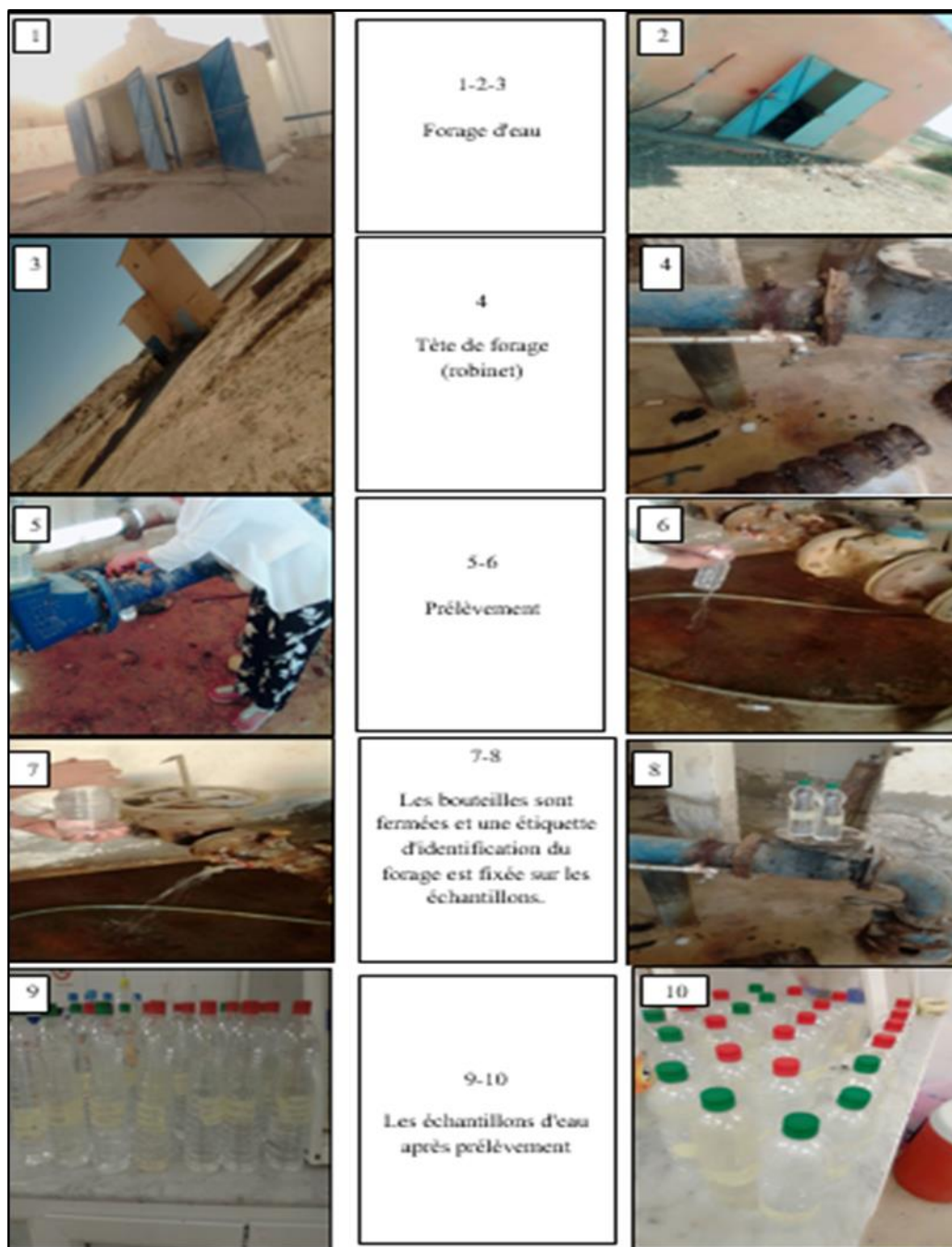
- Tsunoda, H., & Tsunoda, N. (1986). Fluoride absorption and excretion in human subjects following ingestion of F-contaminated agricultural products. In Tsunoda, H., & Yu, M.-H. (Eds.), *Fluoride Research 1985: Selected Papers from the 14th Conference of the International Society for Fluoride Research*. Morioka, Japan, 12-15 June 1985. (Vol. 27, pp. 107-112). Elsevier.
- Tylenda, C. A. Jones, D. Ingerman, L. Sage, G. Chappell, L. & Syracuse Research Corporation (2003). *Toxicological profile for fluorides, hydrogen fluoride, and fluorine*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Vasanthavigar, M., Srinivasamoorthy, K., Vijayaragavan, K., Rajiv Ganthi, R., Chidambaram, S., Anandhan, P., ...& Vasudevan, S. (2010). Application of water quality index for groundwater quality assessment: Thirumanimuttar sub-basin, Tamilnadu, India. *Environmental monitoring and assessment*, 171, 595-609.
- Venkateswarlu P (1975) Determination of total fluorine in serum and other biological material by oxygen bomb and reverse extraction techniques. *Anal Biochem*. 68: 512-521.
- Walter, J. (2010). Les eaux souterraines à salinité élevée autour du lac Saint-Jean. Québec : origins and impacts. University of Quebec at Chicoutimi.
- Wang, X. C., Kawahara, K., & Guo, X. J. (1999). Fluoride contamination of groundwater and its impacts on human health in Inner Mongolia area. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 48(4), 146-153.
- Yang C-Y, Cheng M-F, Tsai S-S, Hung C-F (2000) Fluoride in drinking water and cancer mortality in Taiwan. *Environ Res* 82(3):189-193.
- World Health Organization. (2008). *Guidelines for drinking-water quality. Third edition incorporating the first and second addenda* (Vol. 1). Recommendations.
- World Health Organization (1994). *Fluorides and oral health: report of a WHO Expert Committee on Oral Health Status and Fluoride Use*. Geneva.
- Youcef, L., & Achour, S. (2001). Defluoruration des eaux souterraines du sud algérien par la chaux et le sulfate d'aluminium. *I*, 65-71.

Références

- Youcef, L., & Achour, S. (2004). Etude de l'élimination des fluorures des eaux de boisson par adsorption sur bentonite. *Larhyss Journal*, 3, 129–142.
- Zobeidi, A. (2010). *Distribution des ions fluorures dans les eaux et les principaux aliments consommés dans la willaya d'El-Oued*. [Mémoire de magister, Université Kasdi Merbah Ouargla].DSpace. <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/684>
- Zohoori, F. V., & Maguire, A. (2018). Are there good reasons for fluoride labelling of food and drink? *British Dental Journal*, 224(4), 215–217.

Annexes

Annexe 1. Les étapes d'échantillonnage et prélèvement.



Annexe 2. Un questionnaire sur les quantités d'eau potable et de légumes consommées journalière dans la région d'étude.

Merci d'avoir accepté de participer à cette enquête, nous vous demandons de lire les questions et de bien les comprendre.

Répondez-y avec précision et clarté, et nous vous assurons que ces informations ne seront utilisées que : à des fins de recherche scientifique.

1. Information générale

Sexe Masculin Féminin

Age

2. Vous avez un problème de jaunissement des dents ?

Oui Non

3. Quelle est la nature de l'eau que vous buvez ?

L'eau du robinet L'eau minérale

Combien buvez-vous par jour ?.....

4. Consommez-vous les légumes suivants

Piment	<input type="checkbox"/> Oui	[] Quantité en g/j	<input type="checkbox"/> Non
Aubergine	<input type="checkbox"/> Oui	[] Quantité en g/j	<input type="checkbox"/> Non
Pomme de terre	<input type="checkbox"/> Oui	[] Quantité en g/j	<input type="checkbox"/> Non
Tomate	<input type="checkbox"/> Oui	[] Quantité en g/j	<input type="checkbox"/> Non
Courgette	<input type="checkbox"/> Oui	[] Quantité en g/j	<input type="checkbox"/> Non
Oignon	<input type="checkbox"/> Oui	[] Quantité en g/j	<input type="checkbox"/> Non