



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح – ورقلة



رقم التسلسلي:

كلية العلوم التطبيقية

رقم الترتيب:

قسم الهندسة المدنية والري

أطروحة مقدمة لنيل شهادة دكتوراه، الطور الثالث

في ميدان: علوم وتكنولوجيا

فرع: الري

تخصص: موارد مائية

قدمت للمناقشة من طرف:

احمد ضيف الله

العنوان

Défluoruration des eaux potables sur matrice-organique (Cas des eaux de la région de Ouargla)

نوع أيونات الفلوريد من المياه الصالحة للشرب بإستعمال مصفوفة عضوية

(حالة مياه منطقة ورقلة)

تاريخ المناقشة: 2024 / 11 / 03

أمام لجنة المناقشة:

رئيساً	جامعة قاصدي مرباح – ورقلة	أستاذ التعليم العالي	سقني لعجال
مناقشاً	مركز البحث في التحليل الفيز وكيميائية – ورقلة	أستاذ محاضر "أ"	بلخلفة حكيم
مناقشاً	جامعة قاصدي مرباح – ورقلة	أستاذ التعليم العالي	باوية قيس
مناقشاً	جامعة قاصدي مرباح – ورقلة	أستاذ محاضر "أ"	زيغمي سعاد
مشرفاً ومقرراً	جامعة قاصدي مرباح – ورقلة	أستاذ التعليم العالي	مصطفى عمار
مشرفاً ومساعداً	المدرسة العليا للفلاحة الصحراوية – الوادي	أستاذ التعليم العالي	سفيان سقاي

السنة الجامعية: 2025/2024 /

الإهداء

الحمد لله رب العالمين، له الكمال والوجود وحده، والصلاة والسلام على سيدنا محمد نبيه ورسوله الأمين، وعلى سائر الأنبياء والمرسلين.

أهدي هذا العمل المتواضع

إلى: القدوة ونور حياتي، الذي كرّس حياته لنشر رسالة الله، الحبيب الذي يسكن قلوبنا بذكره، النبي الذي اشتاق إلينا وأحينا لإيماننا به دون أن نراه، والذي سيقول يوم الشفاعة: "أمّتي أمّتي"،

إلى حبيبي المصطفى عليه الصلاة والسلام.

إلى من جعل الله الجنة تحت قدميها وكرّمها في كتابه العزيز، إلى رمز الصدق والوفاء والصبر، إلى نبع الحنان والعطف، التي كانت دائماً السند والعون في أصعب الأوقات،

إلى والدي الحبيبة.

إلى من رسخ في نفسي حب العلم وأسمى القيم، إلى من كان مثلاً للرجولة والقدوة، الذي علمني كيف أواجه الحياة بثبات وشجاعة، إلى من تعجز الكلمات عن التعبير عن امتناني له، إلى من أرشدني ورسم لي طريق النجاح في مسيرتي العلمية والعملية،

إلى والدي الحبيب.

إلى رفيقة حياتي ومصدر سعادتي، التي كانت دائماً بجانبني، تتحمل معي الأعباء وتشارك معي اللحظات السعيدة والحزينة، إلى زوجتي الغالية، أسأل الله أن يجمعنا دوماً على دروب الخير.

إلى ابني الحبيب، نور عيني وأمل مستقبلي، الذي يمنحني القوة والإلهام لمواصلة السعي والتقدم، إلى مستقبلك المشرق بإذن الله.

إلى إخوتي الأعمام، الذين كانوا دائماً الدعم والسند في كل المواقف، والذين عشت معهم أسمى معاني الحب والتشجيع والمواساة.

إلى جميع الأحبة والأصدقاء، الذين قدموا لي يد العون والمساعدة، سواء كانوا قريبين أو بعيدين، في إنجاز هذه الاطروحة

شكر وعرفان

أحمد الله تعالى الذي بنعمته تتم الصالحات، ومن باب "من لم يشكر الناس لم يشكر الله"، أتوجه بخالص الشكر والامتنان لكل من ساهم في إتمام هذا البحث.

أخص بالشكر استاذي البروفيسور **مصطفى عمار**، الذي لم يدخر جهداً في دعمي طوال هذه السنوات. كانت رؤاه الثاقبة، نصائحه السديدة، وتوجيهاته الحكيمة دائمة الحضور، في منزلة الأب الذي أرشدني بعناية واهتمام. مهما قلت، فإن كلماتي تعجز عن التعبير عن امتناني له. أستاذي العزيز، أدامك الله ذخراً للوطن ومنازة للعلم، تشع بنور التقدم بثبات وقوة.

كما يعود الفضل الكبير في إتمام بحثي إلى الدكتور البروفيسور **سفيان سقاي** والدكتور **باوية قيس**. مهما حاولت، لا أستطيع أن أوفيهما حقهما ومكانتهما الرفيعة. لن أنسى فضلهما الكبير في تقديم المشورة والمعلومات التي كانت دعماً أساسياً لي.

أعبر عن خالص الشكر والامتنان للأستاذ الدكتور **سراوي مبروك**، الذي كانت إرشاداته البناءة وجهوده المثمرة جزءاً لا يتجزأ من هذا البحث.

كما أتوجه بشكر خاص للأستاذ الدكتور **دردوس أسامة**، والدكتور **بوعمران علي**، والأستاذ البروفيسور **كاتب سمير**، لجهودهم المخلصة وإرشاداتهم القيّمة التي لم يبخلوا بها، وكانوا دوماً مثالاً للعطاء والكرم العلمي.

أشكر أيضاً جميع أساتذة كلية العلوم التطبيقية وقسم الهندسة المدنية والري بجامعة قاصدي مرباح ورقلة، وكذلك أساتذة كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة أمين العقال الحاج موسى أق أخموك تمنراست، كان لهم الاثر الكبير، بعد الله عز وحل، في تكويني خلال مراحل التعليم العالي.

وفي الختام، أتوجه بالشكر لأعضاء لجنة المناقشة، لكل منهم باسمه، على قبولهم مناقشة هذه الأطروحة.

ملخص

الهدف من الدراسة هو تقييم أيونات الفلوريد وتوزيعها في المياه الجوفية لمنطقة ورقلة وتقرت. بالإضافة إلى ذلك، فإنه يهدف إلى تسليط الضوء على بديل للممتازات المحضرة تقليدياً لاستقطاب أيونات الفلوريد. لهذا الغرض، تم استخدام مسحوق نواة التمر وعظام البقر كطريقة لإمتزاز الفلوريد الموجود في المياه الجوفية. بينت النتائج أن 56 من الآبار التي تم معايرتها تحتوي على تراكيز من الفلوريد تتراوح بين 0,58 و 2,78 مغ/ل، بمعدل 1,68 مغ/ل. بالإضافة إلى ذلك، سجلت 47 % من 56 بئر، تركيزاً للفلوريد يفوق 1,5 مغ/ل. لإعداد المواد الممتازة، تم سحق نواة التمر وعظام البقر إلى أربعة تدرجات حبيبية (50، 200، 500 و 1000 ميكرون)، ثم تحضيرها في درجات حرارة مختلفة تتراوح بين 105 و 400 م°. تم إجراء تجارب الإمتزاز، في شروط ثابتة، لتحديد قدرة الإمتزاز، تم إجراء تجارب بدلالة قطر الحبيبات، درجة حرارة التحضير، زمن التفاعل ووزن المادة الممتازة. أظهرت النتائج أن مسحوق عظام البقر ونواة التمر المجففين طبيعياً، بغض النظر عن التدرج الحبيبي، كانت الأكثر فعالية. متوسط بنسبة إزالة الفلوريد كانت على التوالي 63,24 % و 23,92، قدرة الإمتزاز بلغت 0,75 مغ/غ للمسحوق العظام و 0,304 مغ/غ في نواة التمر، أم الفلوريد المتبقي فكان على التوالي، 0,66 مغ/ل و 1,86 مغ/ل خلال 5 دقائق من التفاعل، على التوالي. أخيراً، كان وزن مسحوق العظام 2 غرام و 1 غرام من النوى كافيين لتخفيض تركيز الفلوريد من 2,78 إلى 0,5 مغ/ل، بالنسبة لمسحوق عظام البقر، وإلى 1,86 مغ/ل، بالنسبة لمسحوق نواة التمر.

الكلمات المفتاحية: الفلوريد؛ الامتزاز؛ المادة المازة؛ نواة التمر؛ عظام؛ مياه جوفية.

Résumé

L'étude menée avait pour objectif d'examiner les teneurs en ions fluorures et leur distribution dans les eaux souterraines de la région de Ouargla et de Touggourt. En outre, elle visait à mettre en valeur une alternative aux adsorbants traditionnellement utilisés pour l'adsorption des ions fluorures de l'eau. Pour cela, des noyaux de dattes et des os de bovins ont été utilisés comme précurseurs pour la préparation des adsorbants. Les résultats ont révélé que les 56 forages échantillonnés avaient des teneurs en fluorure allant de 0,58 à 2,78 mg/l, avec une moyenne de 1,68 mg/l. De plus, 47% des 56 forages ont présenté des teneurs en fluorure supérieures à 1,5 mg/l. Pour préparer les adsorbants, les précurseurs ont été broyés et tamisés en quatre granulométries (50, 200, 500 et 1000 μm), puis séchés à différentes températures allant de 105 à 400 °C. Des expériences d'adsorption, en batch, ont été effectuées pour déterminer la capacité d'adsorption des adsorbants en fonction de la granulométrie, de la température de préparation, du temps de contact et de la dose de l'adsorbant. Les résultats ont montré que la poudre d'os et de noyaux de datte séchées naturellement à température ambiante, quel que soit la granulométrie étaient les adsorbants les plus efficaces. Ces derniers ont permis une élimination moyenne du fluorure de 63,24% et de 23,92% pour la poudre d'os et la poudre des noyaux de dattes, respectivement, une capacité d'adsorption moyenne de 0,75 mg/g pour la poudre d'os et de 0,304 mg/g pour les noyaux de dattes, avec une teneur résiduelle en fluorure de 0,66 mg/l et de 1,86 mg/l en 5 minutes, respectivement. Enfin, une dose de 2 g de poudre d'os et de 1 g de noyaux de datte et un temps de contact de cinq minutes, ont suffi pour réduire la concentration de fluorure de 2,78 à 0,5 mg/l et à 1,86 mg/l, respectivement.

Mots-clés : Fluorure ; Adsorption ; Adsorbant ; noyaux de datte ; Os ; Eaux souterraines

Summary

The study aimed to examine fluoride ion concentrations and their distribution in the groundwater of the Ouargla and Touggourt regions. Additionally, it sought to highlight an alternative to traditional adsorbents for fluoride ion removal from water. For this purpose, Date seeds and Bovine bones were used as precursors to prepare the adsorbents. The results revealed that the 56 sampled wells had fluoride concentrations ranging from 0.58 to 2.78 mg/l, with an average of 1.68 mg/l. Furthermore, 47% of the 56 wells exhibited fluoride concentrations exceeding 1.5 mg/l. To prepare the adsorbents, the precursors were ground and sieved into four granulometries (50, 200, 500, and 1000 μm), then dried at different temperatures ranging from 105 to 400 °C. Batch adsorption experiments were conducted to determine the adsorption capacity of the adsorbents based on granulometry, preparation temperature, contact time, and adsorbent dose. The results showed that Bone powder and Date seeds powder dried naturally at room temperature, regardless of granulometry, were the most effective adsorbents. These achieved an average fluoride removal of 63.24% and 23.92% for Bone powder and Date seeds powder, respectively, with an average adsorption capacity of 0.75 mg/g for Bone powder and 0.304 mg/g for Date seeds, and residual fluoride concentrations of 0.66 mg/l and 1.86 mg/l in 5 minutes, respectively. Finally, a dose of 2 g of Bone powder and 1 g of Date seeds, with a contact time of five minutes, was sufficient to reduce the fluoride concentration from 2.78 to 0.5 mg/l and to 1.86 mg/l, respectively.

Keywords: Fluoride; Adsorption; Adsorbent; Date seeds; Bones; Groundwater

الفهرس

I.....	الإهداء.....
II.....	شكر وعرهان.....
III.....	ملخص.....
IV.....	Résumé.....
V.....	Summary.....
VI.....	الفهرس.....
IX.....	قائمة الجداول.....
X.....	قائمة الأشكال.....
أ.....	مقدمة.....
1.....	الفصل الأول: عموميات حول عنصر الفلوريد.....
2.....	1. مقدمة.....
4.....	2. عنصر الفلوريد.....
5.....	2.3. الخصائص الكيميائية.....
6.....	4. مصادر الفلوريد.....
7.....	1.4. المصادر الطبيعية.....
9.....	2.4. المصادر البشرية.....
10.....	3.4. المواد الغذائية.....
13.....	5. تأثيرات الفلوريد.....
14.....	1.5. تأثيره على الأسنان.....
16.....	2.5. تأثيره على العظام.....
18.....	3.5. تأثيره على الحيوان.....
19.....	6. طرق إزالة الفلوريد في المياه.....
20.....	1.6. الطرق الكيميائية.....
20.....	2.6. الطرق الفيزيائية.....
21.....	7. معايير الفلوريد في مياه الشرب.....
22.....	الفصل الثاني: خصائص منطقة الدراسة.....
22.....	1. مقدمة.....
22.....	2. الموقع الجغرافي.....

23.....	3. خصائص منطقة الدراسة.....
24.....	1.3. جيولوجية منطقة الدراسة.....
25.....	2.3. هيدروجيولوجيا المنطقة.....
26.....	4. الطبقات الجوفية في المنطقة.....
28	1.4. طبقة المياه الجوفية للمتداخل القاري.....
28.....	2.4. طبقة المياه الجوفية لخزان المركب النهائي.....
29.....	5. الفلوريد في مياه منطقة شمال الصحراء الجزائرية.....
32.....	الفصل الثالث: أجهزة وطرق.....
32.....	1. مقدمة.....
32.....	1. أخذ العينات.....
32.....	1.2. مياه الابار.....
35.....	2.2. اختيار المادة العضوية.....
37.....	2. تحضير المصفوفة العضوية.....
40.....	3. معايرة خصائص عينات المياه.....
40.....	1.3. قياس الخصائص الفيزيائية.....
41.....	4. عملية الامتزاز على المصفوفة العضوية (نوى التمر والعظام).....
42.....	5. معايرة أيونات الفلوريد في عينات الماء.....
44.....	الفصل الرابع: نتائج الدراسة.....
44	1. مقدمة.....
44.....	2. تركيز الفلوريد في مياه منطقة الدراسة.....
47.....	3. نزع أيونات الفلوريد من المياه بإستعمال المصفوفة العضوية.....
49.....	1.3. تأثير التدرج الحبيبي.....
49	1.1.3. مسحوق عظام البقر.....
50.....	2.1.3. مسحوق نوى التمر.....
52.....	2.3. تأثير زمن التفاعل.....
52.....	1.2.3. مسحوق عظام البقر.....
57.....	2.2.3. مسحوق نوى التمر.....
61.....	3.3. تأثير كتلة (وزن) مصفوفة الإمتزاز.....
61.....	1.3.3. مسحوق عظام البقر.....

62.....	2.3.3. مسحوق نوى التمر.....
63.....	4. خلاصة.....
64	الخاتمة.....
65.....	توصيات.....
66.....	المراجع
87.....	الملاحق.....
87.....	ملحق 01.....

قائمة الجداول

- جدول 1.1 أهم الخصائص الفيزيائية للفلوريد.....4
- جدول 1.2 الخصائص الفيزيائية لبعض مركبات الفلوريد.....5
- جدول 1.3 بعض التفاعلات الكيميائية لعنصر الفلوريد.....6
- جدول 1.4 نسبة تركيز الفلوريد في بعض المواد الغذائية (Becker & Bruce, 1981).....11
- جدول 1.5 تراكيزات الفلوريد في المشروبات (Kiritsy et al., 1996).....12
- جدول 1.6 إزالة الفلوريد لمياه مناطق جنوب الجزائر (Achour & Youssef, 2001).....20
- جدول 2.1 تغيرات تراكيز الفلوريد في شمال الصحراء (Lounici et al, 2000).....27
- جدول 2.2 نسب الإصابة بالتسمم بالفلوريد في الجنوب الشرقي (Aroua, 1981).....30
- جدول 2.3 تركيز الفلوريد في بعض مياه الجنوب الجزائري (Youcef, 1998).....31
- جدول 3.1 اخذ العينات من المياه الجوفية طبقة الميوليبوسان.....34
- جدول 3.2 اخذ العينات من المياه الجوفية طبقة الألبان.....34
- جدول 3.3 الخصائص الفيزيوكيميائية والمفولوجية لنوى التمر دقلة نور.....63
- جدول 3.4 مختلف نتائج إزالة أيونات الفلوريد من المياه بإستعمال العظام.....37
- جدول 3.5 ملخص البروتوكول التجريبي المعتمد في الدراسة.....41
- جدول 4.1 تركيز أيونات الفلوريد في مياه طبقة الميوليبوسان.....45
- جدول 4.2 تركيز أيونات الفلوريد في مياه طبقة الألبان.....46
- جدول 4.3 تأثير مصفوفة عظام البقر على تركيز الفلوريد (مغ/ل) في المياه.....48
- جدول 4.4 تأثير مصفوفة نوى التمر على تركيز الفلوريد (مغ/ل) في المياه.....49
- جدول 4.5 مردود ازالة الفلوريد على مصفوفة العضوية (مسحوق عظام البقر).....50
- جدول 4.6 مردود ازالة الفلوريد على مصفوفة العضوية (مسحوق نوى التمر).....51
- جدول 4.7 مردود إزالة أيونات الفلوريد على مصفوفة عظام البقر بتدرج حبيبي 50 مك.م.....53
- جدول 4.8 تطور الدليل الهيدروجيني لتفاعل مصفوفة العضوية لعظام البقر والماء المعالج.....54
- جدول 4.9 تطور كمية الفلوريد المستقطب بدالة زمن التفاعل مع مسحوق عظام البقر (50 مك.م).....56
- جدول 4.10 مردود ازالة أيون الفلوريد على مصفوفة نوى التمر ذو قطر 50 مك.م.....57
- جدول 4.11 تطور الدليل الهيدروجيني وكمية الفلوريد المستقطب بدلالة زمن التفاعل مع مسحوق نوى التمر.....60

قائمة الأشكال

- الشكل 1.1. مصدر الفلوريد في الصخور البركانية والرسوبية.....7
- الشكل 1.2. توزيع التركيزات العالية لأيونات الفلوريد في المياه الجوفية(Edmunds & Smedley, 2013).....8
- الشكل 1.3. تسمم الأسنان بالفلوريد(Choubisa S. L., 2022).....15
- الشكل 1.4. التسمم الحاد بالفلوريد(Fluorose osseuse).....17
- الشكل 1.5. المراحل المختلفة لتسمم العظام بالفلوريد.....17
- الشكل 1.6. شكل حاد من التسمم بالفلور السني والعظمي عند الماشية.(Choubisa S. L., 2018; 2013)....19
- الشكل 1.7. طرق ازالة ايونات الفلوريد في المياه المستهلكة.....21
- الشكل 2.1. الموقع الجغرافي للحوض الهيد وجرافي لمنطقة الدراسة.....23
- الشكل 2.2. خريطة مناخية للحوض الهيد وجرافي لمنطقة الدراسة.....24
- الشكل 2.3. خريطة توضح جيولوجيا الحوض الهيد وجرافي لمنطقة الدراسة.....25
- الشكل 2.4. الخريطة الجيولوجية لشمال الصحراء الجزائرية(ORGM 2007).....25
- الشكل 2.5. المقطع العرضي لبنية طبقات الجيولوجية لشمال الصحراء الجزائرية(WEC, 2007).....26
- الشكل 2.6. حدود خزاني المياه الجوفية في منطقة شمال الصحراء الجزائرية(OSS, 2003).....27
- الشكل 2.7. توزيع ايونات الفلوريد في مياه طبقة ميوبولسان في شمال الصحراء(Pierre, 2002).....30
- الشكل 3.1. فليوروز الأسنان بمدينة تقرت.....32
- الشكل 3.2. موقع أخذ عينات المياه بمنطقة الدراسة.....33
- الشكل 3.3. نوى التمر دقلة نور قبل وبعد التنظيف والغسيل.....37
- الشكل 3.4. عظام البقر قبل وبعد التنظيف والغسيل.....38
- الشكل 3.5. عملية تجفيف وتفحيم العينات.....38
- الشكل 3.6. تفحيم المصفوفة العضوية.....39
- الشكل 3.7. مرحلة تحضير عظام البقر.....39
- الشكل 3.8. جهاز متعدد القياسات.....40
- الشكل 3.9. حاضنة الاهتزاز الميكانيكي.....41
- الشكل 3.10. مخطط البرتوكول التجريبي لتحضير المادة العضوية وتخفيض ايونات الفلوريد في المياه.....42
- الشكل 3.11. جهاز معايرة تركيز الفلوريد في مياه الابار.....43
- الشكل 4.1. تطور تركيز الفلوريد (مغ/ل) المتبقي بدلالة قطر مسحوق عظام البقر.....50
- الشكل 4.2. تطور تركيز أيونات الفلوريد (مغ/ل) على مصفوفة نوى التمر.....51

- الشكل 4. 3 تأثير زمن التفاعل على تركيز أيونات الفلوريد المتبقي مع مسحوق عظام البقر المحضر في مختلف درجات الحرارة (50مكم)..... 53
- الشكل 4. 4 تطور الدليل الهيدروجيني وتركيز الفلوريد المتبقي مع مسحوق عظام البقر (50 مكم)..... 54
- الشكل 4. 5 تطور كمية الفلوريد المستقطب والمتبقي على مسحوق عظام البقر (50 مكم)..... 56
- الشكل 4. 6 تطور تركيز الفلوريد المتبقي مع مسحوق نوى التمر (50 مكم)..... 57
- الشكل 4. 7 تطور تركيز وكمية الفلوريد المستقطب والمتبقي على مسحوق نوى التمر (50 مكم)..... 58
- الشكل 4. 8 تطور الدليل الهيدروجيني وتركيز الفلوريد المتبقي بدلالة زمن التفاعل مع مسحوق نوى التمر (50 مكم)..... 59
- الشكل 4. 9 تطور الدليل الهيدروجيني وكمية الفلوريد المستقطب بدلالة زمن التفاعل مع مسحوق نوى التمر (50 مكم).. 60
- الشكل 4. 10 تأثير وزن المادة المازة (عظام البقر) على تركيز الفلوريد المتبقي..... 62
- الشكل 4. 11 تأثير وزن المادة المازة (نوى التمر) على تركيز الفلوريد المتبقي..... 62

مقدمة عامة

المياه الجوفية أكثر صعوبة للوصول إليها مقارنة بالمياه السطحية، مما يزيد من صعوبة مراقبتها وحمايتها. بالإضافة إلى ذلك، فإن الخصائص الهيدروجيولوجية لطبقات المياه الجوفية يمكن أن تؤثر على نوعية المياه الجوفية، وخاصة تمعدنها. تعد جودة المياه أمراً ضرورياً لصحة ورفاهية البشرية. إن وجود مواد ضارة، مثل الفيروسات والبكتيريا والمعادن الثقيلة والفلوريد، على سبيل الحصر، موضوع دراستنا، يمكن أن يسبب أعراض غير مرغوب فيها. عملياً، الفلوريد عنصر ذو حدين (Manipal et al., 2013 ; Goldberg, 2018)؛ فهو ضروري لنمو وحماية أنسجة العظام والأسنان (Kumar & Moss, 2008 ; Aswini et al., 2022) وهو أكثر سمية من الرصاص (Singh & Singh, 2021). وهو بمثابة واقى ضد التسوس (Toumba et al., 2019 ; Munteanu et al., 2022; Epple et al., 2022)، لمنعه تسوس الأسنان (Stangvaltaite-Mouhat, 2021). بالرغم من فوائده (Aoun et al., 2018)، وبسبب المزمعة نادرة نسبياً (Ullah et al., 2022 ; Fu et al., 2022 ; Whitford, 2011 ; Warren & Levy, 2003)؛ فإن تجاوز المعيار المسموح به (1,5 مغ/ل) (WHO, 2006)، يسبب مرض فليوروز (fluorose) الأسنان (et al., 2017)؛ (Edmunds & Smedley, 2013 ; Akuno et al., 2019)؛ (Srivastava & Flora, 2020)، وتصلب العظام (Kurdi, 2016 ; Sellami et al., 2022)؛ (Peicher & Maalouf, 2017 ; Kharouf et al., 2022)؛ ويمكن أن يؤدي أيضاً إلى حدوث مضاعفات عصبية (Duan et al., 2018; Nakamoto & Rawls, 2018)؛ (Guth, 2020)؛ ويسبب تكوين حصوات في المسالك بولية (Korneev et al., 2020) ونقص كلسيوم الدم (Thippeswamy et al., 2021)؛ يسبب اضطرابات في المعدة (Fu et al., 2022 ; Ullah et al., 2017) والتسمم الكبدي (Jimenez-Abou Neel et al., 2018 ; Sayanthooran et al., 2018)؛ ويؤدي إلى نزع المعادن من العظام والأسنان (Li et al., 2016) وانخفاض وظائف الكلى والكبد لدى المراهقين (Malin et al., 2019)؛ وربما يؤدي إلى سرطان العظام (Li et al., 2019) وقد يؤدي حتى إلى الوفاة في الحالات القصوى من التسمم (Martínez-Mier, 2012 ; Bridwell et al., 2019). هذه هي العواقب الرئيسية للمعرضين إلى تراكيز عالية من الفلوريد. بالرغم من عدم تحديد صلة بين الفلوريد والسرطان (Harrison, 2014 ; Blakey et al., 2005)، فقد ربطت بعض الدراسات (Ahada & Suthar, 2017) ارتفاع معدل الإصابة بسرطان العظام بفلورة مياه الشرب. على الرغم من أن أيونات الفلوريد موجودة بشكل طبيعي في المياه (السطحية والجوفية)، إلا أنه يمكن إضافتها أيضاً للمياه الفقيرة من الفلوريد لمنع تسوس الأسنان. ومع ذلك، فإن التعرض المفرط يمكن أن يكون ضاراً. لذلك، لا بد من إزالة الفلوريد من الماء للحفاظ على المستوى الموصى به من قبل المنظمة الصحية العالمية (1,5 مغ/ل).

تغطي المياه أكثر من 70% من مساحة الكرة الأرضية، إلا أن 2,5% منها فقط صالح للشرب (Singh, 2023). في الجنوب الجزائري، المياه الجوفية هي المصدر الوحيد للتزود بالمياه الصالحة للشرب، إلا أن تركيزها من أغلب الأملاح المعدنية (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , F^-)، تحد من صلاحيتها للشرب، مما يستوجب معالجتها، وفق مواصفات المنظمة العالمية للصحة (OMS). يتواجد الفلوريد في المياه بتركيز متفاوتة، حسب الطبيعة الجيولوجية للمياه المخزنة، ويعد أحد العناصر الكيميائية الذي يرتبط بالصحة والبيئة. إن وجود نقص أو فائض في الفلوريد، قد يسبب إلى أعراض صحية غير مرغوب فيها، بينما الجرعات المعتدلة منه مفيدة للصحة. الفلوريد المستهلك يمتص ثم يتوزع بسرعة في الجسم (Susheela et al., 1993 ; Acharya et al., 2005)؛ (Liu Y, 2017 ; Bhatti et al., 2010). إذا تجاوز تركيز الفلوريد المستوى المسموح به، يسبب مرض فليوروز (fluorose) الأسنان، والذي من أخف أشكاله ظهور شرائح بيضاء على السن، أما الشكل الحاد له فتظهر فيه بقع قائمة وخطوط على الأسنان (Warren et al., 2003 ; Chavaissieux et al., 1995). أما في أعلى تركيز تظهر حالة زيادة كثافة العظام وظهور حالات

تشوه فيها (Onyango et al., 2004 ; Veressinina et al., 2001). نشير إلى أن التركيز المسموح به يتغير من 0,7 إلى 1,5 مغ/ل على التوالي عند درجة حرارة بين 12 و 25 م°.

تسمم بالفلوريد مشكلة صحية عالمية، حيث حددت منظمة الأمم المتحدة للطفولة (اليونيسيف) 25 بلدا في العالم، من بينها شرق إفريقيا، الجزائر، غانا، مصر، كينيا، ليبيا، المغرب، تركيا، الهند، الولايات المتحدة الأمريكية استراليا، جنوب شرق كوريا، وشمال الصين (Petroni et al., 2013 ; Weinstein et al., 2003 ; Maheshwari, 2006) والعديد من البلدان ذات التركيز المرتفع من الفلوريد في مياهها الجوفية (Edmunds & Smedley, 2013). الملايين من الأشخاص حول العالم يعانون من تسوس الأسنان (Beltran et al., 2005 ; Gaciri et al., 1993 ; Maheshwari, 2006) بسبب تركيز الفلوريد في المياه وفي النظام الغذائي، مثل التمر، الشاي (Meunier, 1995 ; Messaitfa, 2008 ; Chavaissieux &) والأسماك، وبالتالي يجب تطوير برنامج وقائي لتقليل من حدة التسمم.

أجريت هذه الدراسة في منطقة واسعة (ورقلة، تقرت) حيث تعتبر المياه الجوفية المصدر الوحيد لمياه الشرب ويبدو أنها من بين العوامل الرئيسية للتسمم بالفلوريد في منطقة الدراسة. يعتبر التمر والشاي (الممارسات الغذائية) الغنيين بالفلوريد (Messaitfa, 2008) مصادر إضافية للفلوريد. تظهر هذه المناطق، ذات الكثافة السكانية العالية، أعراض فلوروز الأسنان لدى ساكنة هذه المناطق (Poey et al., 1976).

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة، هو تقييم ومناقشة تركيز الفلوريد في المياه الجوفية والتخلص منه عن طريق مسحوق عظام البقر ومسحوق نوى التمر. سيتم أيضا مناقشة تأثير العديد من العوامل، مثل قطر الحبيبات ووزن المادة المازة وزمن التفاعل، على إمتزاز الفلوريد. عمليا، هناك عدة تقنيات معالجة فيزيائية وكيميائية مختلفة متوفرة، مثل الترشيح النانوي/التناضح العكسي (Moran Ayala 2019) (Wang et al., 2019)، والتبادل الأيوني (Paudyal et al., 2018)، والامتزاز (Ma et al., 2018)، و "dialyse de Donnan" (Boubakri et al., 2014)، والتخثير الكهربائي (Sandoval et al., 2021) والتحليل الكهربائي (Aliaskari et Schäfer 2021) لإزالة الفلوريد من مياه الشرب. ومع ذلك، فإن التكلفة المرتفعة لهذه التقنيات، تحد من استخدامها، خاصة في البلدان النامية، مما يتطلب استبدالها بمواد أكثر كفاءة وأقل تكلفة (Barakat, 2011 ; Kolodynska et al., 2012). لقد اكتسب استخدام مسحوق عظام البقر ونوى التمر كمادة مازة اهتماما كبيرا في مجال إزالة الفلوريد من المياه. ويبدو أنها تقدم الحل البديل، خاصة عظام البقر نظرا لقدرتها القوية على الإمتزاز (Shahid et al., 2020)، وتكلفتها المنخفضة، وسهولة تحضيرها وتجهيدها (Yami et al., 2015). وفي الواقع، يتم سنويا إنتاج ملايين الأطنان من العظام ونوى حول العالم (Alkurdi et al., 2019). وقد لفتت هذه الكمية انتباه العديد من الباحثين لاستغلالها اقتصاديا وعلميا (Yami et al., 2017). قامت العديد من البلدان، مثل تنزانيا (Alphayo & Sharma, 2021)، وتايلاند (Sawangjang et al., 2021)، والبرازيل (Nigri et al., 2017)، بإزالة الفلوريد من مياه الشرب عن طريق الإمتزاز بإستعمال فحم العظام. يتمتع البنتونيت (Annan et al., 2021)، وأوراق الأشجار (Tirkey et al., 2018) والجير (Wang & Reardon, 2001)، بقدرات امتصاص منخفضة (Medellin-Castillo et al., 2007). من ناحية أخرى، يتمتع الألومين (alumine) بقدرته امتصاص عالية جدا ولكن تكلفتها العالية تحد من تطبيقها (Medellin-Castillo et al., 2007). الهدف من هذا العمل هو دراسة حركية امتزاز الفلوريد من المياه الجوفية على مادة مازة محضرة محليا (عظام البقر ونوى التمر).

قسمت هذه الدراسة إلى أربع فصول:

الفصل الأول: يشمل الخصائص الفيزيوكيميائية للفلوريد واثاره على البيئة والصحة،

الفصل الثاني: يتضمن أهم خصائص منطقة الدراسة (ورقلة وتقرت)،

الفصل الثالث: يبرز اهم الأدوات والطرق المستعملة في انجاز هذه الدراسة،
الفصل الرابع: يبرز اهم النتائج المتحصل عليها في تخفيض ايونات الفلوريد في مياه الشروب.

1. مقدمة

يتواجد ايون الفلوريد في الماء بنسب متفاوتة، حسب الطبيعة الجيولوجية للمياه الجوفية، طبيعة الصخور والأحواض الساكنة. دراسة عنصر الفلوريد وآثاره على الصحة العمومية، يستوجب معرفة أهم الطرق الفيزيوكيميائية لمعالجة الفلوريد في المياه المستهلكة.

2. عنصر الفلوريد

الفلوريد (F) باللاتيني "fluere" ، باليونانية "fluere" ، وبالإنجليزية (Fluorine). أكثر العناصر كهرو سلبية والأقل انتشارا في الطبيعة. يصادف بحالة فلزات الفلورسبار (CaF_2)، الفلور أباتيت ($Ca_{10}F_2(PO_4)_6$) والكربوليت (Na_3AlF_6). الفليور، من بين العناصر النشطة في الجدول الدوري. غاز في درجة الحرارة العادية، خفيف الصفرة، شديد الفعالية.

3. الخصائص الفيزيوكيميائية للفلوريد

1.3 الخصائص الفيزيائية

الفلوريد من بين العناصر الكيميائية الأكثر تفاعلاً والأخف وزناً. ينتمي إلى عائلة الهالوجينات ويمتاز بصغر حجم الذرة، حيث يبلغ نصف قطرها 1.36 \AA (Raymond Desjardins, 1990). يحتل في الطبيعة المرتبة 17 بين العناصر، ويشكل ما يقرب 0,6 إلى 0,9% من القشرة الأرضية. في الشروط العادية، للضغط ودرجة الحرارة، يكون الفلور غازا اصفر فاتح اللون، قابل للاشتغال. سام عن طريق الاستنشاق والابتلاع، مؤكسد لجميع المعادن باستثناء الذهب، البلاتين والإيريديوم (Rodier & Coll, 2005). أهم خصائصه الفيزيائية مبينة في الجدول 1.1.

جدول 1.1. أهم الخصائص الفيزيائية للفلوريد

الخصائص الفيزيائية	القيمة
العائلة	الهالوجينات
الرقم الذري	9
الكتلة المولية	19
درجة الانصهار ($^{\circ}C$)	-223
درجة الغليان ($^{\circ}C$)	-187
كمون التثرد (eV)	17,42
كمون الإرجاع (V)	2,87
نصف القطر الذري pm	0,71
نصف القطر الأيوني pm	133

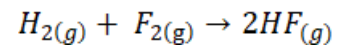
نظائره المشعة، تلعب دورًا مهمًا في الأبحاث البيولوجية، لإستخدامها في متابعة المسارات الكيميائية والبيولوجية وحركة الأيونات (ذات النشاط الإشعاعي)، إلا أن نصف عمرها القصير جدًا، يحد من استخدامها، خاصة في التخصصات الحيوية والعضوية. يعتبر النظير ^{19}F الوحيد الأكثر استقرار لعنصر الفلور في الطبيعة. النظير المشع ^{18}F ، زمن نصف عمره أقصر من ^{19}F بـ 109 دقائق و48,5 ثانية (Weinstein, 1926). من مركبات الفلوريد، فلوريد الهيدروجين (HF)، وهو مركب عديم اللون والرائحة ويتميز في شكله السائل بالسمية الشديدة والتآكل، إذ يتم استغلاله في الصناعات الطبية والبيئية (McLain, 2004). كما توجد العديد من المركبات المفلورة (عضوية وغير عضوية). بعض الخصائص الفيزيائية لمركبات الفلوريد مبينة في الجدول 1. 2.

جدول 2.1. الخصائص الفيزيائية لبعض مركبات الفلوريد

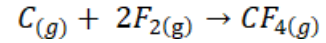
المركب	NaF	KF	MgF ₂	CaF ₂	LiF
درجة الانصهار (م°)	995	856	1263	1418	848,11
درجة التبخر (م°)	1704	1502	2227	2500	1693
الكثافة (غ/مل)	2,79	2,48	-	3,18	2,64
الذوبانية مع الماء 1 غ/100 غ (18م°)	4,22	92,3	$1,3 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-3}$	0,13

2.3. الخصائص الكيميائية

يمتاز الفلوريد بفاعلية كيميائية كبيرة، له القدرة على التفاعل مع جميع العناصر، باستثناء الأكسجين والنيتروجين، لذلك لا يوجد في الطبيعة في الحالة الحرة ولكن مرتبط مع عناصر أخرى في شكل فلوريد (كالسيوم، ألومنيوم، صوديوم، ... إلخ) (Samb, 2004). يمكن أن يشكل الفلور روابط تساهمية وروابط مشتركة مع عناصر أخرى، حرة أو مرتبطة بمركبات معدنية. اكتسابه لخاصية كهروسالبية عالية، يسمح له بالارتباط بالهيدروجين ويعطيه خصائص أكسدة مختلفة تمامًا عن الهالوجينات الأخرى (Cl_2 أو Br_2). يمكن لذرة الفلور أن تحل محل ذرات الهيدروجين وأيونات الهيدروكسيد في الجزيئات، حيث يتفاعل مع الهيدروجين:



وهو الوحيد، من عائلة الهالوجينات، الذي يتفاعل مع الكربون:



يشكل الفلور روابط قوية للغاية مع الكربون، وهي مقاومة للتأثيرات البيولوجية والكيميائية التي يمكن أن تحل محل معظم ذرات الهيدروجين في المركبات الهيدروكربونية. من خصائصه انه يغير خصائص الجزيئات، حيث تم استخدام الفلوريد لصنع جزيئات ذات خصائص مرغوبة. كاستبدال أيونات الهيدروكسيد بالفلوريد، في أملاح الكالسيوم، والفوسفات المشكلة للعظام. بعض التفاعلات الكيميائية لعنصر الفلوريد مبينة في الجدول 3.1

جدول 3.1. بعض التفاعلات الكيميائية لعنصر الفلوريد

التفاعل	معادلة التفاعل
تفاعله مع الماء	$H_2O + F_2 \rightarrow 2HF + 1/2 O_2$
تفاعله مع الزجاج	$SiO_2 + F_2 \rightarrow SiF_2 + O_2$
تفاعله مع الفسفور	$2P + 3 F_2 \rightarrow 2PF_3$
تفاعله مع الكبريت	$S + 2 F_2 \rightarrow SF_4$

4. مصادر الفلوريد

يوجد الفلوريد بشكل طبيعي في قشرة الأرض وفي المياه (Goyer, 1981). يتم تحريره في البيئة، فيما يعرف بدورة الفلور، وذلك عندما تتعرض المعادن في التربة للعوامل المناخية (الأمطار، النحت). يتواجد الفلوريد في الهواء الملوث (Halmer, 2002)، في المياه (Carrillo-Rivera et al., 2002)، في السلسلة الغذائية، في المواد الإستهلاكية ومعجون الأسنان (Liu et al., 2017). النشاط البركاني والنظم الحرارية المائية يمكن أن ينبعث منها الفلوريد (WHO, 2002)، يتواجد في الصخور البركانية، تربة فوسفات الكالسيوم، المياه الجوفية والسطحية وكذلك في بعض الأطعمة (Babayoko et al., 1996). إن وفرته في الطبيعة تزيد من نسبة استخدامه في الصناعة. متوسط الكمية التي يمتصها جسم الانسان، لا تتعدى غالبا نسبة 20% وهو المستوى الذي لا تظهر عنده الآثار الضارة التي عادة ما تكون بارزة على مستوى الهيكل العظمي (Canada, 2001).

1.4. المصادر الطبيعية

أهم مصادر الفلوريد الطبيعية التي تصل للإنسان عن طريق المياه، معظمها جيولوجي (Travi, 1993)، كالمياه الجوفية لخزانات الجرانيت وبعض الأحواض الرسوبية، التي تتضمن أيونات الفلوريد بتراكيز عالية. يصل أيون الفلوريد إلى المياه الجوفية، عندما تذوب المعادن والصخور المحتوية على الفلوريد والتي من بينها معدن الفلوريت (CaF_2) و التوباز ($\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{FOH})_2$) والفلوروباتيت ($\text{Ca}_{10}\text{F}_2\text{PO}_4$) والبيوتاتيت ($(\text{K} \text{ (MgFe)}_3 \text{ (AlSi}_3\text{O}_{10}) \text{ (OH)}_2)$) والمسكوفيت ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) أو المعادن النادرة كالكريوليت (Na_3AlF_6). التركيز الطبيعي للفلوريد في المياه الجوفية، يعتمد على عدة عوامل منها الخصائص الجيولوجية للصخور (WHO, 2006)؛ عند ترشيح صخور الفوسفات، عن طريق إذابة الأباتيت المفلور، بالإضافة إلى التركيب الكيميائي للطبقات التي تتدفق من خلالها المياه الجوفية، خاصة في صخور البركانية (Haimanotet et al., 2006) والأحواض الرسوبية (Pierre, 2002).

تصل نسبة الفلور إلى 0,032% من وزن الطبقات العليا للغلاف الصخري (Fleischer, 1953) من الصخور البركانية والرسوبية (Koritnig, 1951). من أهم فلزاته، فلوريد الكالسيوم (CaF_2) (شكل 1.1)، الذي يحتوي على ما يصل إلى 49% من الفلوريد (OMS, 1972)، الفلوروباتيت ($\text{Ca}_{10}\text{F}_2\text{PO}_4$) وخامة الكريوليت (Na_3AlF_6). يتواجد الفلوريد في الخامات النادرة بتركيز يصل إلى 73% وقل من 0,2% في بعض المركبات (LiF). يختلف متوسط تركيز الفلوريد في الصخور والتربة من منطقة إلى أخرى (Fleischer & Robinson, 1963).



كريوليت (Na_3AlF_6)



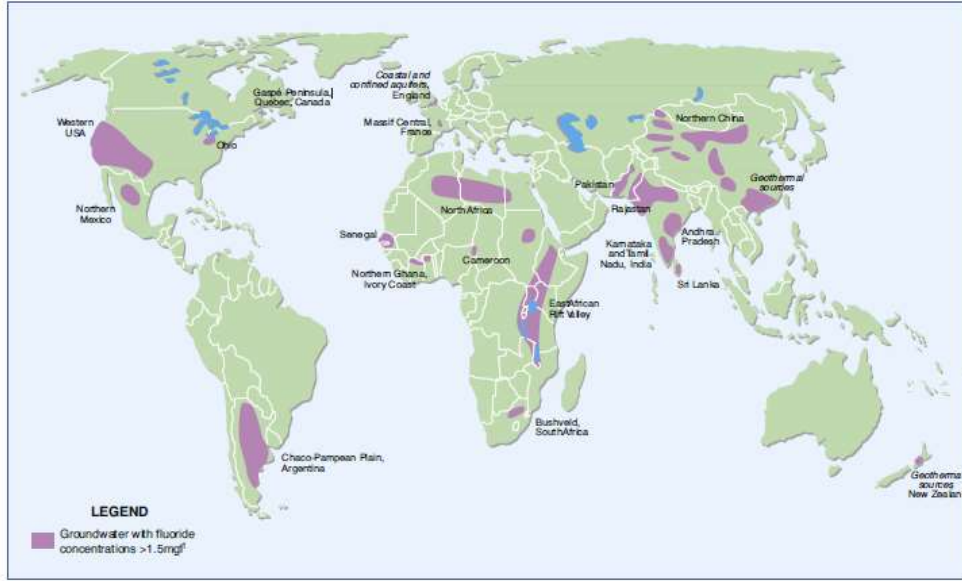
فلورأباتيت ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$)



فلوريت (CaF_2)

شكل 1.1. الفلوريد في الصخور البركانية والرسوبية

يتراوح تركيز الفلوريد في المياه الطبيعية الجوفية والسطحية ما بين 1 إلى 35 مغ/ل (Tripath et al., 2006). يعتبر تركيز الفلوريد (أكبر من 1,5 مغ/ل)، في مياه الشرب، خطر على صحة الانسان. أكثر من 35 دولة حول العالم، لديها تراكيز عالية من الفلوريد في مياه الشرب (Ayoob et al., 2008). تقع هذه الدول في مناطق بها رواسب من أصل بحري، صخور بركانية وصخور جرانيتية كتلك المتواجدة على الخط الجغرافي الممتد من وادي الأردن إلى شرق إفريقيا وآسيا الوسطى عبر منطقة البحر الأبيض المتوسط (الشكل 2.1) (Fawell et al., 2006).



شكل 2.1. توزيع التركيز العالمي للفلوريد في المياه الجوفية (Edmunds & Smedley, 2013)

بعض العوامل (التفاعل المطول، والتلامس بين الصخور والمياه)، تساهم في تغيير تركيزه في المياه الجوفية (Carrillo-Rivera et al., 2002) وترتبط تراكيزه العالية في الماء، بارتفاع نسبة وجوده في الصخور. ينفصل الفلور وسيليكات تمامًا وتنتج أيونات الفلوريد عند مزجها بالماء مع درجة حموضة قريبة من التعادل، كما تنتج حمض السيليك وحمض الهيدروفلوريك وتشكل أيونات الفلوريد التي تنتج بدورها حمض الهيدروفلوريك في الماء وعند إضافة الألمونيوم تشكل معقدات فليورور الألمونيوم المختلفة (Barbier et al., 2010 ; National Research Council US, 2006 ; Morin et al., 2005).

غالبًا ما يحتوي الغلاف الجوي على الفلوريد من مصادر مختلفة. يعد النشاط البركاني أحد المصادر الرئيسية للفلوريد في الغلاف الجوي (Halmer et al., 2002; Symonds et al., 1988). قدر سنويا إجمالي انبعاث غاز HF بين 7000 و 8600 كيلو طن (Halmer et al., 2002). يساهم الغبار، الأبخرة الصناعية، حرائق الفحم بمقدار 1 إلى 7 مليون طن في السنة (OMS, 1972). تؤدي معالجة الفوسفات الخام، إلى انبعاث غاز HF في الهواء ومركب SiF_4 في الماء، لذلك تعتبر مصانع الفوسفات

والأسمدة من المصادر الرئيسية للتلوث بالفلوريد، في حين يكون تركيزه في الهواء منخفضاً جداً (0,05 - 1,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Thomson et al., 1971). كما تعتبر عمليات تصنيع الصلب، الألمنيوم، الزجاج، الطوب والبلاط مصادر محتملة لتلوث الهواء بالفلوريد (Pierre, 2002).

يلعب المناخ أيضا دورا غير مباشر في تحديد مستويات تركيز الفلوريد. في المناطق الرطبة، تنتقل المياه الجوفية بسرعة أكبر من المناطق القاحلة. انخفاض هطول الأمطار، يسبب تدفقا بطيئا نسبيا للمياه في نظام الخزان الجوفي، وبالتالي تزيد محتويات المادة الذائبة (TDS) والفلوريد. تبخر المياه السطحية والتربة المعرضة للتسرب، عاملان مهمان في زيادة تركيز الفلوريد في المياه الجوفية (Pierre, 2002). ان تركيزه في المياه الجوفية هو دلالة على عدة عوامل جيولوجية، كيميائية وفيزيائية كتوفر المعادن المغلورة وقابلية ذوبانها ودرجة الحرارة، سرعة المياه ودرجة الحموضة ومسامية الصخور وتعقيد العناصر الأخرى وعمق الآبار وتركيز أيونات الكالسيوم والبيكربونات الموجودة في المياه (Chandra et al., 1981)، تعمل على تغيير تركيز الفلوريد في المياه الجوفية (Meenakshi et al., 2004). مقارنة بالمياه الجوفية، المياه السطحية يقل فيها تركيز ايونات الفلوريد، حيث يبلغ تركيزه في مياه البحر بـ 1 مغ/ل و بـ 0,5 مغ/ل في البحيرات والأنهار (Fawell et al., 2006 ; WHO, 1970, 2002). يرتبط وجود هذه الشوارد بشكل أساسي بمياه الصرف لوحداث إنتاج حمض الفوسفوريك والأسمدة الفوسفاتية وتصنيع الألمنيوم. الفلوريد المستخدم في مياه الشروب هو فلوريد الصوديوم (NaF) وفلوروسيليكات الصوديوم (Na_2SiF_6) وحمض الفلوسيليسيك ($(\text{H}_2\text{SiF}_6)_2$) (Connett, 2006).

2.4. المصادر البشرية

تنتج المناجم سنويا أكثر من 4,5 مليون طن من الفلوريد، ويقدر الاحتياطي العالمي بـ 500 مليون طن. تحتوي أراضي الصحراء الغربية على أكبر احتياطي، أما كل من الصين، المكسيك وجنوب إفريقيا، فيحتلون الصدارة في إنتاج الفلوريد (Cook et al., 1976). يصل استهلاك الفلوراباتيت ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$)، الآتية من الرواسب الفوسفاتية، التي أغلبها رواسب بحرية قديمة، إلى 130 طن سنويا، حيث تحتل الولايات المتحدة الأمريكية المرتبة الأولى باستهلاك يقدر بـ 32 مليون طن. هذه الكمية تدخل في إنتاج علف الحيوانات وكذا الأسمدة الفوسفاتية والفوسفورية والتي مصيرها التربة لتصل بذلك كمية الفلوريد ما بين 1,5 إلى 3% (McLaughlin, 1996).

تم استخدام مختلف المنتجات المحتوية على الفلوريد للتقليل من تسوس الأسنان (معجون الأسنان، المكملات الغذائية، غسول الفم... إلخ) ومياه الشرب المفلورة. ساهمت الأنشطة الصناعية كتعدين الألمنيوم والمغنيسيوم والمعادن الأخرى (النحاس والحديد والصلب) والزنك والرصاص وإنتاج النيكل واليورانيوم والغراء والمواد اللاصقة والاسمدة الفوسفاتية والبتترول والصناعات التقليدية (الخزف والفخار والزجاج) ومصانع الاسمنت والطوب ومصانع الفلوريد، في زيادة تعرض الانسان لسمية الفلور (Goyer, 1981; WHO, 2002 ; Santé Canada, 2007 ; Marier & Rose, 1977).

تؤدي الأنشطة الصناعية التي تحتوي على الفلور إلى انبعاث الفلور الغازي F والجزئي F₂. في الغلاف الجوي، كنتجيف وطحن وتكلس المعادن. يوجد الفلوريد في مياه الصرف الصناعي بتركيز عالية حيث تنتقل إلى نظام الصرف الصحي إن لم تكن هناك معالجة مسبقة لهذه المياه. ومن مصادره مياه محطات الطاقة التي تعمل بالفحم، وحدات تصنيع الأسمدة، محارق النفايات الصلبة ومياه الصرف لعيادات الأسنان (Ismail & Abdelkareem, 2013 ; 2015).

3.4 المواد الغذائية

يحتوي الشاي والتمر (Baouia, 2017 ; 2014 ; Belmabdi et Messaitfa, 2011; 2008 ; Messaitfa) والأسماك على نسب عالية من الفلوريد على غرار المواد الغذائية التي تحتوي على آثار منه فقط (Safer, 2007 ; Venkateswarlu, 2013 ; Roy & Dass, 1975; Comité, 1979 ; Essebbahi et al., 2023). اعتمدت العديد من الدراسات على التفحيم، في درجة حرارة عالية (550  م)، لأكسد المادة العضوية مع المحافظة على تركيز الفلوريد في المواد الغذائية المختلفة كالبقوليات (Singer & Ophaug, 1986 ; Taves, 1983). يوضح الجدول 4.1، نسبة تركيز الفلوريد في بعض المواد والأطعمة الغذائية.

جدول 4.1. نسبة تركيز الفلوريد في بعض المواد الغذائية (Becker & Bruce, 1981)

[F ⁻] مغ/كغ	المواد الغذائية	[F ⁻] مغ/كغ	المواد الغذائية
4,6	القمح	5,6	البقوليات
5,9	الأرز	2,5	الذرة
3,3	الملفوف	3,7	الحمص
3,4	الطماطم	03,5	المانجو
4,1	الخيار	5,7	الفاكهة
2,0	السبانخ	5,1	الجوافة
5,7	خس	4	اللوز
4,8	البصل	4,4	المكسرات
2,8	البطاطس	5,7	وبذور الكتان
4,1	الجزر	5,1	القول السوداني
2,3	الثوم	60 - 112	الشاي
5	الكركم	0,77 - 1,44	مشروبات
200 - 250	الأملح الصخرية		المشروبات الغازية

أن النسب العالية من الفلوريد في الشاي، الأملاح الصخرية، بعض من الحبوب، المكسرات، والخضر والفواكه (Becker & Bruce, 1981)، يرجع إلى عدة عوامل منها: طبيعة التربة والأسمدة الفوسفاتية ومياه الري المستعملة ودرجة الحموضة.

قدرة امتصاص الفلوريدات، تختلف باختلاف نوع النبات، حيث يمكن لبعض النباتات أن تتركز كميات كبيرة من الفلوريد دون أن تظهر عليها أعراض السمية، بينما يتأثر البعض الآخر بشدة حتى عند كميات صغيرة جداً من هذه الأيونات (WHO, 2002). ثلاثة عوامل تفسر هذا الاختلاف: المكان الذي تتراكم فيه الفلوريدات (على السطح أو في الداخل)، درجة التبادل بين داخل وخارج الصفيحة وانتقال الفلوريدات نحو الأجزاء الطرفية. تمتص النباتات الأكثر حساسية للفلوريد وتنقله إلى المناطق الطرفية بسرعة أكبر من النباتات الأكثر مقاومة له (Goyer, 1981).

الطرق الرئيسية لامتناس الفلوريد في النباتات تكون من خلال الثغور، ومع ذلك يمكن أيضاً أن تلتقطها جذور أو سطح النبات (WHO, 2002 ; Goyer, 1981). عند امتناسها، تتراكم الفلوريدات في الأوراق وهذا ما قد يفسر تواجدها بنسبة عالية في الشاي الذي يحتوي على أعلى نسبة من هذه الأيونات. حوالي 60% من الفلوريدات الموجودة في أوراق النباتات تتكون من رواسب سطحية وتحتوي الفاكهة والبذور على مستويات متوسطة من الفلوريد وتوجد أقل مستوياتها في السيقان مثل الخشب ولحاء أشجار

الصنوبر والخشب الصلب. يؤدي تراكم الفلوريدات في أوراق الشجر إلى تقليل التمثيل الضوئي وزيادة التنفس الليلي وهذا ما يقلل من كمية الكربوهيدرات اللازمة للنمو وإنتاج البذور (Goyer, 1981). كمية الفلوريد في بعض المشروبات مبينة في الجدول 5.1.

جدول 5.1. تركيزات الفلوريد في المشروبات (Kiritsy et al., 1996)

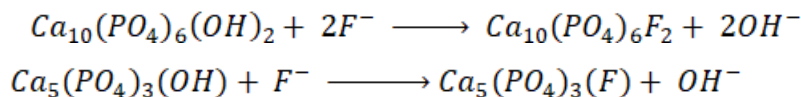
المشروبات	معدل التركيز (مغ/ل)	متوسط التركيز (مغ/ل)	مجال التركيز (مغ/ل)
العنب الأبيض	1,45	1,40	0,15 – 2,80
الشاي	1,41	1,15	0,95 – 2,33
خوخ	1,18	0,79	0,05 – 2,13
التوت البري	0,81	0,92	0,04 – 1,73
الأجاص	0,75	0,54	0,16 – 0,64
العنب الأحمر	0,74	0,47	0,05 – 2,45
الكرز	0,74	0,18	0,12 – 1,71
مزيج العنب والتفاح	0,64	0,42	0,20 – 1,90
مزيج الفواكه	0,57	0,38	0,03 – 2,02
التفاح	0,54	0,32	0,03 – 2,64
البرتقال	0,37	0,13	0,02 – 1,85
الليمون	0,25	0,08	0,03 – 0,84
رحيق الفواكه	0,15	0,14	0,05 – 0,27
الأناناس	0,16	0,09	0,03 – 0,88

5. تأثيرات الفلوريد

استهلاكات الفلوريد، في حدود التركيز المسموح به (1,5 مع/ل)، مفيد لصحة الانسان، حيث أكبر من ذلك قد تؤدي الى الإصابة في الاسنان او الهيكل العظمي عند الأطفال وبالغين (Stepec et al., 2019). يأخذ الفلوريد الممتص عند الانسان شكلين هما: أيونات الفلوريد وحمض الهيدروفلوريك (National Research Council, 2006) ولا يرتبط بأي بروتين أو بلازما (WHO, 2002)، حيث يصل الى الدم عن طريق امتصاصه بواسطة اللثة، المعدة، جدار الأمعاء، الرئتين والجلد (Connett, 2006). يصل معدل امتصاص الجهاز الهضمي لمركبات الفلوريد، القابلة للذوبان، من 90 إلى 95% (Kaminsky et al., 2001). عند امتصاصه في الوسط الحمضي للمعدة، يتحول إلى حمض الهيدروفلوريك (Barbier et al., 2010)، وفي حالة امتصاصه على معدة فارغة، يتم الوصول إلى مستويات قصوى في غضون 30 دقيقة من تناوله، اما في حالة امتصاصه مع الطعام يمكن أن تستغرق العملية أكثر من ساعة (WHO, 2002 ; Kaminsky et al., 2011).

ينتقل الفلوريد داخل الخلايا عن طريق الانتشار غير الأيوني لحمض الهيدروفلوريك، حيث ان جزيئاته الصغيرة ذات معامل نفاذية مماثل نسبياً لمعامل نفاذية الماء، فتعبر بسهولة أغشية الخلايا عبر المسامات. أظهرت الدراسات أن 45% من الفلوريد المستهلك تمتصه الأمعاء ويحدث الامتصاص عن طريق النقل النشط باستخدام البروتينات او من خلال الجهاز التنفسي عن طريق النقل النشط (Barbier et al., 2010). عند المرأة الحامل قد يعبر الفلوريد حاجز المشيمة ويمتصه الجنين (Kaminsky et al., 2011) ويتم دمج في دم الجنين بسهولة في العظام والأسنان (WHO, 2002). عند الأطفال حديثي الولادة، يكون مستوى تركيز الفلوريد حوالي 75% من تركيزه عند الأم (Kaminsky et al., 2011).

ينتقل الفلوريد عبر الدم الى جميع أنحاء الجسم حيث يتم توزيعه في العظام والأسنان، اذ يتسرب ما مقداره 50% من الفلوريد في الأنسجة الغنية بالكالسيوم والباقي في الجسم. يتم دمج أيوناته الموجودة في سوائل الجسم في شبكة العظام عن طريق استبدال أيونات الهيدروكسيل في بلورات هيدروكسيباتيت لتكوين فلوروأباتيت (Kaseva, 2006 ; Rao et al., 2009)، حيث يستقر 99% منه في العظام والأسنان، والباقي يتوزع في الدم عبر الأوعية الدموية والأنسجة (WHO, 2002 ; Kaminsky et al., 2011). يستبدل الفلوريد إحدى مجموعتي الهيدروكسيل أو كليتهما اللتين تمثلهما المعادلتان:



ينخفض تركيزه بشكل كبير على سطح الأسنان ويختلف باختلاف الموقع والعمر والتعرض الموضعي. يكون تركيز الفلوريد في العاج أكبر بمرتين إلى ثلاث مرات مما هو في مينا الاسنان وأكبر في المساحات السطحية كما يزيد مع تقدم العمر ويعتمد تركيزه فيها على تركيزه في المياه المستهلكة (WHO, 2002). فيما يتعلق بالهيكل العظمي، تقوم دورة الامتصاص الكاملة بتخليص الجسم من الفلوريد بمعدل ثلاثة إلى أربع مرات من اجمالي العمر (Kaminsky et al., 2011 ; Connett et al., 2010).

1.5. تأثيره على الأسنان

في بداية القرن العشرين تبين ان تركيز الفلوريد في مياه الشرب، يؤثر على الاسنان، مما يبين وجود صلة بين التسمم بالفلور السني والبقع التي تظهر على مينا الأسنان. كما لم يتم توضيح العلاقة بين الفلوريد الموجود بشكل طبيعي في مياه الشرب وانخفاض انتشار تسوس الأسنان، الا في أوائل الأربعينيات من القرن الماضي. أظهرت الأبحاث انخفاض بنسبة 50 إلى 60% من تسوس الأسنان لدى الأطفال، الذين يعيشون في مجتمعات مياها مفلورة أكثر من 1 مغ/ل مقارنةً بالأطفال الذين يعيشون في المجتمعات التي تحتوي على مياه مفلورة أقل من 0,3 مغ/ل (Kaminsky et al., 2011).

يقل ظهور تسوس الأسنان عند تركيز منخفض من الفلوريد عبر ثلاث آليات: تثبيط التمثيل الغذائي البكتيري وتثبيط التمعدن عند وجود الفلوريد على سطح السن أثناء التحميض كما يحسن إعادة التمعدن عن طريق تكوين طبقة رقيقة ضعيفة الذوبان تشبه الفلوراباتيت ويقوي أيضا العظام ويساعد على منع كسرها عند كبار السن. كما ان ارتفاع معدلات تسوس الأسنان وكسور العظام ترتبط بانخفاض مستويات الفلوريد (Fridriksson, 1983). الوقاية من تسوس الأسنان تتم بشكل نظامي او موضعي ومن الصعب تحديد أي من الاساليب هو الأكثر فعالية، وذلك لان اليات عملها، رغم اختلافها، تعمل بالتنسيق مع بعضها البعض، اين يقوم فيها الفلوريد بتحويل هيدروكسي أباتيت المينا ولوحة الأسنان الى فلوراباتيت (Kaminsky et al., 2011). التسمم بالفلوريد مرض يصيب أسنان الأطفال الذين يتعرضون لزيادة الفلوريد أثناء نمو الأسنان ويظهر المرض على شكل خطوط أو بقع بيضاء فاتحة، وغالبًا ما تكون غير مرئية أو بقع سوداء داكنة، بالإضافة إلى تشققات وأسنان ملتوية (شكل 3.1). تتراوح الفترة الحرجة بين 1 و 4 سنوات وتقل الخطورة عند الاطفال الذين تزيد أعمارهم عن 8 سنوات (Alvarez et al., 2009).



شكل 3.1. تسمم الأسنان بالفلوريد (Choubisa, 2022)

يأثر الفلوريد على هيدروكسيباتيت $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$ ، حيث يقلل من قدرة الفلوريد على الاندماج في بلوراته عن طريق استبدال أيونات الهيدروكسيل (-OH) لتكوين فلوروباتيت $[Ca_{10}(PO_4)_6(F)_2]$ (Santé Canada, 2007). تتكون عند الاستبدال الروابط الهيدروجينية التي يكون ترابطها أقوى بكثير وأقل عرضة للتفكك حيث يعمل هذا على استقرار بنية بلورة السن بشكل كبير ويقلل من قابلية ذوبان هذا الأخير. في الوسط الحمضي مع وجود الفلوريد، تتم إعادة تمعدن مينا الأسنان بسرعة وكفاءة أكبر مع تعزز الفلوريدات وزيادة متوسط قطر بلورات الميناء وهذا يؤدي إلى تصلب البلورات داخل الأسنان أثناء نموها، في حين أن الترسبات البلورية الخارجية أو السطحية تكون موضعية (Kaminsky et al., 2011).

يغير الفلوريد درجة حموضة اللويحات السنية فيثبط نمو وتجمع البكتيريا التي تشكل هذه اللويحات والمعروفة باسم "Streptococcus mutas"، والتي يزعم إمكانية تسببها للتسطن. يتعرض سطح بلورات المينا للتآكل المستمر وإعادة التشكيل أثناء التبادلات الأيونية؛ عندما تكون درجة الحموضة (pH)، على واجهة المينا واللويحة، منخفضا يحدث انحلال بلورات هيدروكسي أباتيت ونزع معادن مينا الأسنان، الذي يتضمن نقل أيونات الكالسيوم والفوسفات من المينا إلى اللويحة؛ بالمقابل عندما يميل pH للتعاقد في واجهة المينا واللويحة، تحدث إعادة التمعدن (Kaminsky et al., 2011 ; Lévy et al., 2007). تحلل السكر البكتيري "تحويل السكريات الغذائية إلى حمض اللاكتيك بواسطة البكتيريا"، يخفض pH عند واجهة مينا الصفيحة ومما يؤدي إلى ذوبان المينا وبظهور التجاويف.

الفلوريد له فوائد صحية للأسنان، إلا أن له آثار جانبية عند تناول جرعات عالية، يجب مراعاة عدة عوامل عند إضافة جرعة الفلوريدات. لتحديد الجرعة المثلى في المياه، مثل العمر، الوزن، صحة الأفراد، مصادر التعرض الأخرى للفلوريدات وكمية المياه

المستهلكة. يصعب التحكم في بعض هذه العوامل، وخاصة كمية المياه المستهلكة؛ حيث يرتبط التركيز والكمية بمتوسط درجة حرارة المنطقة. الأشخاص الذين يعيشون في المناطق الحارة يستهلكون مياه أكثر من أولئك الذين يعيشون في المناطق الباردة ومع ذلك هناك العديد من العوامل الأخرى أيضا التي تؤثر كالعمر وكتلة الجسم ونمط الغذائي والظروف الصحية (مرض السكرى مثلا يستهلكون كمية من الماء أكثر من غير المصابين) (Morin et al., 2005).

2.5. تأثيره على العظام

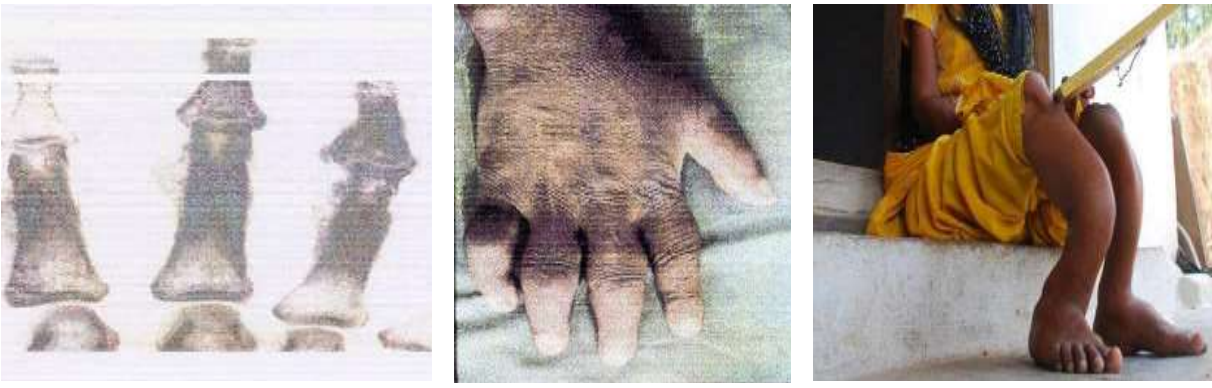
التسمم على مستوى العظام، مرض يسببه التعرض المزمّن لمستويات عالية من الفلوريد (شكل 4.1) حيث يحدث عادة على ثلاث مراحل:

- المرحلة (A): تتميز بالزيادة في كتلة العظام؛ يتم الكشف عنها عن طريق الأشعة السينية وكذا الألم المتقطع وعدم المرونة في المفاصل المصاحبة لتصلب الحوض والعمود الفقري،

- المرحلة (B): تتميز بآلام المفاصل المزمّنة وأعراض التهاب المفاصل والتكلس الخفيف للأربطة وتصلب النسيج العظمي، يترافق أحيانا مع هشاشة العظام الطويلة،

- المرحلة (C): يتميز بالحد من حركة المفاصل والتكلس الشديد للأربطة وتشوهات العمود الفقري والمفاصل الرئيسية وفقدان

كتلة العضلات والمشاكل العصبية المتعلقة بانضغاط الحبل الشوكي (شكل 5.1) (Kaminsky et al., 2011 ; Connett,) (2006).



شكل 4.1. التسمم الحاد للفلوريد (Fluorose osseus)



شكل 5.1. المراحل المختلفة لتسمم العظام بالفلوريد

يتم تخزين 99% من الفلوريد في العظام في شكلين، في الشكل الأول، يخزن جزء صغير من الفلوريدات على سطح بلورات هيدروكسيباتيت، التي تشكل الجزء المعدني من العظام وهو ما يسمح بالتبادل السريع بين أنسجة العظام والسائل خارج الخلية. أما الشكل الثاني، الأكثر انتشارًا في المصفوفة البلورية من هيدروكسي أباتيت، وهو ملح غير قابل للذوبان من فوسفات الكالسيوم الهيدروكسيل الذي يترسب داخل وحول ألياف الكولاجين في الأنسجة الهيكلية. عندما يتم امتصاص الفلوريد في أنسجة العظام، فإنه يحل محل مجموعة الهيدروكسيل (OH^-) في الهيدروكسي أباتيت ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) والتي تصبح فلوروأباتيت ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OHF}$) أو ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$). على عكس الشكل المعتاد لهيدروكسي أباتيت الذي يكون سداسي الشكل، فلوروأباتيت العظم أيضًا له شكل سداسي ولكنه ممدود. قد يكون الاعتقاد السائد بأن الفلوريد المدمج في التركيب البلوري للعظم يجعل منه أكثر استقرارًا، أقوى وأقل قابلية للذوبان في البيئة الحمضية، ومع ذلك فإن العكس هو الصحيح، بل يؤدي إلى تأخير تثبيت التمعدن مما يسبب تدهور بنية العظام مما يزيد من الكثافة وليس في الصلابة، إذ تصبح أكثر هشاشة وأقل مقاومة للكسر (Hallanger Johnson et al., 2007).

حددت دراسة أجريت في تكساس وأوكلاهوما، تضمنت 170000 صورة إشعاعية للحوض والعمود الفقري، على مدى عشر سنوات، انه لم يظهر أي دليل على تصلب العظام في الأشخاص الذين يستهلكون ماء يحتوي على أقل من 4 مغ/ل من الفلوريد، هذا من ناحية. ومن ناحية أخرى، تم الكشف عن 23 حالة من حالات تصلب العظام، لدى الأشخاص الذين يستهلكون ماء يحتوي على 4 مغ/ل الى 8 مغ/ل من الفلوريد (H. Johnson et al., 2007 ; Kaminsky et al., 2011). كشفت الأشعة السينية عن حالات تصلب عظام 10% إلى 15% من الأفراد الذين تعرضوا لمدة 37 عام لمياه مفلورة تحتوي على 8مغ/ل من الفلوريد ومع ذلك لم يلاحظ أي أعراض سريرية لتسمم العظام بالفلور في الدراستين (Johnson et al., 2007; Kaminsky et al., 2011).

التسمم بالفلور العظمي، يعتمد على مدى تركيزه وتراكمه في العظام، حيث يرى البعض ان الفلوريد الموجود في مياه الشرب يساهم في انتشار كسور العظام، وخاصة في الورك، ويرى البعض الاخر، عدم وجود صلة بين تركيز الفلوريد في مياه الشرب وزيادة كسور العظام (Kaminsky et al., 2011). من جهة أخرى أجريت دراسة في الصين لمدة 20 عام اين تم تسجيل نتائج مجموعة 8266 فرد لمدة 25 عام في ست قرى، بتراكيز مختلفة من الفلوريد في مياه الشرب، كما تم تقييم جميع مصادره الأخرى التي قد يتعرضون لها، بحيث كان المصدر الرئيسي هو مياه الشرب. وجد أن انتشار كسور الورك متشابه في المجموعات الثلاث الأقل تعرض للفلوريد، بينما كان الاختلاف كبير بالنسبة للمجموعات الثلاث الأكثر تعرض (WHO, 2002).

3.5. تأثيره على الحيوان

تختلف نسبة الفلوريدات في الحيوانات اختلافاً كبيراً بين الأصناف. التسمم بالفلور السني والعظمي هي نتيجة الاستهلاك لفترات طويلة أو التعرض لنسبة عالية من الفلوريد من خلال مياه الشرب، الطعام والهواء. بشكل عام. يمكن التعرف على التسمم بالفلوريد من خلال ملاحظة تبقع ميناء الاسنان (التسمم بالفلور) وتشوهات العظام (التسمم بالفلور الهيكلي) في الحيوانات (الشكل 6.1). يؤدي التسمم بالفلور الهيكلي إلى تصلب العظام وزيادة سماكتها والذي ينتج عنه تلف هذه الاخيرة وانخفاض في الحركة (Choubisa 2013 ; 2018).

تمتص الحيوانات المائية والبرية الفلوريد من خلال تناول الطعام والماء، كما هو الحال عند الإنسان. يمكن أن تستهلك الخيول والخنزير ما يصل إلى 100مغ/كغ بينما الأغنام هي الأكثر حساسية في استهلاكها بتراكيز حدية تتراوح بين 30 إلى 50 مغ/كغ (Morin et al., 2005 ; Goyer, 1981). غالباً ما يكون استهلاك او امتصاص الفلوريد لدى الحيوانات جزئياً من خلال

تجويد الفم (WHO, 2002). تختلف التأثيرات المرتبطة بالتعرض للفلوريد لدى الاسماك حسب النوع، العمر، والحجم، درجة الحرارة وتركيز الكالسيوم أو الكلوريدات في الماء (Goyer, 1981). الحيوانات الأكثر تضررا من التعرض للفلوريد هي الحيوانات المجترة وخاصة الماشية، ويرجع ذلك أساسًا إلى الكميات الكبيرة من الماء والطعام التي تستهلكها طول فترة حياتها (Choubisa, 2013; 2018)



شكل 6.1. التسمم الحاد للفلوريد السني والعظمي عند الماشية (Choubisa, 2018; 2013)

6. طرق إزالة الفلوريد في المياه

1.6. الطرق الكيميائية

اعتمدت العديد من الأبحاث على عدة طرق لإزالة الفلوريد في المياه:

1. المعالجة كيميائيا (Edgar, 1977 ; Maxime et al., 1996 ; Sebastien, 2002 ; Rabosky, James, &)

(Miller, 1975)، من بينها:

- استعمال الجير (Achour & Youssef, 2001 ; Baouia & Messaitfa 2015 ; Scott et al., 1937 ;

Boruff, 1934). الأعمال التجريبية التي أجريت على المياه الجنوبي الجزائري، أظهرت فعالية إزالة الفلوريد عن طريق الترسيب

الكيميائي مع الجير (الجدول 6.1). استخدمت كميات عالية من الجير للوصول إلى مستويات مقبولة من الفلوريد (Achour &

Youssef, 2011) عن طريق التخثير الدمج (التلييد).

- استعمال كبريتات الألمنيوم، اثبتت أيضا فاعليته في إزالة الفلوريد. فعالية كبريتات الألمنيوم في إزالة الفلوريد من الماء

تعتمد على التحلل المائي لكبريتات الألمنيوم وتكوين راسب $(Al(OH)_3)$ مع القدرة على امتصاص أيوناته (Mazounie &

الارتباط بين كل من الكبريتات وهيدروكسيد الألمنيوم بزيادة نسبة الفلوريد في المياه الخام، المحددة بملي غرام من الفلوريد المرتبط لكل ملي غرام من جرعات الألمنيوم، لخلق تركيز ثابت من الألمنيوم (Mazounie & Moucet, 1984).

2. استعمل كل من التبادل الأيوني (Desjardins, 1997)، والتخثير الكهربائي (Mameri et al., 1988).

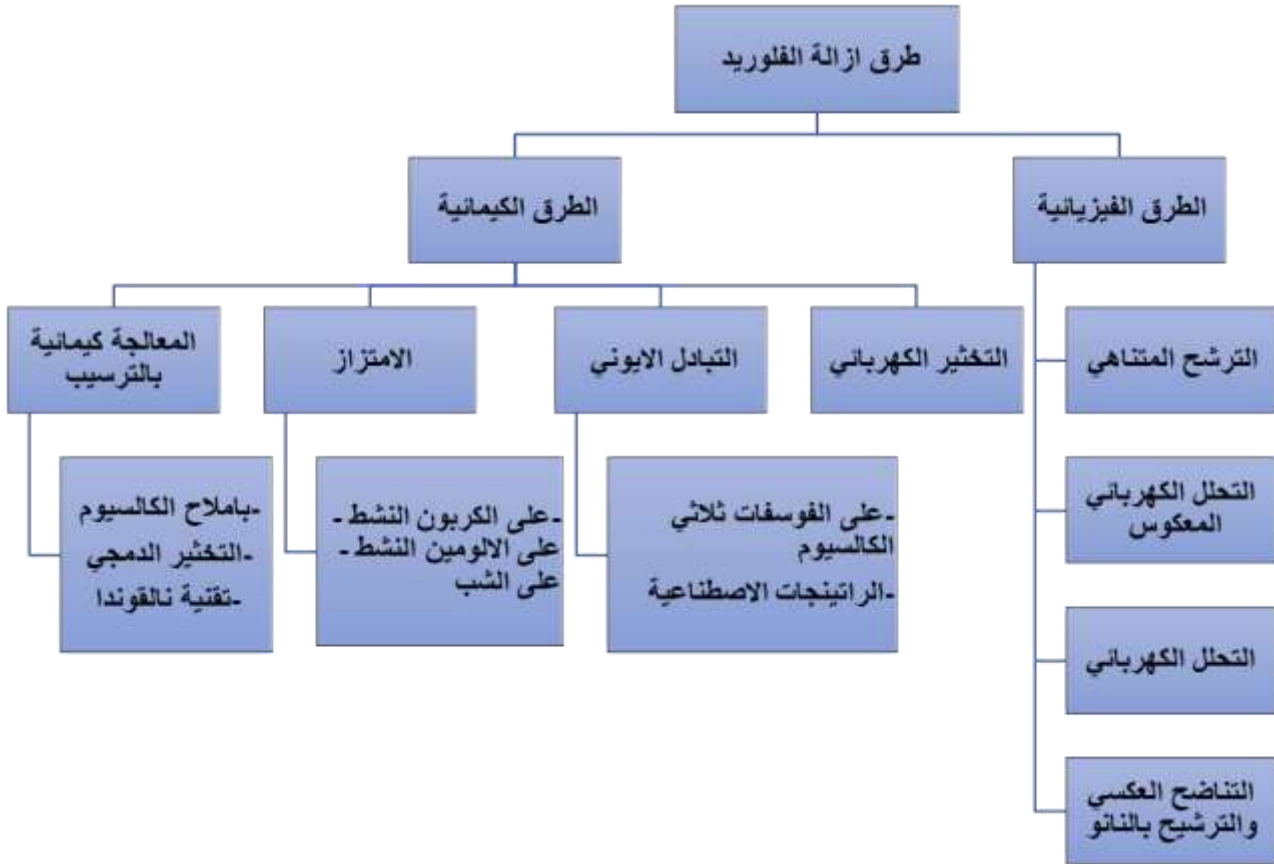
جدول 6.1. إزالة الفلوريد لمياه مناطق جنوب الجزائر (Achour & Youssef, 2001)

العوامل الفيزيائية والكيميائية	منطقة وادي سوف		منطقة بسكرة (الدوسن)		
	المياه الخام	المياه المعالجة	المياه الخام	المياه المعالجة	
جرعة الجير (مغ/ل)	0	300	0	400	
الفلوريد (مغ/ل)	1,92	0,63	2,61	0,41	
المغنيزيوم (مغ/ل)	125	102	134	82	الطرق
pH الفيزيائية	7,8	10,7	7,39	10,42	

الطرق الفيزيائية وتشمل الأغشية (Yang & Dluhy, 2002 ; Farcy et al., 2008)، التحلل الكهربائي (Hichour

et al., 1999) والترشيح المتناهي (Tahaikt et al., 2007 ; Maxime et al., 2003). يوضح الشكل 7.1 أهم طرق

المتبعة لإزالة الفلوريد في المياه.



شكل 7.1. طرق ازالة ايونات الفلوريد في المياه المستهلكة

7. معايير الفلوريد في مياه الشرب

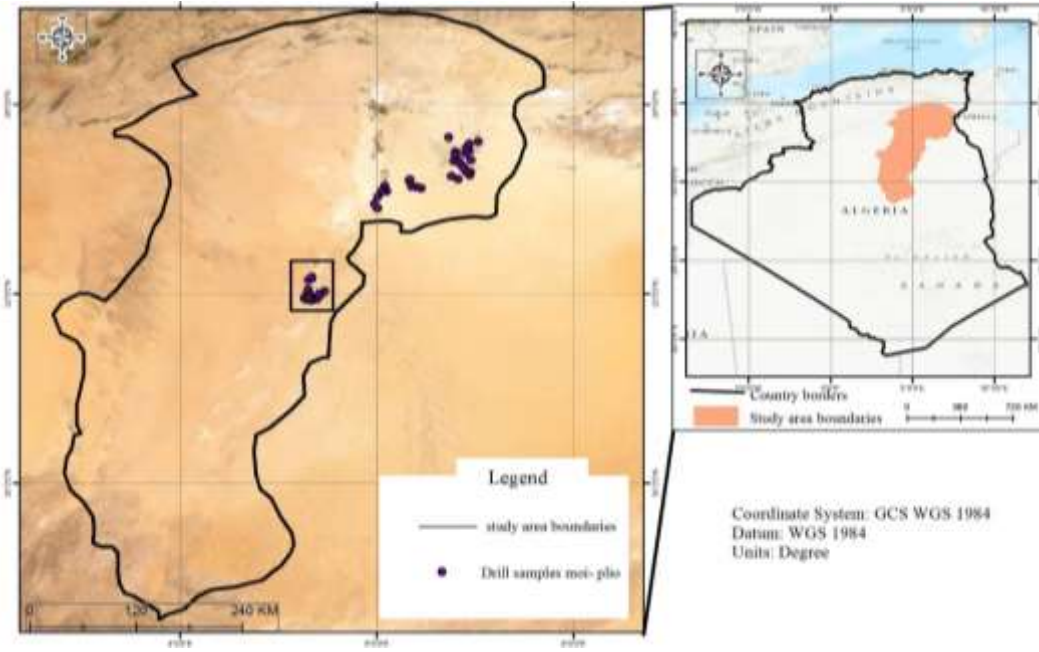
يخضع الفلوريد في مياه الشرب لمعايير دولية ووطنية. حددت المنظمة العالمية للصحة سنة 1972، التركيز المسموح به من الفلوريد في مياه الشرب، بحيث يكون هناك توافق دلالي بين استهلاك للمياه وزيادة في درجة الحرارة. تم وضع هذه المعايير مع مراعاة درجة حرارة البلدان الحارة والبلدان ذات المناخ المعتدل سنة 1985 (الملحق 1). القيمة الإرشادية التي وضعتها منظمة الصحة العالمية لتركيز الفلور المسموح به في مياه الشرب هي 1.5 مغ/ل. قد يسجل حدوث تبقع للأسنان بدرجة ملحوظة عند تركيز 1.5 مغ/ل بينما تتسبب التراكيز بين 3 و6 مغ/ل في تسمم الهيكل العظمي.

1. مقدمة

تغطي الصحراء الجزائرية ثلثي مساحة البلاد، وقد شملتها العديد من الدراسات الجيولوجية (Bel & Demargne, 1966; Busson, 1971; Fabre, 1976; Cornet, 1964; Bel & Cuhe, 1970). على الرغم من طبيعة المناخ شديدة الجفاف، تضم هذه المناطق أكبر احتياطي من المياه الجوفية المتمثلة في المتداخل القاري (طبقة الألبان) والمركب النهائي) طبقة الميوليسان وطبقة التيرونيان وطبقة السينونيان). ركزت الدراسات على تقييم هذا المخزون المائي ومدى استغلاله على المدى المتوسط والبعيد (UNESCO, 1972; Nesson, 1978; Oss, 2003). النوعية الكيميائية لهذه المياه تجاوزت الحد المسموح به لبعض العناصر (Abdellaoui et al, 2023). مشكلة تركيز الفلوريد المرتفع تسبب في مرض فلوروز الأسنان (Messaitfa, 2008; Tabouche, 2004; Kadri et al, 2022) Acharya, (2005; Arbab & Foray, 2005; Chavaissieux & Meunier, 1995) من مياه الجوفية المستغلة في تلك المناطق (Aroua, 1981; Chavaissieux & Meunier, 1995). بالإضافة إلى ذلك، يلعب النمط الغذائي للسكان (تناول الشاي والتمر) دورا مهما في زيادة نسبة الإصابة بفلوروز الأسنان (Chavaissieux & Meunier, 1995; Baouia, 2017; Belmabdi & Messaitfa, 2011; Messaitfa, 2008).

2. الموقع الجغرافي

تقع ولاية ورقلة في الجزء الشمالي الشرقي للصحراء الجزائرية. بين خط طول 5.33 درجة، وخط عرض 31.95 درجة (الشكل 2.1)، وعلى ارتفاع بين 103 و150 م فوق مستوى سطح البحر. يغطي حوضها مساحة 99 ألف هكتار، جزء من المنخفض الصحراوي الكبير، يبلغ طوله 30 كلم، وعرضه يتراوح بين 12 و18 كلم. يمتد بين هضبتين، الأولى تحده من الغرب، ارتفاعها 230م، والثانية من الشرق بارتفاع 160م. متصلة برمال العرق الشرقي الكبير. تحتل الطرف الأدنى من وادي ميا الذي يصرف المنحدر الشمالي من هضبة تاديمات وينتهي في سبخة سفيون، على بعد 20 كم شمال ورقلة (Rouvillos-brigol, 1975).

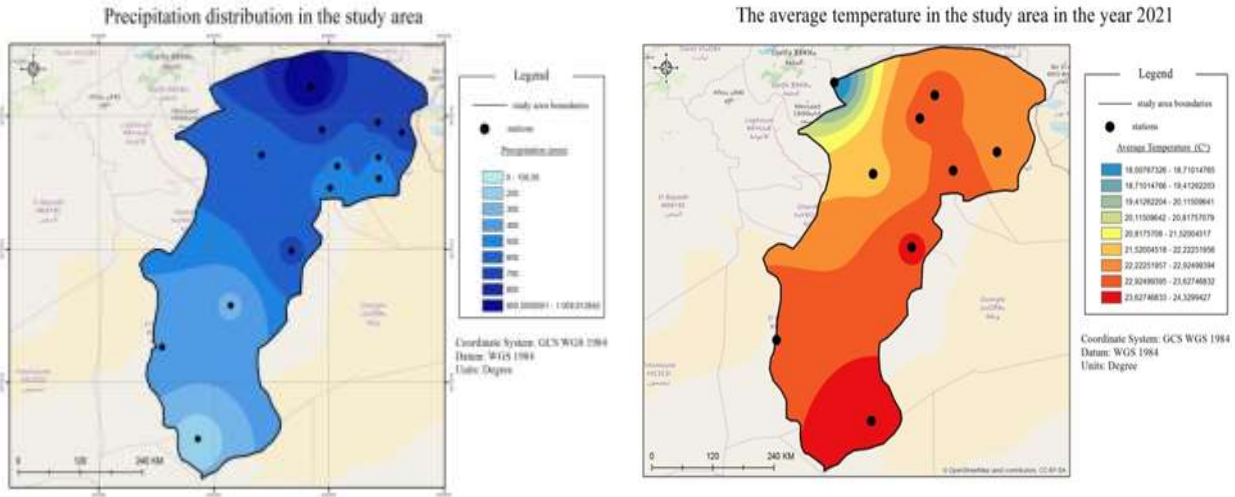


الشكل 1.2. الموقع الجغرافي للحوض الهيدروغرافي لمنطقة الدراسة

3. خصائص منطقة الدراسة

يتميز مناخ المنطقة بالجفاف وتساقطات ضعيفة وغير منتظمة. يوضح الشكل 2.2، الانحدار في هطول الأمطار من الجنوب إلى الشمال، ويعتبر مناخًا جافًا إلى شبه جاف مع ارتفاع درجة الحرارة في منطقة تقرت مقارنة ببقية المناطق. تنخفض درجة الحرارة في الجزء الشمالي الغربي مع اقترابها من سلسلة جبال الأطلس الصحراوي، يزداد متوسط درجة الحرارة في جنوب شرق منطقة الدراسة (الشكل 2.2).

العوامل المناخية تلعب دور مهم في السلوك الهيدرولوجي، بحيث تغذي المياه الجوفية كما تساهم في ري المحاصيل والغطاء النباتي في المنطقة، استخدام عامل هطول الأمطار لتحديد مدى مساهمته في تغيير تركيز الفلوريد في المياه الجوفية Kiran Kumar (Reddy, 2019). في المناطق القاحلة تركيز الفلوريد مرتفع، فتدفق المياه الجوفية يكون بطيئًا وبالتالي زمن التفاعل مع الصخور طويلة بحيث يزداد تركيز الفلوريد في الماء بعد زيادة الذوبان (Rosi, 2000). أما في المناطق المدارية الرطبة، تكون زيادة الفلوريد أقل بسبب ارتفاع الترسيب وتأثيره المخفف على التركيب الكيميائي للمياه الجوفية (Frencken, 1992).

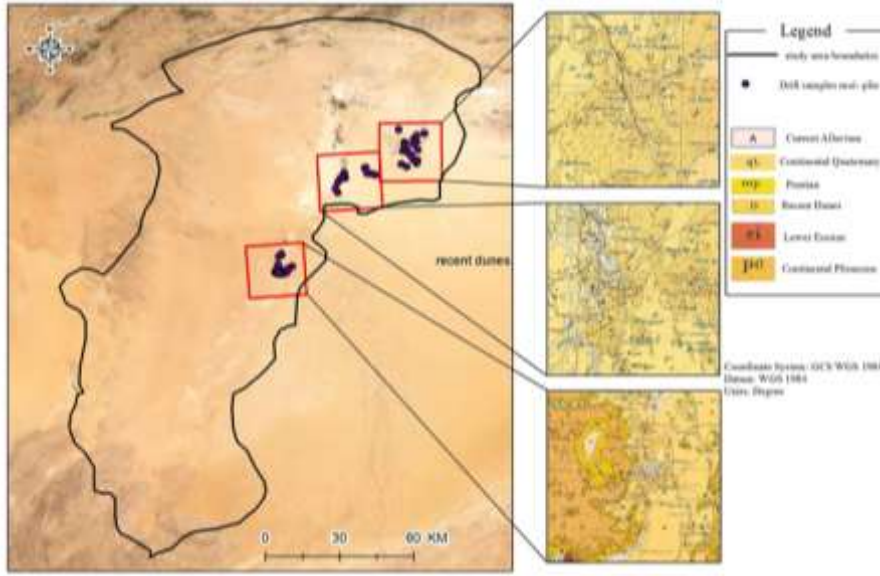


الشكل 2.2. خريطة مناخية للحوض المهد وجرافي لمنطقة الدراسة

1.3. جيولوجية منطقة الدراسة

البنية الجيولوجية عامل يتحكم في توزيع ايونات الفلوريد، يختلف بشكل كبير اعتمادا على نوع الصخور وقابلية الذوبان (Allmann & Koritnig, 1974) ومعادن (الفلوريت، الأباتيت، لجرانيت والميكا) والصخور البركانية والكلسية وطبقات الفوسفات الرسوبية (Frencken, 1992 ; Rosi et al., 2003).

جيولوجيا منطقة الدراسة من العصر ما قبل الكامبري، تتكون القاعدة من صخور متحولة مغطاة بالرواسب (الشكل 2.3)، التركيبية الجيولوجية لشمال الصحراء الجزائرية، يبلغ سمكها آلاف الأمتار، تمتد من العصر الكامبري إلى العصر الرباعي (Busson, 1976; Fabre, 1967; 1970). التكوين الصخري للمنطقة بركاني ومتحول تحت تأثير عوامل التعرية، تعلوها طبقات رسوبية يبلغ ارتفاعها عدة آلاف من الأمتار. يلاحظ أن الغطاء الرسوبي عند مستوى المنخفض يكون سميكًا جدًا في الشمال (6000 م) وينخفض باتجاه الجنوب الغربي (400 م) (Aliev, 1972).



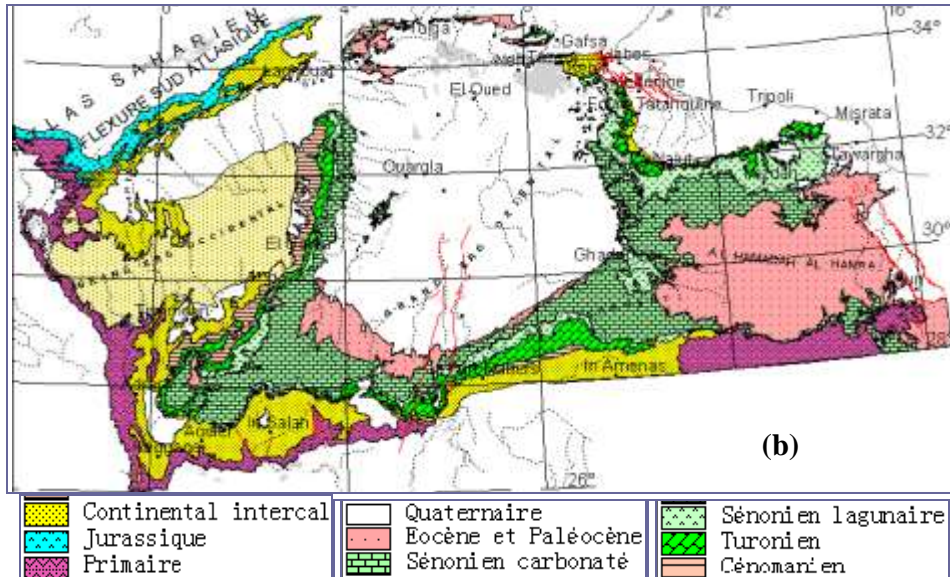
.2.3

الشكل 3.2. خريطة توضح جيولوجيا الحوض الهيدروغرافي لمنطقة الدراسة

هيدروجيولوجيا المنطقة

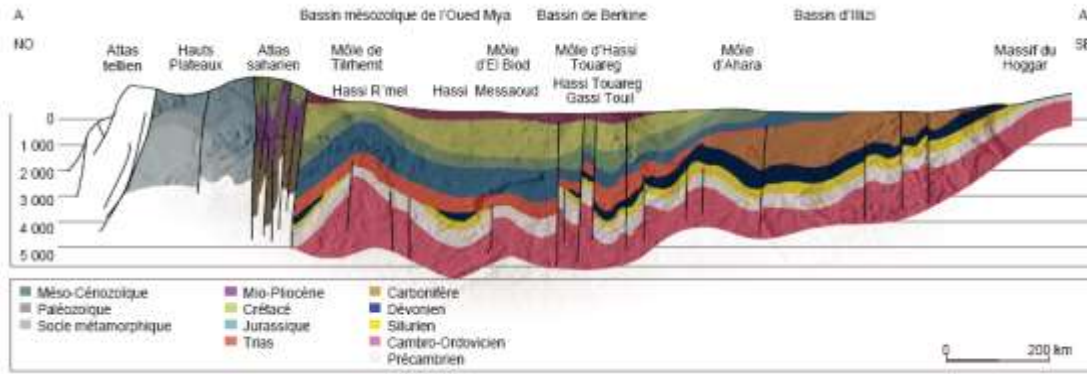
يغطي نظام الخزان الجوفي مساحة 700000 كيلومتر مربع، ويبلغ سمكه ما يقرب من 4000 إلى 5000 متر (Cornet, 1964).

يشمل هذا الحوض سلسلة من طبقات الخزان الجوفي: خزان المتداخل القاري وخزان المركب النهائي (الشكل 4.2).



الشكل 4.2. الخريطة الجيولوجية لشمال الصحراء الجزائرية (ORGM 2007)

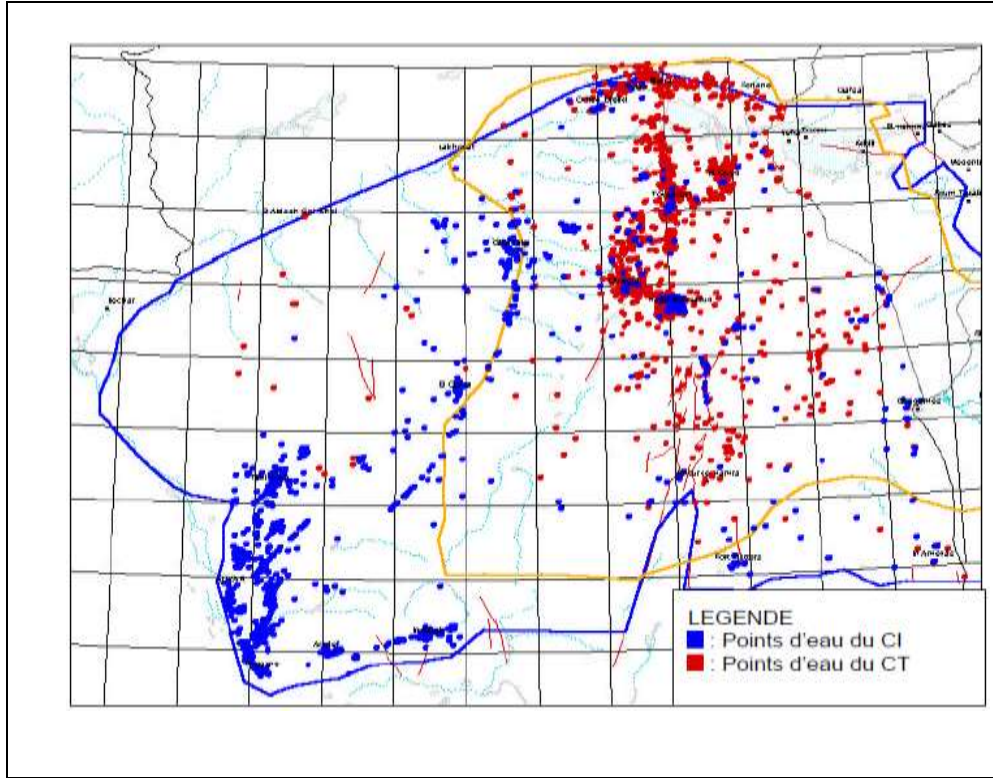
يمثل الشكل 5.2، المقطع العرضي لبنية الطبقات الجيولوجية لشمال الصحراء الجزائرية ((WEC, 2007).



الشكل 5.2. المقطع العرضي لبنية طبقات الجيولوجية لشمال الصحراء الجزائرية (WEC, 2007)

4. الطبقات الجوفية في المنطقة

يتميز شمال الصحراء الجزائرية، بعدة طبقات جيولوجية (WEC, 2007) ذات مخزون مائي كبير، متمثلة في طبقة المتداخل القاري (الالبيان)، المصنف بأحد أكبر الخزانات في العالم (UNESCO, 1972) وخزان المركب النهائي (طبقة الميوليبوسان وطبقة التبرونيان وطبقة السينونيان) (الشكل 6.2)، وفي الجزء العلوي، الخزان الجوفي السطحي (Nappe phréatique) ذات ملوحة عالية (غير مستغلة).



الشكل 6.2. حدود خزاني المياه الجوفية في منطقة شمال الصحراء الجزائرية (OSS, 2003)

الخزان الجوي المصدر الوحيد للتزويد بالمياه للشرب في المنطقة. معظم هذه المياه ذات تركيز عال من أيونات الفلوريد وفقا لمدة التفاعل مع معادن الخزان الجوي، عمق وحركة المياه البطيئة (Rosi et al., 2003). الجدول 1.2 يبين تغيرات تركيز الفلوريد في المياه الجوفية لمنطقة شمال الصحراء.

جدول 1.2. تغيرات تراكيز الفلوريد في شمال الصحراء (Lounici et al., 2000)

[F ⁻](مغ/ل)	[F ⁻](مغ/ل)	المدينة
مياه الطبقة السطحية	مياه طبقة الألبان	
1,00 - 2,20	1,00 - 2,15	ورقلة
1,90 - 4,55	1,00 - 2,15	الوادي
1,75 - 2,10	1,95 - 2,20	بسكرة
0,2 - 1,30	1,10 - 1,25	غرداية

1.4. طبقة المياه الجوفية للمتداخل القاري

مصطلح "المتداخل القاري" تعني حلقة قارية تقع بين دورتين رسوبيتين وهي نوع من التفاعل الجيولوجي بين صفيحتين قاريتين عندما تقتربان أو تصطدمان ببعضهما البعض نتيجة لحركة الصفائح التكتونية. (Kilian, 1931) تتكون هذه الطبقة من تكوينات رملية وطينية من الحجر الرملي للنيوكوميان، الباريميان، الأبتيان والألبان (Cornet & Gouscov, 1964 ; Cornet, 1964)، تعتبر الأكبر مخزوناً مائياً في الصحراء. مساحة الخزان تقارب 600000 كم²، ويمتد على كامل الحوض الرسوبي للصحراء الشمالية، من واد الساوره غرباً إلى الأراضي التونسية والليبية شرقاً، إلى الشمال الشرقي. يزداد العمق من الجنوب إلى الشمال، من 1000 م في الصحراء السفلى إلى 2000 م تحت الشقوق (OSS, 2003)، مما يتسبب في حمل قوي للمياه الجوفية على كامل الحوض الشرقي. يصل تدفق الإمداد لطبقة المتداخل القاري من سفوح أطلس الصحراء إلى 7,7 م³/ثا (Ould baba & Cornet, 1961 ; Margat, 1961 ; Besbes, 2006 ; Ould baba sy, 2005). تقدر بعض الدراسات بين 4 و 8,5 م³/ثا (Besbes, 2006 ; Ould baba sy, 2005). (1990)

- طبقة الألبان، خزان جوفي يتراوح عمقه بين 1600 إلى 1800 م في حوض شمال الصحراء الجزائرية، وتتميز مياهه بدرجة حرارة عالية على رأس البئر (بين 50 إلى 60 م°)، وبملوحة تتراوح بين 1,7 إلى 2 غ/ل (ANRH, 2021). تتكون الطبقة من حجر رملي ناعم رمادي، وأحياناً دولوميت، مع احتوائه على المارل الدولوميت والطين الرملي. وهي المصدر الرئيسي لمياه الشرب في كل من ولايتي ورقلة وتقرت.

2.4. طبقة المياه الجوفية لخزان المركب النهائي

يغطي هذا الخزان معظم حوض شمال الصحراء، على مسافة تزيد عن 350000 كم، ويتراوح عمقها بين 100 إلى 400 م. يتكون هذا الخزان من ثلاث طبقات، من المياه الجوفية، من الأسفل إلى الأعلى نجد، طبقة التيرونيان "Turonian"، طبقة السينونيان "Senonian" وطبقة الميوليبوسان "Mio-Pliocene".

- طبقة التيرونيان تتكون، هذه الطبقة، من الحجر الجيري المتشقق، طبقة مائية جوفية محصورة (Aquifère confiné) بين طبقتين غير نفوذتين من الصخور، مثل الصخور الطينية (Argile) أو الصلصال (Schiste)، التي تمنع تسرب المياه إلى أو من الخزان المائي، ذات سمك يصل إلى 60 م.

- طبقة السينونيان، تفصل هذه الطبقة من المياه عن طبقة مياه الميوليوسان "Mio-Pliocene"، بطبقة شبه نفوذة من الطين الجبسي، وهي ثاني طبقة من المياه الجوفية الارتوازية، وتقع على عمق يتراوح بين 450 إلى 500 م، وبسمك تتراوح بين 120 إلى 280 م. وهي مكونة من الحجر الجيري المسامي مع صوان شديد الصدف ولون رمادي مصفر مع تقاطع بين مارل أبيض ودولوميت. درجة حرارة مياهها في حدود 30 م° على السطح، أما ملوحة مياهها فتتراوح بين 1,7 و 4 غ/لتر.

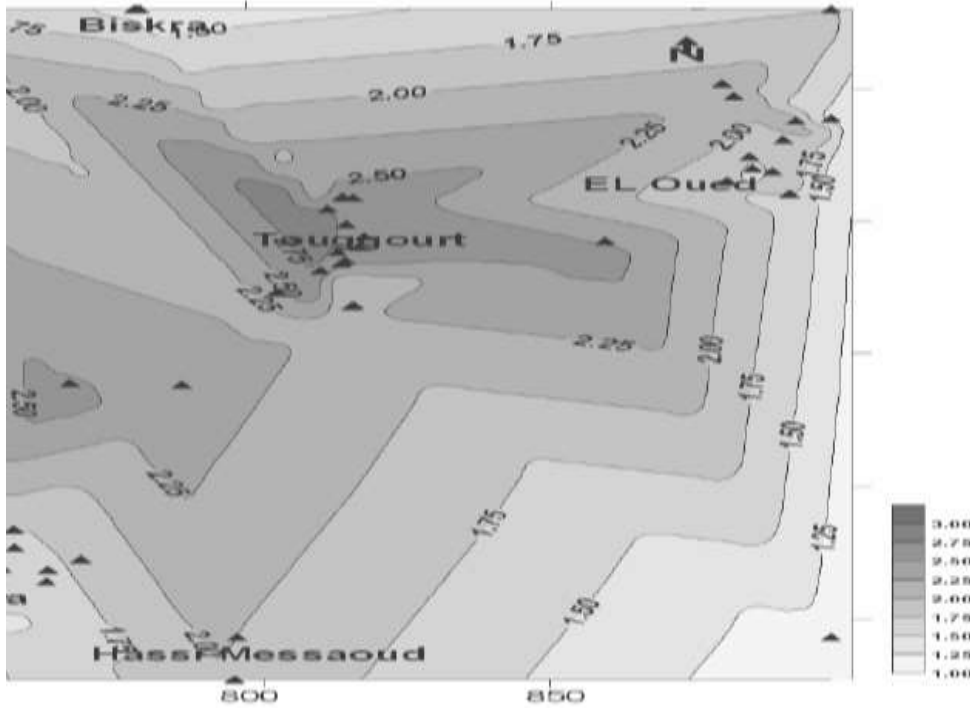
- طبقة الميوليوسان، تقع هذه الطبقة على عمق يتراوح من 70 و 140 م في الجزء الشرقي من شمال الصحراء الجزائرية (شكل 7.2)، وتتكون من الرمل الناعم إلى خشن، مع تقاطع من الحجر الجيري الأبيض الناعم والمارل الرملي والطين الرملي الوردية والحجر الرملي والجبس. درجة حرارة مياهها تتراوح بين 23 و 25 م° وبملوحة تتراوح بين 1,8 إلى 4,6 غ/لتر وتندفق من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي باتجاه شط ملغيغ.

5. الفلوريد في مياه منطقة شمال الصحراء الجزائرية

المياه الجوفية لمنطقة شمال الصحراء الجزائرية ذات تمعدن عالي العديد من الدراسات كانت محل اهتمام لنوعية المياه في الصحراء الشمالية ومشكلة الفلوريد المتزايدة في تلك المناطق (Kadri et al., 2022 ; Abdellaoui et al., 2023) التي بينت أن اغلب مياه آبار تلك المناطق لا توافق في تركيزها ما أوصت به منظمة الصحة العالمية (Achour & Youssef, 2008 ; Messaïtfa, 2001)، يبين جدول 2.2 نسب الإصابة بالتسمم بالفلوريد في الجنوب الشرقي (Aroua, 1981) .

يوضح الجدول 2.2 توزيع ايونات الفلوريد في المنطقة. وفق الدراسات السابقة، تركيز الفلوريد في المياه الجوفية، لمنطقة الجنوب الشرقي، تفوق الحد المسموح به من قبل المنظمة العالمية للصحة (Lounici et al., 2000).

يوضح الشكل 7.2 والجدولين 2.2 و 3.2، توزيع ايونات الفلوريد في المياه الجوفية في شمال الصحراء (منطقة ورقلة، تقرت، واد سوف وبسكرة) بالاضافة الى النظام الغذائي (الشاي والتمر) والطبيعة المناخية للمنطقة، نتيجة إستهلاك الفرد للمياه تزيد نسب تركيز الفلوريد في الجسم، مؤدي بذلك إلى الإصابة بمرض فلبوروز الأسنان بالمنطقة (Baouia, 2017 ; Kadri et al., 2022 ; Messaïtfa, 2008) .



الشكل 7.2. توزيع ايونات الفلوريد في مياه طبقة ميوبولسان في شمال الصحراء (Pierre, 2002)

جدول 2.2. نسب الإصابة بالتسمم بالفلوريد في الجنوب الشرقي (Aroua, 1981)

المنطقة	ورقلة	تقرت	الوادي	المغير	جامعة
النسبة %	44	18	20	45	36

جدول 3.2. تركيز الفلوريد في بعض مياه الجنوب الجزائري (Youcef, 1998)

المنطقة	المكان	طبقة المياه	تركيز لفلوريد (مغ/ل)
وادي سوف	غمرة	مياه الطبقة السطحية	4,30
	كونين	مياه طبقة التيرونيان	1,73
	الصحن	مياه طبقة الاليان	0,80
ورقلة	نقوسة	مياه طبقة الميوبولوسان	1,47
	سكرة	مياه طبقة السينونيان	1,50

0,65	مياه طبقة الأليان	البور	
1,76	مياه طبقة الالبيان	سيدي مهدي	تقرت
3,08	مياه طبقة الميولبوسان	قوق	
0,65	مياه طبقة الالبيان	أولاد جلال	بسكرة
2,41	مياه الطبقة السطحية	الحاجب	
1,33	مياه طبقة الميولبوسان	جنوب العالية	

1. مقدمة

حسب المنظمة العالمية للصحة، تصل نسبة الأمراض المنتقلة بالمياه الى 80 % خاصتا في الدول النامية، وقد سجل 400 مليون شخص مصاب، بشكل دائم، بالتهاب المعدة والأمعاء، و160 مليون بالمalaria (Desjardins, 1997). إن الطلب المتزايد على مياه الشرب جعل العديد من الدول تعتمد على مصادر مختلفة للمياه. في شمال إفريقيا، يعتمد سكان جنوب الشرقي الجزائري، على المياه الجوفية للشرب، التي تتميز بتركيز متفاوتة من أيونات الفلوريد، يضاف إليها طبيعة النمط الغذائي الغني بالفلوريد الذي يتسبب في مرض الفلوروز (Fluorose). هذا المرض "الصامت" يصيب الأسنان والعظام. بين (الشكل 1.3) عينة من الإصابة بفلوروز الأسنان بمدينة تقرت.



شكل 1.3. فلوروز الأسنان بمدينة تقرت

المياه ليست المصدر الوحيد للفلوريد، فهناك الهواء والسلسلة الغذائية (Konieczka and Fouskaki et al 2003 ; Namiesnik, 2000) ومن الصعب تخفيض تركيزه في النظام الغذائي أو منع السكان من استهلاك أغذية غنية بالفلوريد (الشاي والتمر مثلا)، فإن معالجة المياه وتخفيض تركيز الفلوريد هو الحل الوحيد.

2. أخذ العينات

1.2. مياه الابار

عينات لـ 56 بئر تم أخذها من على رأس البئر من خزاني المتداخل القاري (CI)، طبقة الأليان (جدول 2.3) والمركب النهائي (CT)، طبقة الميوليوسان (جدول 1.3) موزعة على منطقة الدراسة (شكل 2.3).



الموقع الجغرافي لموقع رفع العينات

موقع رفع العينة لمنطقة ببرنامج Google Earth مارس-2020

شكل 2.3. موقع رفع عينات المياه بمنطقة الدراسة

أخذ العينات تمت في قنينات بلاستيكية سعة 1,5 لتر. أهم الخصائص الفيزيائية (درجة الحرارة، الدليل الهيدروجيني، الناقلية الكهربائية)، مع تسجيل قيمة الاملاح الذائبة قبل المعايرة، تم وضعها في منظم الحرارة، وفق الخطوات التالية:

✓ ترك الحنفية المتصلة بالمنبع مفتوحة فترة من الزمن لتصريف جميع الاجسام العالقة وازالة الترسبات من اجل اخذ عينة أكثر

تطابقا لمحتوى البئر،

✓ غسل القارورات البلاستيكية جيدا عدة مرات بمياه البئر قبل تعبئتها،

✓ ملئ القنينة بالكامل مع الحرص على عدم ترك حيز للهواء مع احكام غلقها،

✓ وضع ملصق وتسجيل جميع المعلومات الخاصة بالبئر (اسم المنطقة واحداثيات البئر - تاريخ وزمن اخذ العينة)،

✓ وضع العينات في منظم الحرارة وعدم تعرضها لأشعة الشمس،

✓ بإجراء القياس (الدليل الهيدروجيني، الناقلية الكهربائية والاملاح الذائبة) وتركيز الفلوريد في نفس اليوم.

جدول 1.3. رفع العينات من المياه الجوفية طبقة الميولبيوسان

رقم العينة	اسم البئر	احداثيات الموقع	رقم العينة	اسم البئر	احداثيات الموقع
P1	عين الصحن	32.901711° 6.005370°	P24	الزيابنة	31.929254° 5.330695°
P2	قوق وسط	32.901164° 6.007912°	P25	البور	32.94407° 5.203909°

32.136370°	5.281334°	حسي بن عبد الله	P26	32.946293°	5.978255°	بلدة عمر 3	P3
31.574590°	5.231624°	الشط	P27	33.110458°	6.452131°	المور	P4
31.562870°	5.234214°	عين البيضاء	P28	33.043599°	6.233382°	بكاكرة	P5
31.576590°	5.155392°	الخفجي	P29	33.09541°	6.27140°	ليمان	P6
32.828.19°	5.183005°	نقوسة	P30	33.124665°	6.402371°	لعمل	P7
31.585909°	5.252270°	سيدي خويلد	P31	33.086895°	6.058511°	حي النصر	P8
31.571720°	5.202518°	بن ثور	P32	33.05380°	6.24500°	طبيبات وسط	P9
32.103631°	5.202518°	البور 2	P33	33.129532°	6.353812°	ام الزيد	P10
31.599280°	5.195246°	سيدي عتبة	P34	33.195189°	6.328672°	ميه بن علي 1	P11
31.562736°	5.182435°	القطب الجامعي 2	P35	33.200789°	6.340070°	ميه بن علي 2	P12
31.564515°	5.185095°	المخادمة	P36	33.020229°	6.008135°	سيدي عامر	P13
31.565507°	5.191826°	حي 324	P37	33.068417°	6.048013°	بن زوه 1	P14
31.563212°	5.175160°	الجامعة	P38	33.068183°	6.047622°	بن زوه 2	P15
31.59770°	5.165417°	بامنديل	P39	33.077643°	6.099195°	سيدي مهدي	P16
31.561415°	5.165153°	محطة المسافرين	P40	33.078903°	6.051512°	عين صحراء 1	P17
31.57277°1	5.192173°	تزرقرارت	P41	33.077129°	6.045772°	عين صحراء 2	P18
31.581240°	5.184048°	بوعمران	P42	33.080331°	6.046308°	عين الصحراء 3	P19
31.56734°	5.195190°	سكرة 2	P43	33.137726°	6.084526°	الزاوية 1	P20
33.52236°	6.351414°	المستقبل تقرت	P44	31.932001°	5.326830°	بن جلول	P21
31.59755°	5.225417°	سيدي خويلد 4	P45	31.935625°	5.332179°	سكرة	P22
31.59084°	5.245459°	سيدي خويلد 2	P46	31.929340°	5.341268°	حي السلام	P23

جدول 2.3. رفع العينات من المياه الجوفية طبقة الألبان

رقم العينة	اسم البئر	احداثيات الموقع	رقم العينة	اسم البئر	احداثيات الموقع
P47	بن ناصر	33.110680° 6.434287°	P52	بلدة امعر	32.946222° 6.045772°
P48	سيدي مهدي 1	33.057827° 6.103286°	P53	تماسين	32.977841° 5.992682°
P49	المستقبل تقرت	33.117550° 6.024529°	P54	سيدي مهدي 3	33.049768° 6.106629°
P50	سيدي مهدي OND	33.044149° 6.100545°	P55	لحدب	31.920496° 5.363976°
P51	عين الصحراء	33.077129° 6.045772°	P56	عين صحراء 4	33.570440° 6.191421°

2.2. اختيار المادة العضوية

تم استخدام العديد من المواد، النباتية والحيوانية والصناعية، في عملية معالجة مياه الشرب، حيث توجهت العديد من دول العالم الى الاستفادة من مخلفات المادة العضوية وإعادة تدويرها واستغلالها في العديد من المجالات للحفاظ على البيئة وتجنب الأخطار التي تهددها. في إطار البحث الحالي، تم اختيار نوى التمر (دقلة نور) و (عظام البقر)، المتوفرة محليا في منطقة الدراسة، واستغلالها في تخفيض ايونات الفلوريد في مياه الشروب.

← نوى التمر دقلة نور

يتواجد النخيل (*Phoenix dactylifera L*) في جميع أنحاء العالم، بفصائل مختلفة، تصل الى 950 صنف، Rajab, (1975) يدخل في العديد من الصناعات الغذائية المختلفة، إنتاج القهوة والشوكولاتة ومعجون التمر والخل وعصير التمر (Boudechiche et al., 2009)، دقيق القمح اللين (Mustapha Khali et al., 2015)، كما يستخدم كمصدر للطاقة والسرعات الحرارية الغنية بالسكريات والكربوهيدرات والفيتامينات والألياف (Sarfrac et al., 2012). فهو يمثل اقتصاداً قوياً للعديد من البلدان المصدرة للتمور مثل تونس وباكستان (Baloch et al, 2006 ; Al-Abdulhai et al., 2011).

الكربون النشط أكثر المواد مسامية واستخداماً في معالجة المياه. العديد من الدراسات تم نشرها حول تحويل المواد العضوية إلى مواد مازة (Brouwer et al., 1988)، قشر اللوز (Hichour et al., 1999)، قشور البيض (Assami et Messaitfa, 2023)، نوى الزيتون (Stavropoulos et al., 2005)، نواة الخوخ (Norboevna et al., 2020)، نوى التمر (Rambabu et al., 2007); Hazourli et al., 2019 قشور اللوز (Mohan et al., 2011). نوى التمر، المتوفرة في جنوب الجزائري، تم إنتقائها في هذه الدراسة كطريقة بديلة لإزالة أيونات الفلوريد المياه. تم تحضير مصفوفة عضوية نوى التمر وذلك بعد معالجتها. الخصائص الرئيسية لنوى التمر مبينة في الجدول (3.3).

جدول 3.3. الخصائص الفيزيوكيميائية لنوى التمر دقلة نور

عناصر نوى التمر	دقلة نور (mg/100g)	المرجع	محتويات النوى	المجال	المرجع
الكالسيوم Ca	8,38		الرماد	1,08%-0,80	
الفسفور P	3,68	Abdul et al., (2013)	الأس الهيدروجيني	6,12%-5,76	
بوتاسيوم K	9,22		ماء	12,42%-6,37	
مغنيزيوم Mg	7,51		ألياف (مادة جافة)	16,27%-13,54	Khali et al., (2014)
الخصائص المفيولوجية	المجال	المرجع	مواد الدهنية (مادة جافة)	10,39%-8,72	
الوزن (g)	69,1 - 0,6	Açourene et Tama, (1997)	البروتين (مادة جافة)	8,59%-6,51	
القطر (cm)	1 - 58,0		السكريات (مادة جافة)	7,41%-6,02	
الطول (cm)	15, 3-9, 2				

عظام البقر

أطنان من العظام ترمى يوميا في الطبيعة، وهو ما تم التفكير فيه لإستغلاله في ازالة المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Cd, As, Pb, Hg)، والمواد الأخرى الملوثة المياه (Hallagodge et al., 2016). تتكون العظام المكلسة من هيدروكسيباتيت $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$ ، 57 إلى 80% من فوسفات الكالسيوم، 6 إلى 10% من كربونات الكالسيوم و 7 إلى 10% من الكربون النشط (Map Diop, 2011). قبل استخدامها، يتم معالجة العظام عن طريق تجفيفها وتحميمها بالتحليل الحراري (في عدم وجود الأكسجين وفي وسط خامل من النيتروجين الغازي) أو عن طريق التكليس أو الحرق

(في وجود الأكسجين) ويمكن تنشيطه بواسطة مواد كيميائية (Moreno et al., 2010) بالإضافة إلى استخدام مسحوق عظام البقر لإزالة الكاديوم، (Abdulrahman et al., 2015) أو المتكلسة لإزالة الأصبغة من مياه الصرف الصناعي (Haddad et al., 2012 ; 2013)

اعتمدنا في هذه الدراسة على استغلال عظام البقر في نزع أيونات الفلوريد مياه الشرب. يبين الجدول (4.3) بعض الدراسات السابقة على مدى كفاءة إزالة أيونات من المياه باستعمال العظام.

جدول 4.3. مختلف نتائج إزالة أيونات الفلوريد من المياه باستعمال العظام

المرجع	المردود %	زمن التفاعل min	التركيز الابتدائي mg/l	pH	BC
(Ben naser et al., 2011)	80	60	5	7.2	عظام الحبار
(Ismail et al., 2013)	99,7	120	10	7- 6	بودرة عظام البقر
(Abdelkareem et al., 2015)	99,4	120	10	7- 6	عظام الخروف
	99,8	120	10	7- 6	عظام الدجاج
(Kashi, 2015)	88	60	6	6-7	فحم عظام البقر

3. تحضير المصفوفة العضوية

بعد جمع عظام البقر ونوى التمر، تم تحضير المصفوفتين عضويتين (نوى التمر والعظام) مع دراسة درجة الحرارة المثلى لتحضير المصفوفة والتدرج الحبيبي. تم جمع 6 كغ من نوى التمر (شكل 3. 3) و8 كغ من عظام البقر (شكل 3. 4). تشمل عملية تحضير المصفوفة العضوية عدة مراحل.

◀ مرحلة الغسل

تم غسل نوى التمر جيداً بالماء في درجة حرارة 60 م° حتى يصبح ماء الغسيل عديم اللون. خلال هذه المرحلة، تم إزالة جميع الشوائب من العينة، ثم شطف العينات بالماء البارد (3 إلى 4 مرات) وفي الأخير تغسل، ثلاث مرات، بالماء المقطر. أما عظام البقر، فقد تم تنظيفها أولاً جيداً من بقايا اللحم، الدهون والغضاريف. بعد الغسل الجيد بالماء الساخن، عدة مرات، لإزالة الدهون المتبقية ثم تكسيرها يدوياً (شكل 3. 4).



نوى التمر بعد عملية الغسيل والتنظيف



قبل عملية التنظيف والغسيل

شكل 3.3. نوى التمر قبل وبعد التنظيف والغسيل



عظام الأبقار بعد عملية الغسل والتنظيف



قبل عملية التنظيف والغسيل

شكل 4.3. عظام البقر قبل وبعد التنظيف والغسيل

التكليس والتفحيم

يتم تجفيف العينات في فرن (شكل 3. 5 أ) درجة حرارته 105م° لمدة 24 ساعة حتى يستقر وزن العينة. بعد التجفيف (شكل 3. 5)، تم تفحيم العينات (شكل 3. 5 ب) في درجات حرارة مختلفة (200، 400م°)، لفترة زمنية ثابتة. تهدف هذه العملية لزيادة المسامية. بعد التفحيم، تحفظ العينات (شكل 3. 6).



ب. فرن التفحيم (الكربنة)



أ. فرن تجفيف

شكل 5.3. عملية تجفيف وتفحيم العينات



أ. تفحيم نوى التمر



عظام البقر عند 400 م°



عظام البقر عند 200 م°



عظام البقر عند 105 م°

ب. تفحيم العظام

شكل 6.3. تفحيم المصفوفة العضوية

الطحن والنخل

بعد التفحيم، تطحن العينات على مرحلتين الأولى بجهاز طحن ميكانيكي (شكل 7.3 أ)، ثم تتبع العملية بالطحن في جهاز طحن الملاط RM 200 لتدقيق الحبيبات. بعد عملية الطحن، تنخل العينات في غربايل مختلفة الأقطار (شكل 7.3 ب)، للحصول على التدرج الحبيبي



ب. عملية الغربلة



بعد عملية الطحن



أ. عملية طحن العظام

شكل 7.3. مرحلة تحضير عظام البقر

تغسل العينات مرة أخرى بالماء المقطر، عدة مرات، لإزالة الشوائب والفلوريد المحتمل في المصفوفة العضوية. بعد التجفيف في درجة حرارة 105 م°، يتم تخزينها في علب محكمة الإغلاق.

خلال عملية رفع العينات من الآبار المختارة في منطقة الدراسة يتم تحديد الخصائص الفيزيائية للعينات الدليل الهيدروجيني، الناقلية النوعية، درجة الحرارة وTDS، باستعمال جهاز متعدد القياسات المحمول وتم تسجيل إحداثيات الآبار وخصائصها (العمق ونوع الطبقة).

4. معايرة خصائص عينات المياه

1.4. قياس الخصائص الفيزيائية

تم قياس الخصائص الفيزيائية (الناقلية الكهربائية، درجة الحرارة، الدليل الهيدروجيني وTDS) للمياه، باستعمال جهاز "Multi paramètre"، نوع "HANNA HI9829" (شكل 8.3 أ). أما متعدد القياسات، نوع WTW 350 (شكل 8.3 ب)، سمح لنا بتأكيد قياس الدليل الهيدروجيني، بعد ترشيح العينات وفق الخطوات التالية:

- ✓ تشغيل الجهاز وبضبطه،
- ✓ غسل مسرى الجهاز بالماء المقطر مع تجفيفه بالورق الملائم،
- ✓ معايرة الخصائص الفيزيائية لعينات الماء مع الحرص بعدم ملامسة المسرى قاعدة "Becher"،
- ✓ تعاد القياسات ثلاثة (03) مرات للتأكد من المعايرة.



ب. جهاز متعدد القياسات WTW350



أ. جهاز متعدد القياسات HI 9829

شكل 8.3. جهاز متعدد القياسات

5. عملية الامتزاز على المصفوفة العضوية (نوى التمر والعظام)

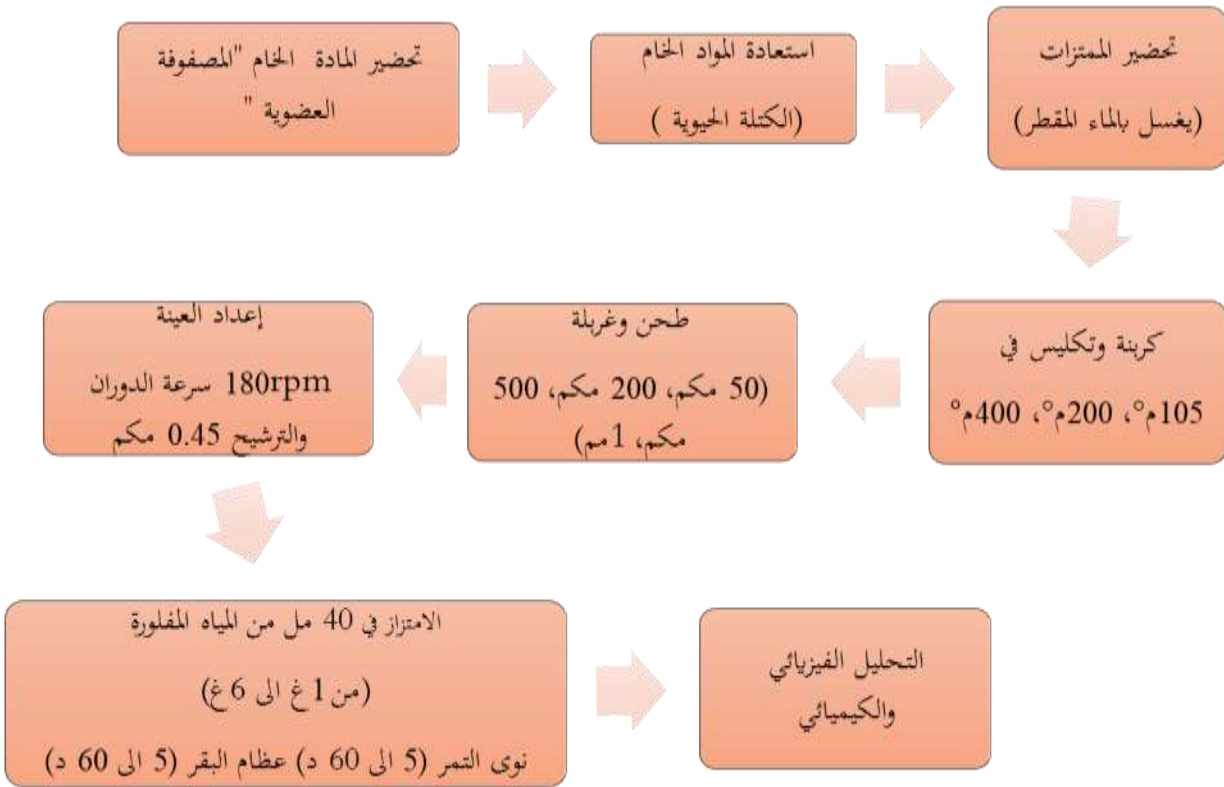
تم إختبار، أوزان من 1 إلى 6 غ، من المصفوفة العضوية المحضرة من نوى التمر وعظام البقر، وقصد تحديد تأثير تغيير الكتلة ذات تدرج حبيبي مختلف (50، 200، 500، 1 مم) في عملية الامتزاز، وضعت في قارورات سعة 125 مل، 40 مل من الماء تركيزه 2.78 مغ/ل من الفلوريد. بعد الرج في حاضنة ميكانيكية (شكل 9.3)، لمدة زمنية مختلفة بين 5

و60 دقيقة، بالنسبة لعظام البقر، ولنوى التمر، في درجة حرارة المختبر. بعد عملية الترشيح، على مرشح مساميته 0,45 مكم، تم تحديد معايير تركيز الفلوريد المتبقي في العينة في الشروط التجريبية. من خلال البروتوكول التجريبي المبين في الجدول 5.3 والشكل 10.3.



شكل 9.3. حاضنة الاهتزاز الميكانيكي
جدول 5.3. ملخص البروتوكول التجريبي المعتمد في الدراسة

المتغيرات	القطر الحبيبي	درجة الحرارة	زمن التفاعل	تأثير الكتلة	pH	سرعة الدوران
زمن التفاعل	ثابتة	متغيرة	متغير	1 غ	7,49	القيمة ثابتة
القطر الحبيبي	متغيرة	متغيرة	ثابتة	متغير		180 دورة/ثانية
درجة الحرارة		ثابتة	متغير	متغيرة		
تأثير الكتلة						



شكل 10.3. مخطط البرتوكول التجريبي لتحضير المادة العضوية وتخفيض أيونات الفلوريد في المياه

6. معايرة أيونات الفلوريد في عينات الماء

يختلف تركيز الفلوريد في المياه، حسب مصدرها. ولتحديد هذا التركيز هناك عدة طرق من بينها طريقة زركونيوم و اوكروم- سيانين-R ، طريقة الاليزاين و نترات الانثان، طريقة الكمونية وهي قياس فرق الجهد او باستعمال مطياف الاشعة فوق البنفسجية (UV)، حيث يحدد التركيز حسب كمية الامتصاص الذي يحدده الجهاز إستنادا إلى اللون الأحمر الدموي الذي يظهر عند مزج العينة مع كاشف SPDNS (Rodier, 1996).

تم تحديد تركيز الفلوريد في العينات، قبل وبعد تجارب الامتزاز على فحم نوى التمر والعظام، باستخدام جهاز الطيف الضوئي "DR 6000" (شكل 11.3)، بناءً على اللون الأحمر الذي يظهر عند خلط العينة مع كاشف SPADNS يكون معقدًا مع أيونات الفلوريد. يختلف هذا اللون تبعًا لتركيز الفلوريد في العينة.



شكل 11.3. جهاز معايرة تركيز الفلوريد في مياه الابار

بعد معايرة وضبط الجهاز المذكور أعلاه، على طول موجة قدرها 580 نانومتر، تم معايرة تركيز الفلوريد في عينة من الماء قدرها 10 مل مضاف إليها 2 مل من كاشف SPADNS. توضع العينة في الخلية ونضغط على القراءة. بعد 60 ثانية، ينبه الجهاز ذاتياً؛ بإظهار تركيز الفلوريد (مغ/ل) على شاشة الجهاز. إذا تجاوز تركيز الفلوريد في العينة عن معايرة الجهاز، تجري عملية التمديد أو التميء بالماء المقطر الخالي من الفلوريد. تم تأكيد من دقة المعايرة بإعادة قياسات التشغيل ثلاثة (03) مرات على الأقل.

تم تحديد كمية أيونات الفلوريد الممتصة عند التوازن لكل كتلة من مادة الامتصاص الحيوي (فحم نوى التمر أو العظام) وفقاً للمعادلة التالية:

$$qe = \frac{(C_0 - Ce) * V}{m}$$

حيث:

m : كتلة المادة الماصة (غ)

V : حجم عينة الماء (لتر)

C₀ : التركيز الأولي للفلوريد في الماء (مغ/ل)

C_e : تركيز الفلوريد في الماء عند التوازن (مغ/ل)

q_e : كمية الفلوريد الممتزة عند التوازن (مغ/غ).

1. مقدمة

يتواجد ايون الفلوريد في المياه بنسب متفاوتة، حسب الطبيعة الجيولوجية للمياه الجوفية، ويعتبر من العناصر السامة عند تجاوز التركيز المسموح به (1,5 مغ/ل). للتقليل من مخاطره، يجب تخفيض تركيزه في مياه الشرب.

2. تركيز أيون الفلوريد في مياه منطقة الدراسة

عينات المياه المدروسة، تم تعبئتها من ستة وخمسون (56) بئرا، ستة واربعون (46) منها تستغل طبقة الميوليبوسان (شكل 1.4)، وعشرة (10) آبار أخرى من طبقة الألبان (شكل 2.4). يختلف تركيز الفلوريد في آبار مياه طبقة الميوليبوسان، حسب الموقع، من 0,58 إلى 2,78 مغ/ل (الجدول 1.4)، بمتوسط 1,62 مغ/ل. من بين جميع الآبار التي تم معايرتها، 13% منها تضمنت تركيز أقل من 1 مغ/ل، و41% احتوت من 1 - 1,4 مغ/ل و 52% من المياه تحتوي على تراكيز أكبر من 1,5 مغ/ل. وفقاً لإرشادات منظمة الصحة العالمية، فإن أكثر من 47% من الآبار مياهها يتراوح فيها تركيز الفلوريد بين 1,5 و 2,78 مغ/ل، متجاوزتا بذلك الحد المسموح به لمياه الشرب (1,5 مغ/ل). في عدم وجود أي تلوث محتمل للمياه وعمق المياه الكبير، فإن تركيز الفلوريد يعكس الطبيعة الجيولوجية للخران الجوي (Tekle-Haimanot et al., 2006)؛ خاصية الذوبان والترسب (Apambire et al., 1997 ; Mohapatra et al., 2009 ; Dar et al., 2011)؛ زمن التفاعل بين الماء والصخور (Carrillo-Rivera et al., 2002; Christophoridis et al., 2015 ; Ali et al., 2019 ; Zhang et al., 2020)، الخصائص الجيولوجية والتركيبية الكيميائية والفيزيائية لطبقة المياه الجوفية (Kim & Jeong, 2005) وعمق المياه المستغلة (Bhagavan & Raghu, 2005 ; Li et al., 2016)، هي سلسلة عوامل التي تساهم في اختلاف تركيز الفلوريد في المياه، من منطقة إلى أخرى. المياه الغنية بالفلوريد نجدها في الأحواض الرسوبية والمناطق البركانية، وقد تساهم درجة الحموضة، درجة حرارة المياه الجوفية وقابلية الذوبان، سمك وتدفق طبقات المياه الجوفية، في زيادة تركيز الفلوريد (Pontie et al., 2006; Rao et al 1988; O.M.S, 1972).

جدول 1.4. تركيز أيونات الفلورايد في مياه طبقة الميولبيوسان

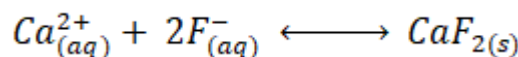
رقم العينة	عمق الابار (م)	تركيز الفلورايد (مغ/ل)	اجمالي المواد الدائبة (مغ/ل)	الاس الهيدروجيني pH	الناقلية الكهربائية (mS/cm)
P1	84,67	1,80	2557	7,25	5113
P2	75	2,25	2488	7,27	5085
P3	92	2,16	2602	7,25	5235
P4	145	1,94	3093	7,42	6171
P5	151	1,97	2052	7,47	5696
P6	149	2,54	2052	7,35	5760
P7	110	1,16	1642	7,23	3281
P8	138,6	0,92	2071	7,32	5738
P9	163	2,19	2010	6,83	5591
P10	173	2,26	3590	7,14	7175
P11	208	2,23	2835	7,22	5662
P12	211	2,37	2812	7,37	5613
P13	103	2,29	3157	7,43	6290
P14	180	2,78	3068	7,49	1363
P15	91	2,33	6098	7,18	1216
P16	102	2,34	3799	7,38	7566
P17	105	2,29	2955	7,34	5883
P18	73	2,40	2715	7,03	5432
P19	80	2,39	2863	8,10	5730
P20	110	2,51	3025	7,10	7658
P21	131	1,51	2081	7,15	4167
P22	175	1,52	1435	7,55	2890
P23	152	1,10	2720	7,18	5425
P24	143	1,11	1275	7,40	2551
P25	161	1,26	2148	7,37	2930
P26	168	0,98	1985	7,27	3640
P27	175	0,92	2345	7,25	2746
P28	174	0,58	1872	7,33	2383
P29	168	1,13	2678	7,45	2970
P30	168	0,74	2103	7,64	3170
P31	145	1,06	3112	7,32	3683
P32	162	1,08	2845	7,63	3500
P33	107	1,49	3479	7,32	4300
P34	138	1,74	2586	7,63	3623
P35	110	1,19	2349	7,66	2873
P36	162	1,32	3148	7,27	4400
P37	170	1,09	2357	7,05	4425
P38	146	1,03	2345	7,35	3950
P39	168	1,35	2874	7,33	2490
P40	151	1,28	2987	7,34	3245
P41	123	1,46	3159	7,35	2372
P42	168	1,15	2035	7,16	2381
P43	177	1,34	3678	7,24	3385
P44	153	0,89	2034	7,15	2900
P45	147	1,57	4521	7,21	4375

بالنسبة لمياه طبقة الألبان (جدول 2.4)، فإن تركيز الفلوريد في المياه، أقل من الحد الأقصى المسموح به (1,5 مغ/ل). أقل تركيز (0,78 مغ/ل) تم تسجيله في بئر بلدة عمر (P52) وأكبر تركيز (1,29 مغ/ل)، في بئر سيدي مهدي 3 (P54)، بمتوسط 1,02 مغ/ل. بالرغم من أن تركيز الفلوريد أقل من الموصى به من قبل المنظمة العالمية للصحة، فإن طبيعة المنطقة مناخيا (حرارة مرتفعة صيفا) ونمط غذاء (الشاي والتمر على الخصوص، الغنية بالفلوريد)، يعتبر هذا التركيز غير مناسب لسكان المنطقة (Messaitfa, 2008 ; Belmabdi & Messaitfa, 2011 ; Baouia, 2017 ; Essebbahi et al., 2023)

جدول 2.4. تركيز أيونات الفلوريد في مياه طبقة الألبان

رقم العينة	عمق الابار (م)	تركيز الفلورايد مغ/ل	اجمالي المواد الذائبة (مغ/ل) TDS	الاس الهيدروجيني pH	الناقلية الكهربائية (mS/cm)
P47	1800	0,92	1476	6,35	3011
P48	1779	1,11	2013	7,23	1779
P49	1800	1,00	1987	7,42	3306
P50	1785	1,17	1567	7,33	3053
P51	1799	1,19	1485	7,25	3015
P52	1780	0,78	1853	7,57	7658
P53	1800	1,01	2159	7,89	2524
P54	1760	1,29	2241	7,66	2870
P55	1335	0,82	1897	7,26	2524
P56	1798	0,94	2456	7,65	2717

علاوة على ذلك، نسجل أن توزيع أيونات الفلوريد، تبين فرقا واضحا من الجنوب الشرقي باتجاه الشمال الشرقي، لمنطقة الدراسة. يزداد التركيز من 0,58 مغ/ل، في بئر P28، منطقة ورقلة، إلى 2,78 مغ/ل، في بئر P15، منطقة تقرت. تتركز النسب العالية شرق منطقة تقرت، مما يعني أن الطبيعة الجيولوجية والكيميائية والفيزيائية للمنطقة، والتمعدن العالي للمياه، هي العوامل المحتملة في تغيير التركيز. وجود معادن قابلة للذوبان في الماء، خاصة أيونات الكالسيوم والبيكربونات، لها تأثير على زيادة أو نقصان تركيز الفلوريد في المياه (Chandra et al., 1981). نرجع سبب التركيز المنخفض الى درجة حرارة المياه المرتفعة (54 و 61 م°)، التي تسبب في ترسب الفلوريد، وفقا للمعادلة الكيميائية التالية:



علاوة على ذلك، فإن المياه الجوفية المدروسة من النوع الخشن (dures) وتميل إلى الاعتدال بطبيعتها. تراوحت درجة الحموضة بين 6,35 (جدول 2.4) إلى 8,10 (جدول 1.4) وهي ضمن الحدود الموصى بها من قبل منظمة الصحة العالمية (7 و8,5 وبين 6,5 و8,5). بعض الدراسات بينت ان المياه الجوفية في المناطق التي بها تركيز عال من الفلوريد، تتميز بدرجة حموضة عالية، عبارة عن بيكربونات قلوية، مع دليل هيدروجيني أقل من 8,3 (Edmunds et al., 2003 ; Bouchahm et al., 2008). وهذا يختلف مع النتائج التي تم تسجيلها، في منطقة الدراسة، والذي يمكن ان نرجع سببه إلى العصر الجيولوجي لهذه المياه، مما سمح لها بمرور الزمن ضبط حموضتها، قد يكون بسبب ذوبان الحجر الجيري او ارتفاع درجة حرارة الماء وانبعث ثاني أكسيد الكربون (CO₂). الناقلية الكهربائية (EC) عالية وهي تعبر عن تمعدن المياه الكبير الذي يتجاوز معايير المنظمة العالمية للصحة (1000 مغ/ل) (WHO, 1994). يصل الحد الأقصى إلى 7658 mS/cm والحد الأدنى إلى 1216 mS/cm. تكشف هذه النتائج عن التمعدن الكبير لهذه المياه التي يصل فيها اجمالي المواد الذائبة (TDS) إلى 6098 مغ/ل، في مياه طبقة الميوليبوسان، نرجع ذلك إلى عدة عوامل منها البيئة الجيولوجية للمنطقة كما بينته الكثير من الدراسات (Pierre, 2002).

3. نزع أيونات الفلوريد من المياه بإستعمال المصفوفة العضوية

تم تحضير مجموعة من عينات مياه بئر بن زوه 1 (P14)، بمنطقة تقرت، لاحتوائها على أكبر تركيز الفلوريد (2,78 مغ/ل)، بهدف تخفيض ايونات الفلوريد بإستعمال مصفوفتين عضويتين (مسحوق عظام البقر و/أو نوى التمر) مع تغيير مختلف العوامل المؤثرة على كفاءة الامتزاز (التدرج الحبيبي، درجة حرارة تحضير المصفوفة، زمن التفاعل ووزن المصفوفة الممتزة). تم في عبوات بلاستيكية، سعة 50 مل، مزج 40 مل من مياه بئر بن زوه 1، ذو تركيز 2,78 مغ/ل من أيونات الفلوريد مع 1 غ من نوى التمر و/أو عظام البقر، ذات تدرج حبيبي متغير (50، 200، 500 و 1000 ميكرو متر). بعد زمن التفاعل (5 إلى 60 دقيقة) وتحت رج بسرعة 180 دورة/دقيقة، تم ترشيح العينات، بإستعمال غشاء مساميته 0,45 ميكرو متر، تم معايرة الدليل الهيدروجيني وتركيز الفلوريد المتبقي في مياه كل عينة (جدول 3.4 وجدول 4.4).

جدول 3.4. تأثير مصفوفة عظام البقر على تركيز الفلوريد (مغ/ل) في المياه

درجة تحضير عظام البقر (م)	زمن التفاعل (دقيقة)						القطر الحبيبات (µm)
	60	40	20	10	5	0	
	تركيز أيونات الفلوريد (مغ/ل)						
تجفيف طبيعي	0,90	0,85	0,84	0,68	0,66	2,78	50

105	0,88	0,86	0,92	0,97	0,94	2,78	200
	1,02	1,01	1,19	1,18	1,15	2,78	500
	1,14	1,12	1,33	1,44	1,35	2,78	1000
	1,03	1,11	1,23	1,21	1,43	2,78	50
	1,04	1,03	1,02	1,02	1,16	2,78	200
	0,95	1,10	1,04	0,94	0,99	2,78	500
	1,47	1,53	1,61	1,69	1,68	2,78	1000
200	2,01	2,04	1,94	1,99	1,86	2,78	50
	1,95	1,93	1,84	1,83	1,74	2,78	200
	1,89	1,76	1,70	1,70	1,79	2,78	500
	2,00	1,82	1,75	1,67	1,84	2,78	1000
400	0,93	0,91	0,97	0,96	0,97	2,78	50
	0,95	1,07	0,89	0,93	1,15	2,78	200
	0,94	0,98	1,15	1,46	1,31	2,78	500
	1,01	1,04	1,02	1,31	1,44	2,78	1000

جدول 4.4. تأثير مصفوفة نوى التمر على تركيز الفلوريد (مغ/ل) في المياه

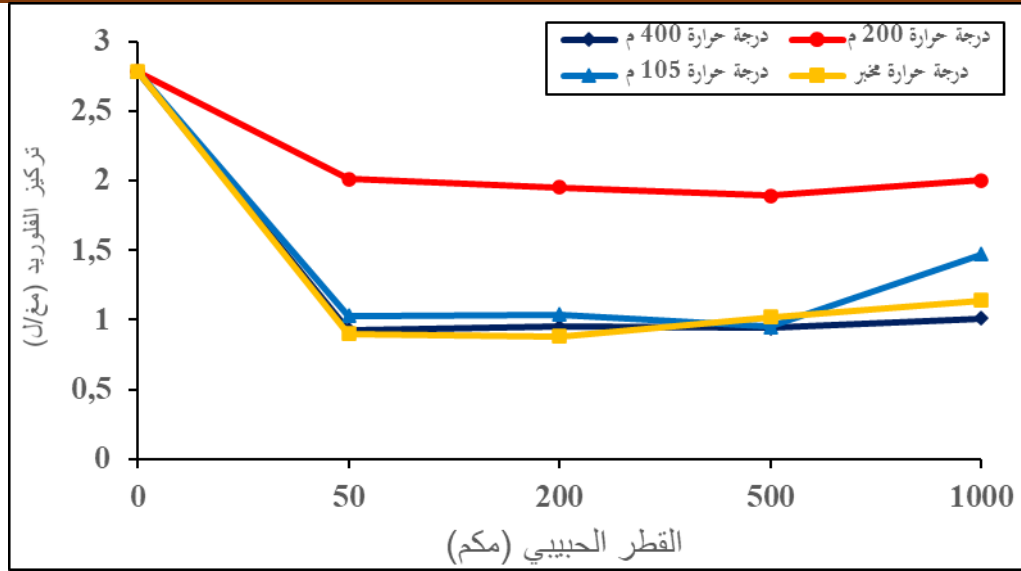
درجة تحضير نواة التمر (م°)	زمن التفاعل (دقيقة)						القطر الحبيبات (µm)
	60	40	20	10	5	0	
105	تركيز أيونات الفلوريد (مغ/ل)						50
	2,07	2,06	1,96	2,00	1,86	2,78	200
	2,01	1,97	1,77	1,80	1,76	2,78	500
	1,14	1,17	1,16	1,30	1,15	2,78	1000
200	2,09	1,99	2,00	2,04	1,98	2,78	50
	2,44	2,40	2,27	2,29	2,35	2,78	200
	2,35	2,31	2,38	2,28	1,94	2,78	500
	2,30	2,18	1,35	1,32	1,87	2,78	1000
400	2,23	1,99	1,85	2,01	1,97	2,78	50
	2,27	2,21	2,39	2,27	2,04	2,78	200
	1,86	1,83	1,80	1,78	1,96	2,78	500
	2,30	2,22	2,30	2,36	2,29	2,78	1000

1.3 تأثير التدرج الحبيبي

1.1.3 مسحوق عظام البقر

تم إجراء تجارب الامتزاز باستخدام مسحوق بأربعة تدرجات حبيبية (0,05، 0,2، 0,5 و 1 مم)، محضرة في مختلف درجات الحرارة (مجففة طبيعياً، 105، 200 و 400 م°). تم مزج 1 غ من الممتز (مسحوق عظام البقر) مع 40 مل من المياه الجوفية بتركيز 2,78 مغ/ل من الفلوريد، في درجة حرارة المخبر (25 م°). بعد 60 دقيقة من الرج، تم ترشيح العينات ومعايرة تركيز الفلوريد. يبين الشكل 1.4 تركيز الفلوريد المتبقي، مغ/ل بدلالة قطر الحبيبات. تثبت جميع التجارب، أن لا تأثير للتدرج الحبيبي ولا لدرجة حرارة تحضير مصفوفة العظام، على سرعة إمتزاز أيون الفلوريد. كان تركيز الفلوريد الأولي 2,78 مغ/ل وتم تخفيضه إلى أقل من 1 مغ/ل مهما كان قطر الحبيبات أو درجة حرارة تحضير المصفوفة، وهو أقل من الحد الأقصى الموصى به من قبل المنظمة العالمية للصحة (1,5 مغ/ل). أظهرت المادة المازة، سواء كانت خاماً أو محضرة عند مختلف دراجات الحرارة، لها قابلية عالية لإمتزاز أيونات الفلوريد، حتى أقل من توصية منظمة الصحة العالمية (1,5 مغ/ل). وفقاً للنتائج التي تم الحصول عليها، وصلت نسبة إزالة الفلوريد إلى 67,62%، بمتوسط قدره 63,24% (جدول 5.4). هذه النتيجة، تخالف الكثير من البحوث السابقة التي بينت أن أفضلية الإمتزاز تعود إلى زيادة عدد المواقع النشطة المرتبطة بانخفاض قطر الحبيبات (Mjengera & Mkongo, 2003 ; Kaseva, 2006; Zhu et al., 2011 ; Mohapatra et al., 2004 ; Mutchimadilok et al., 2014; Chatterjee et al., 2018 ; Godfrey et al., 2017 ; Iaquaniello et al., 1985). نرجع هذه النتيجة إلى مسامية المادة الممتزة طبيعياً وتبخر الماء من المادة العضوية (Henmi & Wada, 1974 ; Ayoob & Gupta, 2008 ; Shahid et al., 2020).

بالنسبة لمسحوق العظام، المحضر في درجة حرارة 200 م°، نسجل انخفاض في كمية الاستقطاب، مقارنة مع مسحوق العظام المحضر في درجات الحرارة الأخرى (مجفف طبيعياً، 105 م°، 400 م°)، فبالرغم من صعوبة فهم هذه النتيجة، فإننا نرجعه إلى بداية التحلل الحراري للمادة العضوية عند درجة 200 م° مما أثر على خاصيتها الإمتزازية (Dovonon et al., 2011).



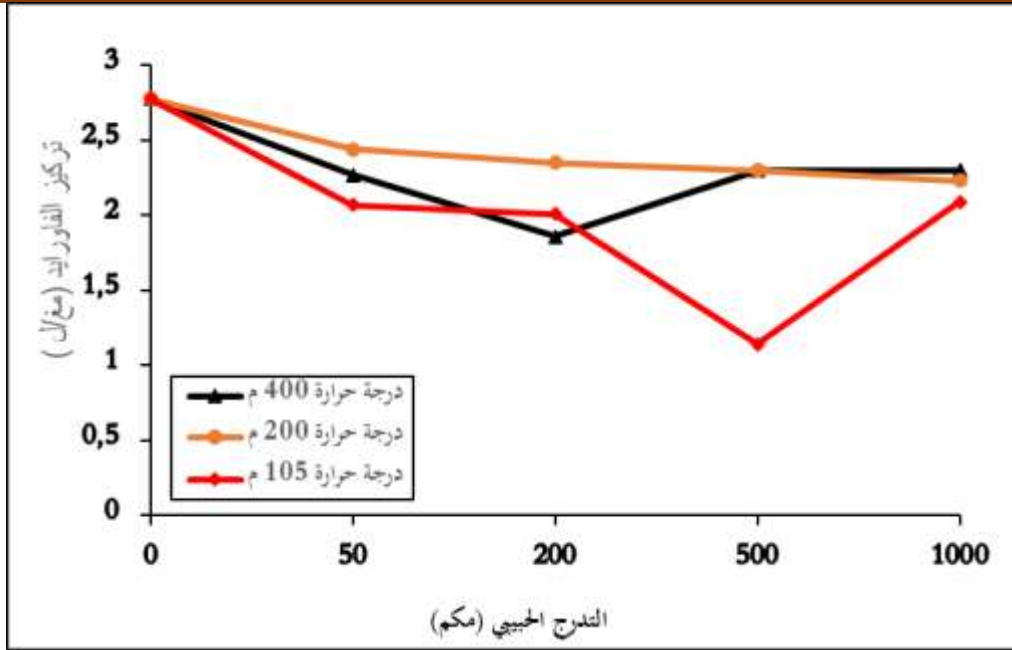
شكل 1.4. تطور تركيز الفلوريد (مغ/ل) المتبقي بدلالة قطر مسحوق عظام البقر

جدول 5.4. مردود ازالة الفلوريد على مصفوفة العضوية (مسحوق عظام البقر)

درجة حرارة تخضير المصفوفة (م°)	متوسط المردود	1000	500	200	50	قطر الحبيبات (µm)
تجفيف طبيعي	64,56	58,99	63,30	68,34	67,62	
105	59,62	47,12	65,82	62,58	62,94	المردود (%)
200	29,43	28,05	32,01	29,85	27,82	
400	65,55	63,66	66,18	65,82	66,54	
	63,24	56,59	65,10	63,58	65,70	متوسط المردود (%)

2.1.3. مسحوق نوى التمر

فيما يتعلق بالممتز، المحضر من نوى التمر، على الرغم من أنها أظهرت كفاءة أقل، مقارنة بمصفوفة عظام البقر، إلا أنه يتم الحصول على أفضل النتائج مع مسحوق نوى التمر المحضرة عند درجة حرارة 105 م°، مهما كان قطر الحبيبات. كان تركيز الفلوريد الأولي 2,78 مغ/ل، تم تخفيضه إلى 1,14 مغ/ل عند قطر حبيبات 500 مكم، في حين بلغ متوسط نسبة إلى 23,92% (جدول 6.4).



شكل 2.4. تطور تركيز أيونات الفلوريد (مغ/ل) على مصفوفة نوى التمر

جدول 6.4. مردود ازالة الفلوريد على مصفوفة العضوية (مسحوق نوى التمر)

درجة حرارة تحضير المصفوفة (م°)	متوسط المردود	1000	500	200	50	قطر الحبيبات (µm)
105	34,08	24,82	58,27	27,69	25,53	
200	16,18	19,78	17,26	15,46	12,23	المردود (%)
400	21,49	17,26	17,26	33,09	18,34	
	23,92	20,62	30,93	25,41	18,70	متوسط المردود (%)

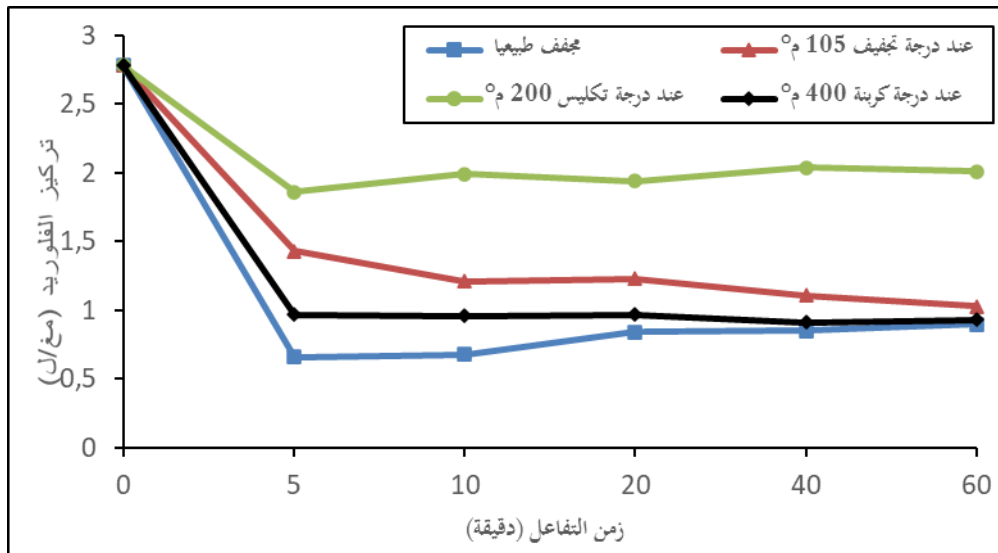
2.3. تأثير زمن التفاعل

1.2.3. مسحوق عظام البقر

يمثل زمن التفاعل، بين الماء والمصفوفة العضوية، أحد أهم العوامل المؤثرة في عملية الامتزاز (adsorption). لمقارنة مردود إزالة الفلوريد على المصفوفة العضوية المحضرة في درجات حرارة مختلفة (حرارة مخبر، 105، 400 م°)، تم إجراء امتزاز أيون الفلوريد على المادة المازة عن طريق مزج 1 غ من المادة المازة (مسحوق عظام البقر)، ذات تدرج حبيبي 50 مكم، مع 40 مل من المياه الجوفية، ذات تركيز 2,78 مغ/ل من الفلوريد. تم رج المزيج لمدة 5 - 60 دقيقة بسرعة 180 دورة في الدقيقة، عند درجة حرارة المخبر (25 م°). كما هو مبين في الشكل 3.4، يتم إمتزاز أيونات الفلوريد، على المادة المازة، على مرحلتين؛ المرحلة الأولى (0 إلى 5 دقائق) أسرع من الثانية (5 إلى 60 دقيقة). أظهرت النتائج أن مردود إزالة أيونات الفلوريد يصل إلى 76,25% وأن الفلوريد المتبقي، ينخفض من 2,78 إلى 0,66 مغ/ل في زمن تفاعل قصير (5 دقائق)، ثم تصل البيانات عند خط مقارب عند

حوالي 70% (جدول 7.4). هذه النتائج تتوافق والأبحاث السابقة (Bennaser et al., 2011 ; Ismail & Abdelkareem, 2015). بالنسبة لفحم العظام، تراوح زمن التوازن المثالي، لدى الكثير من البحوث السابقة، من ساعة واحدة إلى 72 ساعة (Bhatnagar et al., 2011)، وتوصل آخرون (Muchimadilok et al., 2014) إلى 12 ساعة بينما حقق آخرون (Assami et Messaitfa, 2023) ساعة وأربعون دقيقة. زمن التفاعل المثالي، الذي نستخلصه من هذه التجارب هو خمس (05) دقائق، حيث وصل تركيز أيون الفلوريد إلى 0,66 مغ/ل، أي بمرودود يفوق 76% (جدول 7.4)، وهو أحسن نتيجة المتحصل عليها في البحوث السابقة (Kashi, 2015). هذه النتيجة مناسبة لمياه شرب ساكنة المنطقة، المتميزة بالحرارة المرتفعة ونمط الغذاء الغني بالفلوريد (Messaitfa, 2008) وهو أقل من الذي أوصت به منظمة الصحة العالمية (1 مغ/ل)، للمناخات الحارة، ومطابق كذلك للذي حددته منظمة USPHS في 2015، لضمان صحة مثالية للفم (0,7 مغ/ل).

في الواقع، يعتمد زمن التفاعل في الامتزاز، على عوامل عديدة منها التنافس بين أيونات الفلوريد (F^-) وأيونات الهيدروكسيد (OH^-) على مواقع الامتزاز (Chen et al., 2010)، تركيز الفلوريد (Tchomgui-Kamga et al., 2010 ; Suneetha) وعلى مواقع الامتزاز (et al., 2015) وطبيعة سطح الممتز (Annan et al., 2021).



شكل 3.4. تأثير زمن التفاعل على تركيز أيونات الفلوريد المتبقي مع مسحوق عظام البقر المحضر في مختلف درجات الحرارة (50 مكم)

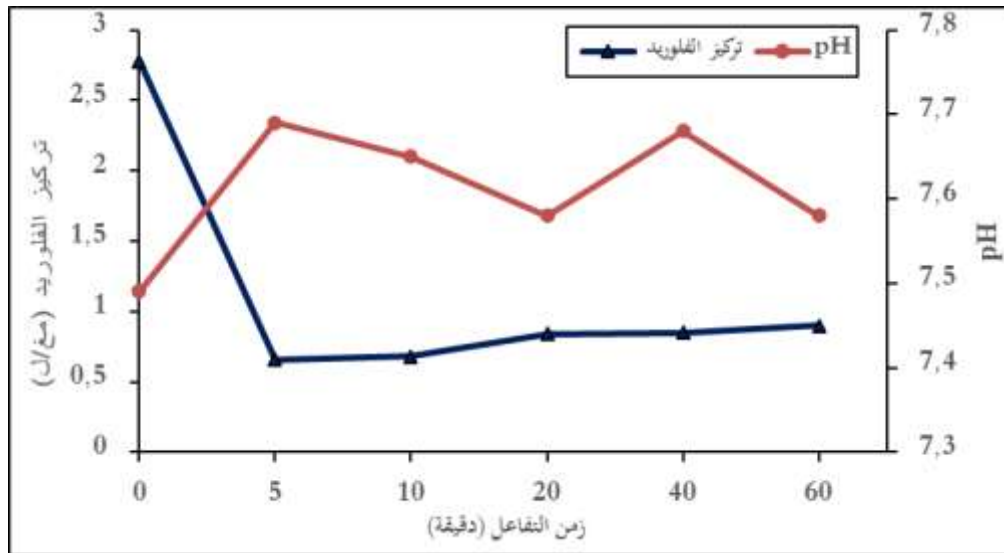
جدول 7.4. مردود إزالة أيونات الفلوريد على مصفوفة عظام البقر بتدرج حبيبي 50 مكم

درجة حرارة تحضير المصفوفة (م°)	60	40	20	10	5	زمن التفاعل (دقيقة)	مردود الإمتزاز (%)
تجفيف طبيعي	67,62	69,42	69,78	75,53	76,25		

105	62,94	60,07	55,75	56,47	48,56
400	66,54	67,26	65,10	65,46	65,10
	65,70	65,58	63,54	68,82	63,30
					متوسط المردود (%)

بالنسبة لتأثير درجة حرارة تحضير المصفوفة، نستنتج أن العظام المجففة طبيعياً، هي الأنسب لتخفيض أيونات الفلوريد من المياه، حيث نسجل أن قدرة امتزاز مسحوق العظام، يزداد مع انخفاض درجة حرارة التحضير (Godfrey et al., 2017). رجع ذلك إلى تأثير درجة حرارة التفحيم على هيدروكسيباتيت $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$ ، المركب الأساسي لبنية العظام، والمساهم في عملية الإمتزاز (Rojas et al., 2013)، حيث أن الفحم العظمي تنقص استطاعته للإمتزاز مع إرتفاع درجة حرارة التفحيم بفقدانه شوارد الهيدروكسيل (OH^-) .

تم قياس الدليل الهيدروجيني للمزيج، بعد الترشيح، بدلالة زمن الاهتزاز (من 5 إلى 60 دقيقة). نسجل أن الدليل الهيدروجيني يرتفع من 7,49 إلى 7,58 (الشكل 4.4)، في حين انخفض تركيز الفلوريد المتبقي، من 2,78 إلى 0,66 مغ/ل، أي بمرود يفوق 76% (جدول 8.4).



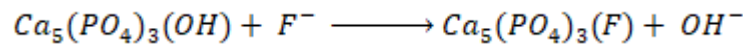
شكل 4.4. تطور الدليل الهيدروجيني وتركيز الفلوريد المتبقي مع مسحوق عظام البقر (50 مك) (مك)

جدول 8.4. تطور الدليل الهيدروجيني لتفاعل مصفوفة العضوية لعظام البقر والماء المعالج

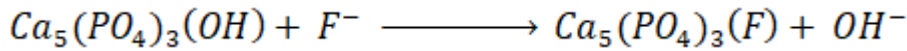
زمن التفاعل (دقيقة)	0	5	10	20	40	60
تركيز الفلوريد (مغ/ل)	2.78	0.66	0.68	0.84	0.85	0.9
pH	7.49	7.69	7.65	7.58	7.68	7.58
كمية الاستقطاب (Qe)	0	0.85	0.84	0.78	0.772	0.752

						(مغ/غ)
67.63	69.42	69.78	75.54	76.25	0	مردود الإستقطاب (%)

نعزى هذه النتيجة إلى استبدال أيونات الهيدروكسيل (OH^-)، الموجودة في الهيدروكسيباتيت، بأيونات الفلوريد (F^-)، لتكوين فلورباتيت، غير قابل للذوبان ($Ca_{10}(PO_4)_6F_2$) (Medellin-Castillo et al., 2014 ; Saravanan et al., 2017 ; Yami et al., 2017 ; Nigri et al., 2017 ; Kanyora et al., 2015 ; 2014). يقوم الهيدروكسيباتيت الموجود في العظام بتبادل مجموعات OH^- مع أيونات F^- (Kaseva, 2006 ; Rao et al., 2009 ; Chidambaram et al., 2003). يستبدل أيون الفلوريد (F^-) بإحدى مجموعتي الهيدروكسيل أو كليهما وفق المعادلتين التاليتين:

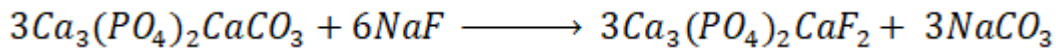


بالنسبة إلى (Comlan Dovonon, 2011)، يكون تفاعل الاستبدال من النوع:



بالنسبة لبعض الأبحاث (Adler et Klein, 1938)، يكون التفاعل لثلاثي الفوسفات الكلسي مع أيون الهيدروكسيد أو

أيون الكربونات، كما يبينه التفاعل التالي:



بينت بعض الأبحاث (Tine et al., 2008)، أن تفاعل الاستبدال، بين أيون الفلوريد في المياه وأيون هيدروكسيد العظام، هو تفاعل من الدرجة الأولى. استبدال أيونات الهيدروكسيل بأيونات الفلوريد، هو الاحتمال الوحيد لتبادل المجموعة الوظيفية المختلفة الموجودة على سطح مواد الاستقطاب القائمة على الكتلة الحيوية مثل الهيدروكسيل، الكربوكسيل، الكربونيل، أميد وأمين قد تنطوي على التفاعلات الكيميائية والفيزيائية لأيونات الفلوريد (Jagtap et al., 2012).

أما الانخفاض في الدليل الهيدروجيني، فنرجعه إلى تحرير أيونات الهيدروجين (H^+)، مما يؤدي إلى تشكيل جديد في وسط التفاعل مع إمكانية وجود مواقع نشطة جديدة (Yousef et al., 2014)، ويمكن تفسير ذلك من خلال التبادل بين أيونات

الفلوريد (F^-) وأيونات الأرتوفوسفات (PO_4^{3-})، وفقاً للتفاعل (Mazonie & Mouchet, 1984 ; Srimulari et al.,)،
 التالي: (1998; Agarval et al., 2003)



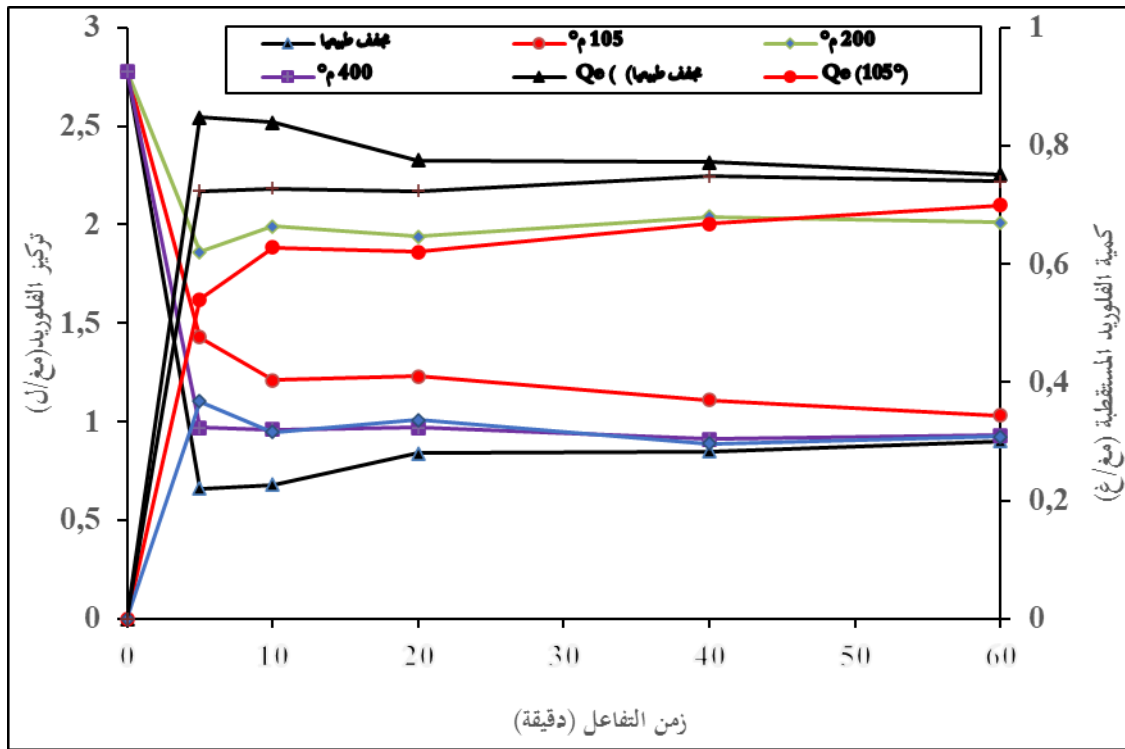
أيون الهيدروجين، على الأرجح ناتج عن تأين الماء، قد يؤدي إلى تكوين حمض الفوسفوريك (H_3PO_4) المسؤول على انخفاض الدليل الهيدروجيني.

قدرة الامتزاز (Q، مغ/غ)، لأيون الفلوريد، تتغير من 0,660 إلى 0,900 مغ/غ من مسحوق العظام (جدول 9.4)، بمتوسط 0,786 مغ/غ (786 مغ/كغ). يبين الشكل 5.4 منطقتين من الإستقطاب. الأولى، من 0 إلى 5 دقائق، تزداد قدرة الإستقطاب خطياً من 0 إلى 0,9 مغ/غ، والثانية، من 5 إلى 60 دقيقة، تتغير قدرة الإمتزاز ببطء، لتصل إلى التوازن، في 5 دقائق. ينما ينخفض تركيز الفلوريد المتبقي، من 2,78 إلى 0,66 مغ/ل.

جدول 9.4. تطور تركيز الفلوريد وكمية الفلوريد المستقطب بدلالة زمن التفاعل مع مسحوق عظام البقر (50 مكغم)

تركيز الفلوريد (مغ/ل)				زمن التفاعل (دقيقة)
تخفيف طبيعي	105 م°	200 م°	400 م°	
2,78	2,78	2,78	2,78	0
0,66	1,43	1,86	0,97	5
0,68	1,21	1,99	0,96	10
0,84	1,23	1,94	0,97	20
0,85	1,11	2,04	0,91	40
0,9	1,03	2,01	0,93	60
كمية الفلوريد الممتزة (مغ/غ)				
0	0	0	0	
0,848	0,54	0,368	0,724	5
0,84	0,628	0,316	0,728	10
0,776	0,62	0,336	0,724	20
0,772	0,668	0,296	0,748	40

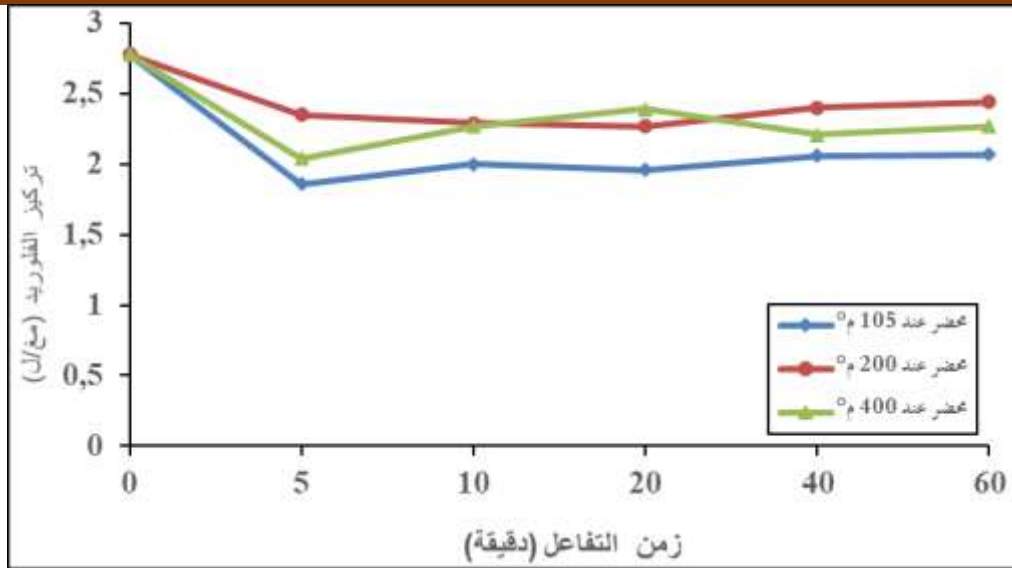
0,752	0,7	0,308	0,74	60
-------	-----	-------	------	----



شكل 5.4. تطور كمية الفلوريد المستقطب والمتبقي على مسحوق عظام البقر (50 مكلم)

2.2.3. مسحوق نوى التمر

لتقييم فعالية مسحوق نوى التمر، تم إجراء سلسلة أخرى من التجارب، مشابِهة للتجارب السابقة، حيث تم مزج 40 مل من المياه الجوفية (2,78 مغ/ل من الفلوريد) مع 1 غرام من المادة المازة (قطر 50 مكلم). تم رج المزيج لمدة من 5 إلى 60 دقيقة بسرعة 180 دورة في الدقيقة، عند درجة حرارة المخبر. كما هو مبين في الشكل 6.4، يتم إستقطاب أيونات الفلوريد على المادة المازة (نوى التمر) على مرحلتين؛ المرحلة الأولى (0 إلى 5 دقائق) أسرع من الثانية (5 إلى 60 دقيقة). أظهرت النتائج أن إزالة أيونات الفلوريد تتناقص مع ارتفاع درجة حرارة تحضير مصفوفة نوى التمر، بمتوسط مردود يتراوح بين 18,34 و 25% (جدول 10.4) وأن الفلوريد المتبقي ينخفض من 2,78 إلى 1,86 مغ/ل، بدلالة زمن التفاعل، وبعد ذلك يصل التفاعل إلى التوازن عند حوالي 2 مغ/ل.



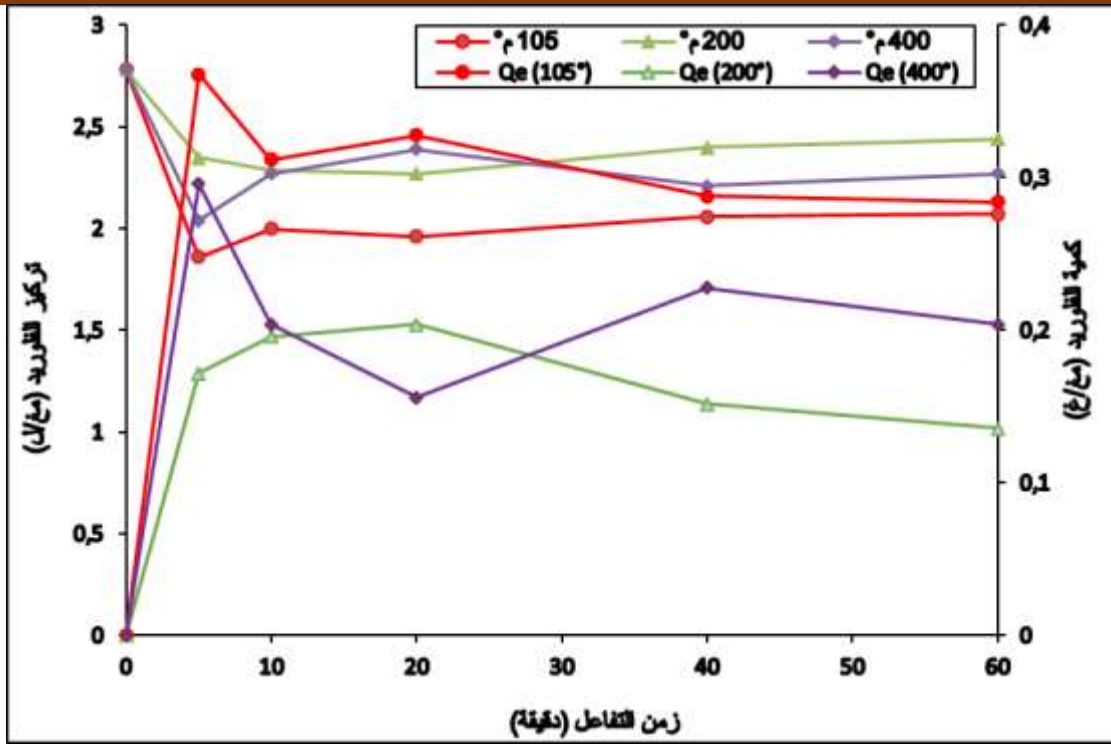
شكل 6.4. تطور تركيز الفلوريد المتبقي مع مسحوق نوى التمر (50 مكم)

جدول 10.4. مردود ازالة أيون الفلوريد على مصفوفة نوى التمر ذو قطر 50 مكم

درجة حرارة تحضير المصفوفة (م°)	60	40	20	10	5	زمن التفاعل (دقيقة)
105	25,53	25,89	29,49	28,05	33,09	
200	12,23	13,66	18,34	17,62	15,46	مردود الإستقطاب (%)
400	18,34	20,50	14,02	18,34	26,61	
	18,34	20,02	20,62	20,34	25,05	متوسط المردود (%)

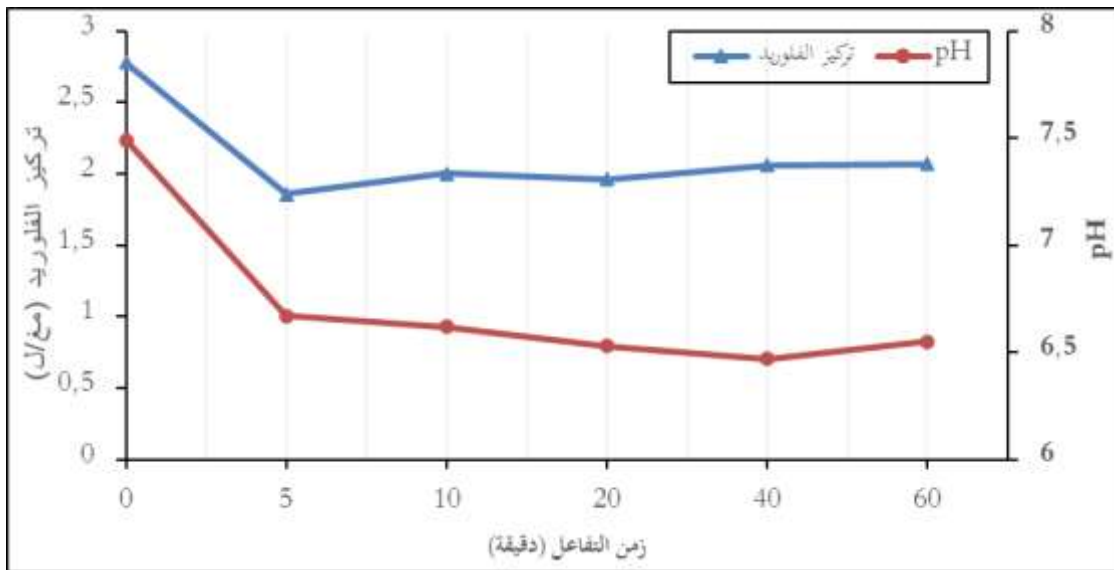
تتغير قدرة الامتزاز (Q مغ/غ)، من 0,172 إلى 0,316 مغ/غ، بمتوسط 0,244 مغ/غ من مسحوق نوى التمر (الشكل 7.4).

يسلط الشكل الضوء على منطقتين: الأولى من 0 إلى 5 دقائق، تزداد السعة خطياً من 0,172 إلى 0,316 مغ/غ، بينما ينخفض تركيز الفلوريد المتبقي، من 2,78 إلى 1,86 مغ/ل (حسب درجة حرارة تحضير المصفوفة). وفي الثانية، من 5 إلى 60 دقيقة، تتغير السعة ببطء، ليصل إلى التوازن، حسب كل درجة حرارة تحضير المصفوفة، حيث يكون عدد المواقع الشاغرة على سطح المصفوفة، أكبر من المواقع المتبقية بعد مرور زمن التفاعل والتي تكون أكثر بظناً.



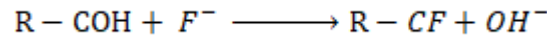
شكل 7.4. تطور تركيز وكمية الفلوريد المستقطب والمتبقي على مسحوق نوى التمر (50 مكجم)

قياس الدليل الهيدروجيني للمزيج (مسحوق نوى التمر بتدرج 50 مكجم مع المياه الجوفية)، بعد الترشيح، بدلالة زمن التفاعل (من 5 إلى 60 دقيقة)، بين إنخفاض في درجة الحموضة من 7,49 إلى 6,47 (الشكل 8.4)، يصاحبه انخفاض في تركيز الفلوريد المتبقي من 2,78 إلى 1,99 مغ/ل، أو بمرود إزالة تتراوح بين 28,42 و 28,77% (جدول 11.4).



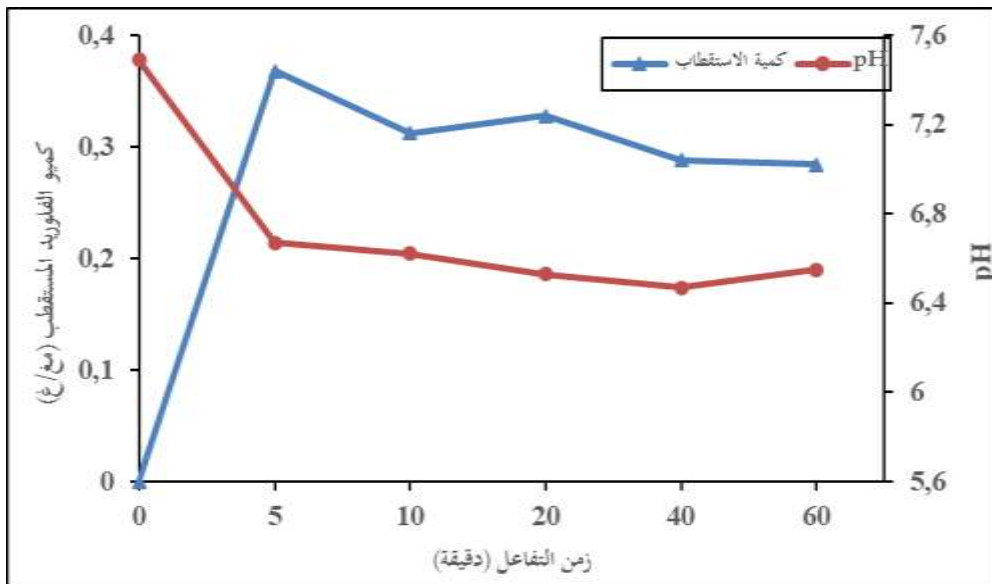
شكل 8.4. تطور الدليل الهيدروجيني وتركيز الفلوريد المتبقي بدلالة زمن التفاعل مع مسحوق نوى التمر (50 مكجم)

يفسر بتفاعل تبادلي بين مجموعات الهيدروكسيل البروتينية السطحية (COH) وأيون الفلوريد (Wang & Reardon, 2001)، وفق التفاعل التالي:



يمكن تفسير انخفاض الدليل الهيدروجيني خلال التفاعل (Adler, 1938) إلى احتواء المصفوفة العضوية لمجموعات وظيفية أمفوتيرية (Amphotère) تؤدي إلى تجاذب بينها وبين ايونات الفلوريد. في هذه الحالة يكون الدليل الهيدروجيني معتدل فتزيد نسبة الامتزاز، لكن في حالة وجود ايون الهيدروجين (H^{+})، فإنه يتنافس مع المصفوفة العضوية في استقطاب ايونات الفلوريد، والعكس فإنه في الوسط القاعدي، تدخل ايونات الهيدروكسيد (OH^{-}) في تنافس مع أيونات الفلوريد مؤديتا إلى تخفيض في كفاءة إزالة الفلوريد.

قدرة الامتزاز (Q، مغ/غ)، لأيون الفلوريد، تتغير ببطء، من 0,276 إلى 0,320 مغ/غ من مسحوق نوى التمر (جدول 11.4)، أي بمتوسط 0,304 مغ/غ (304 مغ/كغ). يبين المنحنى الضوء على منطقتين (شكل 9.4). الأولى، من 0 إلى 5 دقائق، تزداد قدرة الإستقطاب خطياً من 0 إلى 0,32 مغ/غ، بينما يتناقص الدليل الهيدروجيني من 7,49 إلى 6,67. في الثانية، ما بين 5 إلى 60 دقيقة، تتطور القدرة ببطء، وتصل إلى التوازن في 5 دقائق بقدرة متوسطة 0,304 مغ/غ.



شكل 9.4. تطور الدليل الهيدروجيني وكمية الفلوريد المستقطب بدالة زمن التفاعل مع مسحوق نوى التمر (50 مكم)

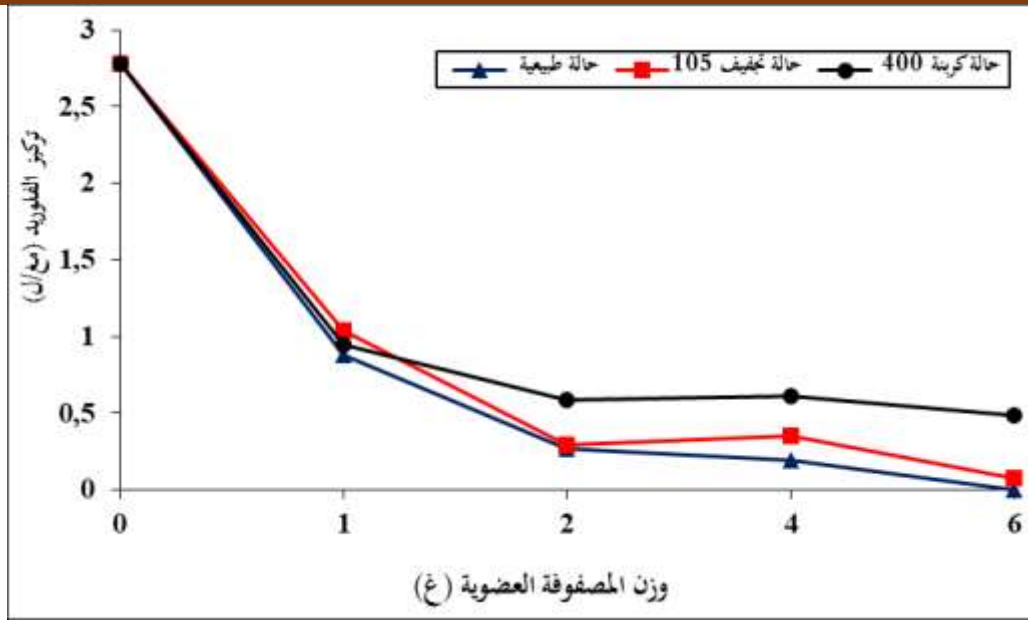
جدول 11.4. تطور الدليل الهيدروجيني وكمية الفلوريد المستقطب بدلالة زمن التفاعل مع مسحوق نوى التمر

60	40	20	10	5	0	زمن التفاعل (بدقيقة)
2,09	1,99	2	2,04	1,98	2,78	تركيز الفلوريد (مغ/ل)
6,55	6,47	6,53	6,62	6,67	7,49	Ph
0,276	0,316	0,312	0,296	0,32	0	كمية الاستقطاب (Qe) (مغ/غ)
24,82	28,42	28,06	26,62	28,77	0	مردود الإستقطاب (%)

3.3. تأثير كتلة (وزن) مصفوفة الإمتزاز

1.3.3. مسحوق عظام البقر

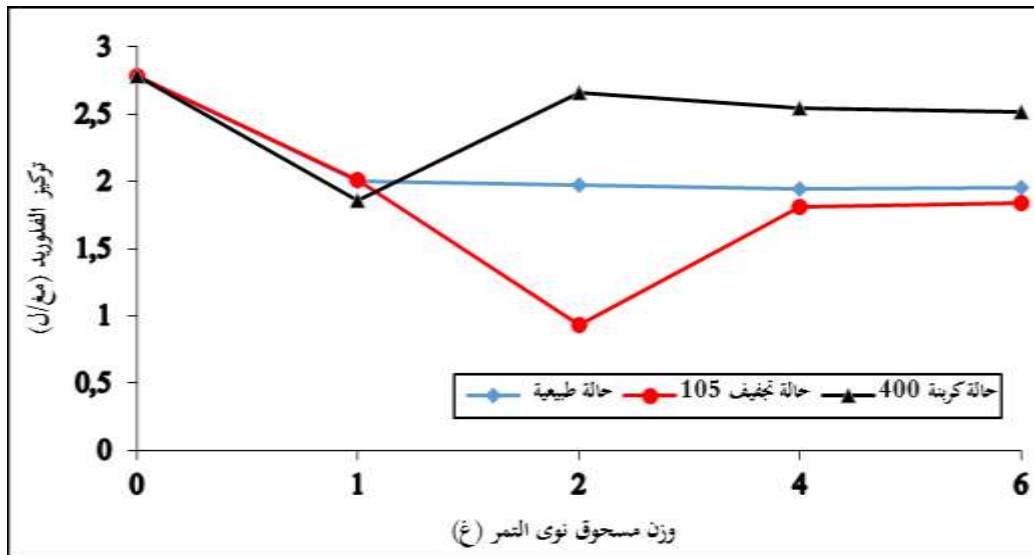
أجريت تجارب الامتزاز في شروط ثابتة باستخدام عبوات بلاستيكية، سعة 50 مل. تم مزج أوزان مختلفة (1، 2، 4 و 6 غ) من المصفوفة العضوية (عظام البقر)، مع 40 مل من المياه الجوفية ذو تركيز أولي 2,78 مغ/ل من أيون الفلوريد. بعد 60 دقيقة من الرج وبعد عملية الترشيح، تم معايرة تركيز الفلوريد المتبقي في العينة. يبين الشكل 9.4 التغير في تركيز الفلوريد بدلالة وزن المادة المازة المحضرة. يوضح الشكل 10.4، تطور تركيز الفلوريد المتبقي، بدلالة وزن المادة المازة المحضرة في درجات حرارة مختلفة (تجفيف طبيعي، 105 م° و 400 م°). انخفض تركيز الفلوريد المتبقي، من 2,78 مغ/ل إلى أقل من 0,5 مغ/ل لوزن 2 غ/40 مل من المادة المازة، وتصل إلى 0 مغ/ل عند 6 غ من المادة المازة المحضرة طبيعياً وفي درجة حرارة 105 م°. يُعزى ارتفاع إزالة الفلوريد إلى الزيادة في عدد المواقع النشطة (Aravind & Elango, 2006 ; Thakre et al., 2010 ; Swain et al., 2012 ; Samb, 2004 ; Diawara et al., 2004 ; Moufti et al., 2004 ; Piekos & Paslawska, 1998) وتوفر سطح ممتز وحجم مسام أكثر فعالية بجرعات أعلى (Yadav et al., 2013 ; Masindi et al., 2015). نتائج مماثلة تم نشرها من قبل (Zhu et al., 2011)، من قبل (Chatterjee et al., 2018)، من قبل (Alkurdi et al., 2019) ومن قبل (Djousse Kanouo et al., 2020). بإستعمال فحم العظام؛ من قبل (Kim et al., 2013)، بإستعمال طين البيروفيليت (l'argile pyrophyllite)؛ من قبل (Meenakshi et al., 2008)، بإستعمال البنتونيت (bentonite)؛ من قبل (Achour et Youcef, 2009)، بإستعمال كاولينيت (kaolinite) ومن قبل (Thakre et al., 2010)، بإستعمال الممتزات الحيوية (bio-adsorbants). نسجل أن الوزن المثالي لإزالة أيون الفلوريد هي 2 غ/40 مل من المادة المازة من أجل تحقيق تركيز مناسب من الفلوريد في المياه، إلى المستوى الموصى به للمناخات الحارة.



شكل 10.4. تأثير وزن المادة المازة (عظام البقر) على تركيز الفلوريد المتبقي

2.3.3. مسحوق نوى التمر

فيما يتعلق بالمصفوفة العضوية لنوى التمر، يبين الشكل 11.4، إزالة أبطأ بكثير لأيون فلوريد، حيث أن التركيز المتبقي للفلوريد 2 مغ/ل و 1,86 مغ/ل، عند وزن 1 غ، على التوالي، من المادة المازة المحضرة في درجة حرارة 105 م°. من المهم أيضاً ملاحظة أن إزالة أيونات الفلوريد بإستعمال مسحوق نوى التمر، ومهما كانت درجة تحضيره، لا تمكننا من تحقيق التركيز المثالي الموصى به من قبل المنظمة العالمية للصحة (1,5 مغ/ل).



شكل 11.4. تأثير وزن المادة المازة (نوى التمر) على تركيز الفلوريد المتبقي

4. خلاصة

يهدف هذا البحث إلى تـمـيـن المـوادر الطـبـيعية والنفايات العـضوية المـحلية (عظام البقر ونوى التمر) في ميدان معالجة المياه. تم مناقشة كفاءة كل منهما في تخفيض تركيز ايون الفلوريد في المياه الجوفية، المصدر الوحيد للتزود بالمياه الصالحة للشرب في الجنوب (منطقة الدراسة). تم إختبار عدة متغيرات (درجة حرارة تحضير المصفوفة، التدرج الحبيبي، زمن التفاعل، وزن الممتز) لإنتقاء أحسن الشروط التجريبية لإزالة الفلوريد. النتائج التجريبية لإمتزاز أيون الفلوريد، على المصفوفة العضوية المحضرة من عظام البقر، بينت كفاءة المادة المازة المحضرة في درجة حرارة المخبر (تجفيف طبيعي) إلى تخفيض ايونات الفلوريد من 2,78 الى أقل من 0,5 مغ/ل ومردود يفوق 76% خلال زمن قياسي قدره 05 دقائق وبوزن 1 غ. هي نتيجة جيدة مقارنة بالأبحاث السابقة (Rugsya et al., 2013 ; Ismail et al., 2014). أما الإمتزاز على المصفوفة العضوية المحضرة من نوى التمر، فكانت أقل كفاءة عند نفس الشروط التجريبية.

خاتمة عامة

يتراوح تركيز الفلوريد في المياه الجوفية المدروسة من 0,58 إلى 2,78 مغ/ل. أظهرت النتائج أن 52% من آبار المياه تحتوي على تركيز الفلوريد أقل من 1,5 مغ/ل و47% لديها تركيز أعلى من الحد الموصى به من قبل المنظمة العالمية للصحة (1,5 مغ/ل). تتميز مياه طبقة الألبان (Continental Intercalaire)، بأدنى تركيز (0,78 - 1,29 مغ/ل)، في حين أن مياه طبقة الميولبوسان (Miopliocène) تحتوي على أعلى تركيز (2,78 مغ/ل). أظهرت التجارب أن المادة الممتزة (مسحوق عظام البقر)، سواء كانت خامًا أو محضرة في مختلف درجات الحرارة (تجفيف طبيعي، 105 و 400 م°)، لها ألفة (affinité) قويًا لأيونات الفلوريد، حتى أقل من توصية منظمة الصحة العالمية. من تجاربنا، يبدو أن درجة الحرارة المثالية لتحضير العظام، للمعالجة الفعالة، هي التجفيف الطبيعي. لا تعتمد ظاهرة الامتزاز، بشكل أساسي، على خاصية التدرج الحبيبي للمادة المازة. مختلف التدرجات الحبيبية التي تم اختبارها (0,05، 0,2، 0,5 و 1 مم)، أعطت أفضل النتائج. وبعد فترة إزالة الفلوريد البالغة 5 دقائق، يتم الوصول إلى العتبة التي أوصت بها المنظمة العالمية للصحة (1,5 مغ/ل). لقد وجد أن المادة الممتزة المحضرة طبيعيًا فعالة في إزالة تركيز الفلوريد من المياه الجوفية. يكفي غرام (1) من مختلف حبيبات المادة المازة (عظام البقر)، لتقليل أيونات الفلوريد إلى 1 مغ/ل وكانت ستة (6) غرامات كافية لإزالة 100% من أيونات الفلوريد. إرتفاع في الدليل الهيدروجيني، من 7,49 إلى 7,58، مع انخفاض في تركيز الفلوريد المتبقي، من 2,78 إلى 0,66 مغ/ل، يبين أن خاصية الإستبدال، بين أيونات الهيدروكسيل (OH⁻)، الموجودة في الهيدروكسيباتيت، وأيونات الفلوريد (F⁻)، هي المتحكم في التفاعل. ومع ذلك، فإن تأثير العوامل الأخرى مثل تركيز الفلوريد الأولي، والمنافسة الأيونية وإمكانية تحرير عناصر كيميائية من المادة المازة (عظام البقر)، يحتاج أيضًا إلى مزيد من الاستكشاف. أما المصفوفة العضوية النباتية المحضرة من نوى التمر، لديها قدرة إمتزاز منخفضة، بمتوسط مردود يتراوح بين 18,34 و 25%. من المهم تحسين هذه المصفوفة العضوية المحضرة من نوى التمر لتثمينها مستقبلًا بإعتبارها خيارًا منخفض التكلفة.

توصيات

✚ دراسة تأثير تغير تركيز أيونات الفلوريد على المصفوفة العضوية؛

✚ نجاعة المصفوفة العضوية في إزالة الملوثات والاصبغة من المياه؛

✚ استغلال المصفوفة العضوية في معالجة عصارة النفايات؛

✚ استغلال المصفوفة العضوية في محطات معالجة مياه الشرب ومحطات تطهير مياه الصرف الصحي؛

✚ دراسة تقنو اقتصادية لتجسيد واستغلال المصفوفة العضوية في معالجة المياه.

1. ABDELKAREM H. (2015). -Sustaianble Appraoch for Recyclng Waste Lamib and Chiken Bane for Fluoride Removal from Water Folowed by Reusing Fluoride-Bearing Waste in Concrate. . Journal Waste Managnement (45), 66-75.
2. Abdelaoui, A. B. (2023). Characteization of Groundwater and Distriibution of Fluoirde in the Esatern Ragon of the Algerian Northernn Sahara (Ouargla). Polution.
3. Abou Neeil, E. A., Aljaboe, A., Strmage, A., Coathup, M. Ibrahim, S., Yonug, A. M., Bozece, L., Muderia, V., (2016). Denineralization–remineiralization dyanmics in teeth and bnoe. Internaitional Journal of Nannomedicine, 11, 4743-4763. <https://doi.org/10.2147/IJN.S107624>
4. Achairya, S. (2005). Dentel carias, its surfacee susceptibility and dental fluoreosis inSouth IntDant J. (55), 359 - 364.
5. Achuor, S., & Youcif, L., (2009). Defluoirdateion of the Algeiran north Sahara watars by adsorption ontoe locale bentenites. Internaitional Journal of Enviornment Studes, 66(3), 161-155. <https://doi.org/10.1080/00207230902859747>
6. Achuor, S., & Youssef, L. (2001). Excs des fluorurés dans les eaux de Sahara Septenterional oriental et posibilites du traiteement. Rev. L eau, L'inedustrie, les Nuisance, Ed. Johanete, France(5), 47-54.
7. Adler H. Klen G, A. L. (1938). Linds Removal of fluouirdes from potablee water by trialcium phosphaté. Industrial & Engineering Chemistry (30(2)), 163-165.
8. Agarval, M., Rai, K., Shrivastav, R., & Dass, S. (2003). Defluoridation of water using amended clay. J. of Cleaner Produc (11), 439.
9. Ahaida, C. P., & Sutihar, S., (2017). Assesment of hunnan haelth risk assocaited withe hegh groundwater fluoirde intake in southern distircts of Pnujab, India. Expossur Health, 11(3), 268-276. <https://doi.org/10.1007/s12403-017-0268-4>
10. Akuno, H. M, Nocela, G., Millia, P. E, Gutierrez, L., (2019). Factros influencinge the relationshiop betwen fluoirde in drinkingwater and dentals flourosis: a ten-yaer systematic reviewe and meta analysis. Jounnal of Water & Health, 17(6) 845-862. <https://doi.org/10.2166/wh.2019.300>
11. Ali, Y., Fakhri, S., Golbini, M., Thakuer, K. S, Alinejad, A., Parseh, I., Shekhar, S., Bhattacharya, P., (2019). Concenatration of fluoirde in groundwater of Inidia: A systemitic review, meta-analysis and risk assesment. Ground water for Sustaenable Develoepment, 9, 100224. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100224>
12. Aliaskarie, M., Schäfer, A. I., (2021). Nitrate, arsenic and fluoride ramoval by electrodalylsis from brackish ground water. Water Research, 191, 116683. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116683>
13. Aleiv, M. (1972). Structure geoloogiques et perspectvies en petrolle et en gaz au Sahara Algerien.

14. Alkurdie, S. A., Al-Jubori, A. R., Bundschuih, I., Hamewand, J., (2019). Biochar as a sorbent for removing health threatening fluoride from drinking water, *Environment International*. 127, 704-719. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.065>
15. Almann, R., & Korietnig, S. (1974). Fluorine. In: Wedepohl, K.H. (editor) *Handbook of Geochemistry*, Berlin, Heidelberg; Springer Verlag, II (1).
16. Alphoyo, M. S., & Shanna, P.M., (2021). Chapter 26: Removal of fluoride from drinking water supplies, in: Pandey A, Mishra SK, Kansal ML, Singhe RD, Singh VP (Eds.). *Climate Impact on Water Resources in India: Environment and Health. Series: Water Science and Technology Library. Springer*, pp.322-330. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51427-3_26
17. Annen, E., Nyankison, E., Agye-Tuffuor, B., Armoh, K. S. Nkrumah Buandohe, G., Hodasi, J. A. M., Oteng Paprah, M., (2021). Synthesis and characterization of modified Kaoline Bentonite composites for enhanced fluoride removal from drinking water. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2021/6679422>
18. ANRH, & Hydrauliques, N. (2021). Inventaire des forages d'eau de la wilaya de Ouargla. .
19. Aounn, A., Darwiche, F., Al Hayek, S., Doumit, J., (2018). The fluoride debate: The Pros and Cons of fluoridation. *Preventive Nutrition and Food Science*, 23(3), 171-180. <https://doi.org/10.3746/pnf.2018.23.3.171>
20. Apambire, B. W., Boyele, R. D., Michel, F. A., (1997). Geochemistry, genesis, and health implications of fluoride-bearing ground waters in the upper regions of Ghana. *Environmental Geology*, 33(1), 13-24. <https://doi.org/10.1007/s002540050221>
21. Aravind, V., Elango, K. P., (2006). Adsorption of fluoride onto magnesite-Equilibrium and thermodynamic study. *Indian Journal of Chemical Technology (IJCT)*, 13(5), 476-483. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/7064>
22. Arbab, R. C., & Foray, H. (2005). Fluorose dentaire : diagnostic étiologique. *Arch Pediatr* 12:.
23. Aruoa, A. (1981, novembre 14 -19). Problème de santé lié à l'hyperminéralisation de certaines eaux en Algérie. Semaine sur la déminéralisation de l'eau potable.
24. Assamei Z. and Messaïfa A., (2023). Fluoride in Groundwaters of Southeastern Algeria Region and Their Removal by Cattle Bone Particles, *Water Air Soil Polut*, 234(2): 1-19.
25. Assamei, Z. &. (2023). Fluoride in Groundwaters of Southeastern Algeria Region and Their Removal by Cattle Bone Particles. *Water, Air, & Soil Pollution*, (2)(234), 123.
26. Aswiney, B. Y., Mohanty, V., Rijhwani, K., (2022). Chapter: Fluoride and other trace elements in dental hard tissue. From the Edited Volume *Human Tooth and Developmental Dental Defects*. Edited by Ana Gill de Bena and Hakian Karaslan, p, 1-19. <https://doi.org/10.5772/intechopen.102043>

27. Ayoobe, S., & Guptna, A. K., (2008). Insights into isootherm making in the sorptive removal of fluoride from drinking water. *Journal of Hazardous Materials*, 152(3), 976-985. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.072>
28. Ayoobe, S., Bhaet, V. & Gupta, A., (2008). A conceptual overview on sustainable technologies for the defluoridation of drinking water. *Crit. Rev. Env. Sci. Tec.* 38 (6), 401-470.
29. Baboyako, R., Roux, H., Katie, A., Agneroh-Eboi, G., Kofi, A., Gunian, J., & Die-kaocu, H. (1996, Septembre). Le fluorure chez l'enfant ivoirien pour quoi et comment., *Revue Odontologie Stomatologie Tropicales*, tome, XXX(4), 107-110.
30. Baouia, K., & Messaitfa, A. (2015). Distribution and removal of fluoride ions in the drinking waters in the Algerian South (Ouargla as a showcase). *Energy Procedia*, 74, 294-300.
31. Baouia, K. (2017). Analyse et distribution des ions fluorure dans les eaux et les aliments consommés dans le sud Algérien : cas de la wilaya de Ouargla., 95 p. Thèse de Doctorat, Université de Ouargla.
32. Barakat, A. M., (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian journal of chemistry*, 4(4), 361-377. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.07.019>
33. Barbier, O., Arreola-Mendoza, L., & Del Razo, L. (2010). Molecular mechanisms of fluoride toxicity. *Chemico-Biological Interactions*, 2, 319-333.
34. Becker, W., & Bruce, A. (1981). Apport de fluorures à partir des aliments., 33(Suppl.3), 198-261.
35. BEL, D., & CUCHE, F. (1970). BEL. D. Étude des nappes du Complexe Terminal du bas Sahara. Données géologiques et hydrogéologiques pour la construction du modèle Données DHW. Ouargla.
36. BEL, F., & DEMAERGNE, F. (1966). Étude géologique du Continental Terminal. ; DEC, ANRH, Alger, Algérie, 24 planches., 22.
37. Belmaebdi, A., & Messaitfa, A. (2011). Distribution des ions fluorures dans les Eaux et les Principaux Aliments. Évaluation du Risque de la Fluorose dans deux Communes du Sud-Est Algérien Ouargla et El-Oued, Tniss. *J. Med. Plantes Net. Prod.* 5., 123 - 117.
38. Beltrian, A. E., & Baruker, L. (2005, Août 26). Surveillance for dental caries, dental sealants, tooth retention edentulism and enamel fluorosis United States 1988-1994, Morbidity and mortality. National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion USA, Weekly Report, Center for Disease Control and Prevention (CDC), Division of Oral Health, 54(ss-3), 1.
39. BEN NAESER, A., WALHA, K., CHARCOSSET, C., & BEN AMAR, R. (2011). Removal of Fluoride Ions Using Cuttlefish Bones. *Journal of Fluorine Chemistry*(132), 57-62.
40. Berger, R. R. (2011). Organic fluorine compounds: a great opportunity for enhanced materials properties. *Chemical Society Reviews*, 7(40), 3496-3508.
41. Bhagavan, S. V. B. K., & 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. *Environmental Geochemistry and Health*, 27(1), 97-108. <https://doi.org/10.1007/s10653-004-0786-4>
42. Bhatnagar, A., Kumar, E., Sillanpää, M., (2011). Fluoride removal from water by adsorption-a review. *Chemical Engineering Journal*, 171, 811-840. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.05.028>
43. Bhatti, M., Al-Rashdan, A., Boota, A., & Al-Rashid, Z. (2010). Determination of fluoride levels in soft drink, fruit juices and milk consumed by the population in Kuwait using an ion-selective electrode. *Kuwait J. Sci.(Eng37(2A))*, 75-86.
44. Blakey, K., Feltbower, R. G., Parslow, R. C., James, P. W., Pozo, B. G., Stiller, C., Vincent, T. J., Norman, P., McKinney, P. A., Murphy, M. F., Craft, A. W., McNally, R. J. Q., (2014). Is fluoride a risk factor for bone cancer? Small area analysis of osteosarcoma and ewing sarcoma diagnosed among 0–49-year-olds in Great Britain, 1980–2005. *International Journal of Epidemiology*, 43(1), 224-234. <https://doi.org/10.1093/ije/dyt259>
45. Bock, R. (1979). *Decomposition methods in analytical chemistry*. translated by I.L. Marr, International Text Book Co.,Glasgow, 138.
46. Boruff, C. (1934). Removal of fluoride from drinking waters. *Ind, Eng, Chem.*, 26, 3, 69.
47. Boubakri, A., Helali, N., Tlili, M., Amor, M. B., (2014). Fluoride removal from diluted solutions by Donnan dialysis using full factorial design. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 31(3), 461-466. <https://doi.org/10.1007/s11814-013-0263-9>
48. BOUCHAHM. N., A. (2008). *Hydrochimie des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien – Identification d'un risque de fluorose endémique*. . *La houille blanche(2)*, 76-82.
49. Bridwell, R. E., Carius, B. M., Tomich, E. B., Maddry, J. K., (2019). Intentional toxic ingestion of sodium fluoride: A case report. *Cureus*, 11(6), 1-3. <https://doi.org/10.7759/cureus.5025>
50. BUSSON, G. (1967). *Le Mésozoïque saharien . L'extrême sud tunisien* ; CNRS.
51. BUSSON, G. (1970). *Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens* ; CNRS .
52. BUSSON, G. (1971). *Le Mésozoïque saharien. 1ère partie : L'Extrême Sud-tunisien*. Edit.,Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol. . C.N.R.S., 8, 194.
53. Cai, Q. (2017). Application of kinetic models to the design of a calcite permeable reactive barrier (PRB) for fluoride remediation. (B. S. Turner, Éd.) *Water*, pp. 300-311.
54. Campbell. (1987). Determination of fluoride in various matrices. *Pure Appl chem* 59, 695-702.
55. Canada, E. (2001). . *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: inorganic fluorides*. Ottawa, The Office,.
56. 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. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00566-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00566-2).

57. Cerr MW., J. A. (2003). Mortality and environmental aspects of fluoride in sewage sludge. . Dans C. MW., Water Res. Topics 1 (pp. 211- 220).
58. Chandra SJ, T. V., Chandra, S., Thergaonkar, V., & Sharma, R. (1981). Water quality and dental fluorosis. *Ind J Public Health* 25, 47–51.
59. Chatterjee, S., Mukherjee, M., De, S., (2018). Defluoridation using novel chemically treated carbonized bone meal: batch and dynamic performance with scale-up studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(18), 18161-18178. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2025-z>
60. Chavaissieux, P., & Meunier, P. (1995). bénéfique et risque des apports fluorés. *Arch Pédiatre*, (2), 568 - 572.
61. Chen, N., Zhang, Z., Feng, C., Sugiura, N., Li, M., Chen, R., (2010). Fluoride removal from water by granular ceramic adsorption. *Journal of Colloid and Interface Science*, 348(2), 579-584. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.04.048>
62. Chidambaram, S., Ramanatha, A., & Vasudevan, S. (2003). Fluoride removal studies in water using natural materials. *Water SA*(29(3)), 339-343.
63. Choubisa, S. L. (2013). Fluoride toxicosis in immature herbivorous domestic animals living in low fluoride water endemic areas of Rajasthan. India: an observational survey. *Fluoride*, (1)(46), 19-24.
64. Choubisa, S. L. (2018). A brief and critical review on hydrofluorosis in diverse species of domestic animals in India. *Environmental geochemistry and health*, (1)(40), 99-114.
65. Choubisa, S. L. (2022). The diagnosis and prevention of fluorosis in humans. *Journal Biomed Res Environ Sci*.
66. Christophoridis, C., Pasiadis, I., Mitsika, E., Veloutsou, S., Fytianos, K., (2015). Fluorides in different types of aquatic systems and their correlation with metals and metalloids. *Heavy metals in water: Presence, removal and safety*, 70 Sharma S (Edit.). The Royal Society of Chemistry, pp, 261-280. <https://doi.org/10.1039/9781782620174-00261>
67. Comité, a. s. (1979). *Le livre rouge. Les fluorures, la fluoruration et la qualité de l'environnement*. Gouvernement du Québec. Ministère de l'environnement. Sainte-Foy.
68. Comlan Dovonon L. F, S. H. (2011). Magloire Acakpo Nonvignon Gbaguidi et Alassane Youssao. Utilisation des os calcinés dans la défluoruration des eaux contaminées: Détermination expérimentale de la température de calcination et de la granulométrie optimales des os. *Int. J. Biol. Chem. Sci*(5(4)), 1712-1726.
69. Connett, p. (2006). Water fluoridation - A public health hazard [1]. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 12 (1), 88-91.
70. Connett, P., Beck, J., & Micklem, H. (2010). *The case against fluoride*. Chelsea Green Publishing édition,. 372.
71. Cooke, J., Johnson, M., Davison, A., & Bradshaw, A. (1976). Fluoride in plants colonizing fluor spar mine waste in the Peak District and Weardale. *Environmental Pollution* 11, 9-23.

72. CORNET, A. (1961). Initiation à l'hydrogéologie saharienne. Cours réonoté destiné aux officiers du cours préparatoire aux Affaires sahariennes. S.E.S. Birmandreis., 108. Alger.
73. CORNET, A. (1964). Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géog. Phys. et Géol.Dyn., VI., 15-72.
74. CORNET, A., & GOUSCOV, N. (1952). Les eaux du Crétacé inférieur continental dans le Sahara algérien (nappe dite « albien »). In « La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie ». XIXème congrès géologique international T, II, 30.
75. D.D.A.S.S. (2000, septembre). d'île de France. service santé Environnement .
76. Dar, M. A., Sankar, K., Dar, I. A., (2011). Fluorine contamination in groundwater: a major challenge. Environmental Monitoring and Assessment, 173, 955-968. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1437-0>
77. Desjardins, R. (1997). Le traitement des eaux ,2ém Eddition de l'école polytechnique de Montréal, Chapitre 11, Fluoruration et dé fluoruration des eaux.
78. Diawara, C., Essi-Tome, H., Lhassani, A., Pontié, M., & Buisson, H. (2004). Filtrations membranaires et qualité de l'eau de Boisson en Afrique : Cas du fluor au Sénégal. MSAS, 135.
79. Djelloul, Z., Djelloul, A., Bedjaoui, A., Kaid-Omar, Z., Attar, A., Daudon, M., & Addou, A. (2006). Lithiase urinaire dans l'Ouest algériene. ,étude de la composition de 1354 calculs urinaires en relation avec leur localisation anatomique., ,328-335. l'âge et le sexe des patients, Progrès en Urologi.
80. Djousse Kanouo, B. M., Fru Fonteh, M., Pindjou Ngambo, S., (2020). Development of a low cost household bone-char defluoridation filter. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 14(5), 1921-1927. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i5.33>
81. Dolbier Jr, W. R. (2005). Fluorine chemistry at the millennium. Journal of Fluorine Chemistry, 2(126), 157-163.
82. Duan, Q., Jiao, J., Chen, X., Wang, X., (2018). Association between water fluoride and the level of children's intelligence: a dose-response meta-analysis. Public Health,154, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2017.08.013>
83. Edgar, G. (1977). Reducing fluoride in industrial wastewater. chemical engineering.(7), 89-94.
84. Edmunds, W. M., & Smedley, P. L., (2013). Fluoride in natural waters. In: Essentials of Medical Geology, 2e Edition. Eds: Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J. A., Finkelman, R. B., Fuge, R., Lindh, U. and Smedley, P. L. Springer, pp, 311-336. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4375-5_13
85. Edmunds, W. M., & Smedley, P. L., (2013). Fluoride in natural waters. In: Essentials of Medical Geology, 2e Edition. Eds: Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J. A., Finkelman, R. B., Fuge, R., Lindh, U. and Smedley, P. L. Springer, pp, 311-336. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4375-5_13
86. Edmunds, W., & Smedley, P. (2013). . Fluoride in natural waters. (O. A. Selinus, Éd.) Springer, 311–336.

87. EDMUNDS. WM., G. .. (2003). . Groundwater evolution in the Continental Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia: trace element and isotopic indicators. *Applied Geochemistry*, (6) (18), 805–822.
88. Elango, L., & Jagadeshan, G. (2018). *Clean and Sustainable Groundwater in India*. Springer,.
89. Environnement Canada et Santé Canada . (1993). *Fluorures inorganiques*. Ottawa, Environnement Canada,. Collection Liste des substances d'intérêt prioritaire.
90. Epple, M., Enax, J., Meyer, F., (2022). Prevention of caries and dental erosion by fluorides - A critical discussion based on physico-chemical data and principles. *Dentistry Journal*, 10(6), 1-14. <https://doi.org/10.3390/dj10010006>
91. Essebbahi, I. O.-r. (2023). Nutritional qualities and fluoride content of different date (Phoenix dactylifer) varieties consumed in Morocco. *Journal of Applied and Natural Science*,, 1(15), 9-14.
92. FABRE, J. (1976). *Introduction à la géologie du Sahara d'Algérie et des régions voisines*. SNED, Alger, 421.
93. Fairbanks Fluoride Tasks Force. (2011). *Report of the Fairbanks fluoride tasks force*. Faibanks,. Alaska.
94. Farcy, M., Doucouré, A., Diawara, C. K., & Perrier, L. M. (2008). Systèmes membranaires de potabilisation de l'eau dans les villages et centres non viabilisés. *Journal des Sciences et Technologies*, 7 (2), 51.
95. Fawell, J., Bailey, K., & Chilton, J. (2006). *Fluoride in drinking-water*. World Health Organization, Geneva, Switzerland..
96. Fleischer, M. (1953). *Recent Estimates of the Relative Abundance Of the Elements in the Earth's Crust*. Circular No. 285, US Geological Survey, Washington, DC,.
97. Fleischer, M., & Robinson, W. (1963). Some problems of the geochemistry of fluorine. *Royal Society of Canada Special Paper*, 58–75.
98. Fouskaki, M., Sotiropoulou MKoci, S., & Chaniotakis, N. (2003). . Morpholinoethanesulfonic acid-based buffer system for improved detection limit and stability of the fluoride ion selective electrode. *Anal. Chim. Acta*, 478, 77-84.
99. Frencken, J. (1992). *Endemic Fluorosis in developing countries, causes, effects and possible solutions*. Frencken, J.E. (editor). *Endemic Fluorosis in developing countries, causes, e Publication number 91.082, NIPG-TNO, Leiden, The Netherlands*,.
100. Fridriksson, S. (1983). Fluoride problems following volcanic eruptions. In: Shupe. J.L., Peterson, H.B. and Leone, N.C. (eds) *Fluorides. Effects on Vegetation, Animals and Humans*. Paragon Press, Salt Lake City, Utah, 339–344.
101. Fu, R., Niu R., Zhao, F., Wang, J., Cao, Q., Yu, Y., Liu, C., Zhang, D., Su, Z., (2022). Exercise alleviated intestinal damage and microbial disturbances in mice exposed to fluoride. *Chemosphere*, 288, 132658. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132658>

- 102.** Gaciri, S., & Davies, T. (1993). The occurrence and geochemistry of fluoride in waters of Kenya. *Hydrological sciences journal*, 143, 395-412.
- 103.** Georgsson, G., & Petursson, G. (1972). Fluorosis of sheep caused by the Hekla eruption in 1970. 58–66.
- 104.** GODFREY K., M. F. (2017). Standardizing Defluoridation of Community Waters Using Bone Char. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 131-139.
- 105.** Goldberg, M., (2018). Fluoride: Double-Edged sword implicated in caries prevention and in fluorosis. *Journal of Cell and Developmental Biology*, 1(1), 10-22. <https://doi.org/10.36959/596/444>
- 106.** Goni, J., Greffard, J., Leleu, M., & Monition, L. (1973). Le fluor dans les eaux de boisson. *Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, 22.
- 107.** Gouvernement, d. Q. (2001). Règlement sur la qualité de l'eau potable., IRQ4., c. Q-2, r., 1(1), 18.
- 108.** Goyer, N. (1981). Vue d'ensemble sur les substances toxiques: rapport sectoriel rédigé pour le Bureau d'étude sur les substances toxiques, Environnement Québec. Québec, Environnement Québec. Bureau d'étude sur les substances toxiques,.
- 109.** Guth, S., Hüser, S., Roth, A., Degen, G., Diel, P., Edlund, K., Eisenbrand, G., Engel, K-H., Epe, B., Grune, T., Heinz, V., Henle, T., Humpf, H-U., Jäger, H., Joost, H-G., Kulling, S. E., Lampen, A., Mally, A., Marchan, R., Marko, D., Mühle, E., Nitsche, M. A., Röhrdanz, E., Stadler, R., Thriel, C. V., Vieths, S., Vogel, R. F., Wascher, E., Watzl, C., Nöthlings, U., Hengstler, J. G., (2020). Toxicity of fluoride: critical evaluation of evidence for human developmental neurotoxicity in epidemiological studies, animal experiments and in vitro analyses. *Archives of Toxicology*, 94, 1375-1415. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02725-2>
- 110.** Hallanger Johnson, J., Kearns, A., Doran, P., Teck, k., & Wermers, R. (2007). Fluoride-related bone disease associated with habitual tea consumption. *Mayo Clinic Proceedings*, 82(6), 719-724.
- 111.** Halmer, M., Schminke, H.-U., & Graf, H.-F. (2002). The annual volcanic gas input into the atmosphere, in particular into the stratosphere: a global data set for the past 100 years. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 115, 511–528.
- 112.** Harrison, P. (2005). Fluoride in water: a UK perspective. *J. Fluor. Chem.*, 11-12.
- 113.** Harrison, P. T. C., (2005). Fluoride in water: a UK perspective. *Journal of Fluorine Chemistry*, 126(11), 1448-1456. <https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2005.09.009>
- 114.** Hazourli, S. Z. (2007). Valorisation d'un résidu naturel ligno-cellulosique en charbon actif-exemple des noyaux de dattes. *Revue des énergies renouvelables, ICRES*,(7), 187-192.
- 115.** Henmi, T., & Wada, K., (1974). Surface acidity of imogolite and allophane. *Clay Minerals*, 10(4), 231-245. <https://doi.org/10.1180/claymin.1974.010.4.02>
- 116.** Hichour M, P. F., Hichour, M., Persin, F., Sandeaux, J., Molénat, & Gavach. (1999). Défluoruration des eaux par dialyse de Donnan et électrodialyse. *revue des sciences de l'eau* 12/4. 671-686.

- 117.** Iaquaniello, G. M. (1985). L'influence de la granulometrie des boues residuaires urbaines sur leur deshydratation. the influence of granulometric characteristics of urban waste sludges on their dewatering process. *Environmental Technology*, 1-11(6), 289-296.
- 118.** INSPQ. (2011). Fluorures. In Gouvernement du Québec. Institut national de santé publique du Québec. Consulté le 11 10, 2021, sur <http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/198-CartableEau/Fluorures.pdf>.
- 119.** ISMAIL Z, A. H. (2013). Uptake of Fluoride from Water Using Recycled Raw Beef Bone as an Environmently Friendly Waste. *Journal of Engineering*(19 (12)), 1576-1585.
- 120.** ISMAIL, Z., & ABDELKAREEM, H. (2015). Sustainable Approach for Recycling WasteLamb and Chicken Bone for Fluoride Removal from Water Followed by ReusingFluoride-Bearing Waste in Concrete. *Journal Waste Management*,45, 66-75.
- 121.** Jackson, P., Harvey, P., & Young, W. (2002). Chemistry and Bioavailability Aspects of Fluoride in Drinking Water. WRC-NSF, Marlow, Buckinghamshire.
- 122.** Jagtap, S., Yenkie, M. K., Labhsetwar, N., & Rayalu, S. (2012). Fluoride in drinking water and defluoridation of water. *Chem. Rev*(112), 2454-2466.
- 123.** Jimenez-Cordova, M. I., Cardenas-Gonzalez, M., Aguilar-Madrid, G., Sanchez-Peñ, L. C., Barrera-Hernández, Á., Domínguez-Guerrero, I. A., González-Horta, C., Barbier, O. C., Del Razo, L. M., (2018). Evaluation of kidney injury biomarkers in an adult Mexican population environmentally exposed to fluoride and low arsenic levels. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 352, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2018.05.027>
- 124.** Kadri, A. K. (2022, April). Contribution to the Study of Fluoride Ion Concentrations in Groundwater and Its Impact on the Desert Areas of Southeastern Algeria. In *Sustainable Energy-Water-Environment Nexus in Deserts:Proceeding of the First International Conference on Sustainable Energy-Water-Environment Nexus in Desert Climates* . Cham: Springer International Publishing., 43-50.
- 125.** Kaminsky, L., Mahoney, J., Melius, J., & Miller, M. (2011). /1/4/261.full.pdf . Consulté le 11 10, 2021, sur <http://cro.sagepub.com/content>.
- 126.** Kanyora, A., Kinyanjui, T., Kariuki, S., Njogu, M., (2015). Fluoride removal capacity of regenerated bone char in treatment of drinking water. *Asian Journal of Natural & Applied Sciences*, 4(1), 30-36.
- 127.** Kaseva, M. E., (2006). Optimization of regenerated bone char for fluoride removal in drinking water: a case study in Tanzania. *Journal of Water and Health*, 4(1), 139-147. <https://doi.org/10.2166/WH.2006.0011>
- 128.** KASHI G. (2015). Removal of Flouride from Urban Drinking Water by Bone Char. *Journal of Chemical Engineering and Chemistry Research*, 2(7), 719-726.
- 129.** KASHI, G. (2015). Removal of Flouride from Urban Drinking Water by Bone Char. *Journal of Chemical Engineering and Chemistry Research*, (2(7),)719-726.

- 130.** Kharouf, F., Greenberg, A., Liebergall, M., Azraq, Y., Gur, C., (2022). The Osteosclerosis challenge: Toothpaste unveiling secrets. *Arthritis Care & Research*, 74(4), 549-554. <https://doi.org/10.1002/acr.24715>
- 131.** KILIAN, C. (1931). Les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. Soc. Géol. Fr. Paris.
- 132.** Kim, J-H., Lee, C-G., Park, J-A., Kang, J-K., Choi, N-C., Kim, S-B., (2013). Use of pyrophyllite clay for fluoride removal from aqueous solution. *Desalination and Water Treatment*, 51(16-18), 3408-3416. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.749198>
- 133.** 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. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.002>
- 134.** Kiritsy, M., Levy, S., Warren, J., Guha-Chowdhury, N., Heilman, J., & Marshall, T. (1996). Heilman Assessing fluoride concentrations of juices and juice-flavored drinks. Kiritsy, M.C., Levy, S.M., Warren, J.J., Guha-Chowdhury, N., Heilman, J.R. and Marshall, T. (1996). Assessing fluoride con *Journal of the American Dental Association*, vol. 127, n° 7, 895-902.
- 135.** Kirsch, P. (2004). Modern FLuoroorganic chemistry. pp. 5-6-9.
- 136.** Kolodynska, D., Wnetrzak, R., Leahy, J. J., Hayes, M. H. B., Kwapinski, W., Hubicki, Z., (2012). Kinetic and adsorptive characterization of biochar in metal ions removal. *Chemical Engineering Journal*, 197, 295-305. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.05.025>
- 137.** Konieczka, P., Zygmunt, B., & Namiesnik, J. (2000). Effect of fluoride content in drinking water in Tricity on its concentration in urine of pre-school children. *Toxicol. Environ. Chem.*74, 125-130.
- 138.** Koritnig, S. (1951). Ein Beitrag zur Geochemie des Fluor. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1, 89-116.
- 139.** Korneev, A. V., Frank-Kamenetskaya, O. V., Izatulina, A. R., (2020). About the role of fluorine-bearing apatite in the formation of oxalate kidney stones. *Crystals*, 10(6), 1-12. <https://doi.org/10.3390/cryst10060486>
- 140.** Krishnamachari, K. (1986). Skeletal fluorosis in humans: a review of recent progress in the understanding of the disease. *Progress in Food and Nutrition Science*. 279-314.
- 141.** Kumar, J. V., & Moss, M. E., (2008). Fluorides in dental public health programs. *Dental Clinics of North America*, 52(2), 387-401. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2007.11.003>
- 142.** Kurdi, M. S., (2016). Chronic fluorosis: The disease and its anaesthetic implications. *Indian Journal of Anaesthesia*, 60(3), 157-162. <https://doi.org/10.4103/0019-5049.177867>
- 143.** Leblanc, M. (2006). Les caractéristiques physico-chimiques particulières du fluor. *L'actualité chimique*(27), 301-302.
- 144.** Lee, C. F. (2009). Hybrid organic-inorganic rotaxanes and molecular shuttles. *Nature*, 458(7236), 314-318.

145. Lévy, M., Corbeil, F., Fortin, C., Lamarre, A., Shwartz, S., Tardif, R., & Vu, D. (2007). Lévy, M., Corbeil, F., Fortin Christian, Lamarre, J., Lavallière, A., Shwa Fluoration de l'Eau: Analyse des Bénéfices et des Risques pour la Santé. In Gouvernement du Québec. Institut national de santé publique du Québec. Consulté le 11 10, 2021, sur . <http://www.inspq.qc.ca>.
146. Li, M., Jin, X., Guo, F., Wu, G., Wu, L., Deng, S., (2019). Integrative analyses of key genes and regulatory elements in fluoride-affected osteosarcoma. *Journal of Cellular Biochemistry*, 120(9), 15397-15409. <https://doi.org/10.1002/jcb.28807>
147. 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. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-016-5779-y>
148. Liu Y, M. A. (2017). concentrations in a range of ready-to-drink beverages consumed in Heilongjiang Province, north-east China. *Nutrition and Health* 2017,(23(1)), 25-32.
149. Lounici, H. A. (2000). Le fluor dans l'eau potable et la fluorose. (E. N.-H. Laboratoire des Biotechnologies Environnementales, Interprète)
150. Ma, Z., Zhang, Q., Weng, X., Mang, C., Si, L., Guan, Z., Cheng, L., (2018). Fluoride ion adsorption from wastewater using magnesium (II), aluminum (III) and titanium (IV) modified natural zeolite: kinetics, thermodynamics, and mechanistic aspects of adsorption. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 8(4), 479-489. <https://doi.org/10.2166/wrd.2017.037>
151. Maheshwari, R. (2006). . Fluoride in drinking water and its removal. *J. Hazard. Mater.*137.
152. Malin, A. J., Lesueur, C., Busgang, S. A., Curtin, P., Wright, R. O., Sanders, A. P., (2019). Fluoride exposure and kidney and liver function among adolescents in the United States: NHANES, 2013-2016. *Environment International*, 132, 105012. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105012>
153. Mameri, N., Yeddou, A., Lounicim, H., Belhocinem, D., Grib, H., & Bariou, B. (1988). Defluoridation of Septentrional Sahara of North Africa by electrocoagulation process using bipolar aluminium electrodes *Wat. Res*, 32(5), 1604-1612.
154. Manipal, S., John, J., Saravanan, S., Arumugham, M., (2013). Levels of fluoride in various sources of drinking water available in Chennai – A household survey. *Journal of Advanced Oral Research*, 4(2), 1-7. <http://doi.org/10.1177/2229411220130203>
155. MARGAT, J. (1990). Les gisements d'eau souterraine. *La Recherche*, 221, 590-596.
156. Marier, J., & Rose, D. (1977, 08 14). <http://www.fluoridealert.org/NRC-Fluoride.htm#1.1.1>.
157. Martínez-Mier, E. A., (2012). Fluoride: Its Metabolism, Toxicity, and role in dental health. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, 17(1), 28-32. <https://doi.org/10.1177/2156587211428076>
158. Masindi, V., Gitari, W. M., Ngulube, T., (2015). Kinetics and equilibrium studies for removal of fluoride from underground water using cryptocrystalline magnesite. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 5(3), 282-292. <https://doi.org/10.2166/wrd.2015.080>

159. Maxime, P., Hervé, B., Courfia, K., & Hortense, E.-T. (2003). Studies of halide ions mass transfer in nano filtration application to selective defluorination of brackishwater. *Desalination*. (157), 127-134.
160. Maxime, P., Michel, R., Mariama, N., & Codou, M. (1996). Synthèse sur le problème de la fluorose bilan des connaissances et présentation d'une nouvelle méthode de Défluoruration des eaux de boisson,. 27-36.
161. Mazonie, P., & Mouchet, P. (1984). Procédés d'élimination du fluor dans les eaux alimentaire. *Revue Française des Sciences de l'Eau*,(3), 29 - 51.
162. Mazounie, P., & Moucet, P. (1984). procédés d'élimination du fluor dans les eaux alimentaires. *Rev. Française des Sciences de l'eau.*, 3, 1, 29-51.
163. McLaughlin, M., Tiller, K., Naidu, R., & Stevens, D. (1996). Review: the behaviour and environmental impact of Contaminants in fertilisers. *Australian Journal of Soil Research* 34, 1-54.
164. McLain, S. E., Benmore, C. J., Siewenie, J. E., Urquidi, J., & Turner, J. F. (2004). On the structure of liquid hydrogen fluoride. *Angewandte Chemie*, 116(15), 1986-1989
165. Medellin-Castillo, N. A., Leyva-Ramos, R., Ocampo-Perez, R., Garcia de la Cruz, R. F., Aragon-Piña, A., Martinez-Rosales, J. M., Guerrero-Coronado, R. M., Fuentes-Rubio, L., (2007). Adsorption of fluoride from water solution on bone char. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46(26), 9205-9212. <https://doi.org/10.1021/ie070023n>
166. Medellin-Castillo, N. A., Leyva-Ramos, R., Padilla-Ortega, E., Perez, R. O., Flores-Cano, J. V., Berber-Mendoza, M. S., (2014). Adsorption capacity of bone char for removing fluoride from water solution. Role of hydroxyapatite content, adsorption mechanism and competing anions. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(6), 4014-4021. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.12.105>
167. Meenakshi, S., Sundaram, C. S, Sukumar, R., (2008). Enhanced fluoride sorption by mechanochemically activated kaolinites. *Journal of Hazardous Materials*, 153(1-2), 164-172. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.08.031>
168. Meenakshi, V., Garg, Kavita, Renuka, & Anju, M. (2004). Groundwater quality in some villages of Haryana, India: focus on fluoride and fluorosis. *J Hazard Mater* 106B, 85–97.
169. Messaitfa A., (2008). Fluoride contents in groundwaters and the main consumed foods (dates and tea) in Southern Algeria region, *Environmental Geology*, 55: 377-383.
170. Messaitfa, A., & Safer, M. C. (2007). Fluoride contents in Ground Waters and The main consumed foods (Dates and tea) in Southern Algeria Region. *journal of Earth Sciences*, I(2), 70-75.
171. Messaitfa, A., (2008). Fluoride contents in groundwater. and the main consumed foods (dates and tea) in Southern Algeria region. *Environmental Geology*, 55(2), 377-383. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0983-4>
172. Mjengera, H., & Mkongo, G., (2003). Appropriate defluoridation technology for use in flourotic areas in Tanzania. *Physics and Chemistry of The Earth*, 28(20-27), 1097-1104. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2003.08.030>

173. Mohan, D. S.-F. (2011). Development of magnetic activated carbon from almond shells for trinitrophenol removal from water. . *Chemical Engineering Journal*, (2-3), (172), 1111-1125.
174. Mohapatra, D., Mishra, D., Mishra, S. P., Chaudhury, G. R., Das, R. P., (2004). Use of oxide minerals to abate fluoride from water. *Journal of Colloid and Interface Science*, 275(2), 355-359. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.02.051>
175. Mohapatra, M., Anand, S., Mishra, B. K., Giles, D. E., Singh, P., (2009). Review of fluoride removal from drinking water. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.08.015>
176. Moran Ayala, L. I., Paquet, M., Janowska, K., Jamard, P., Quist-Jensen, C. A., Bosio, G. N., Martire, D. O., Fabbri, D., Bof, V., (2018). Water defluoridation: Nanofiltration vs membrane distillation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 57(43), 14740-14748. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b03620>
177. Morin, P. R., Morin, p., Remington Graham, J., & Parent, G. (2005). La fluoration: Autopsie d'une erreur scientifique. Eastman, Berger., 315.
178. Morin, P., Remington Graham, J., & Parent, G. (2005). La fluoration: Autopsie d'une erreur scientifique. Eastman, Berger., 315.
179. Moufti, A., Jemjami, S., Mountadar, M., & Hamdani, A. (2004). Défluoruration des eaux d'exhaure de Youssoufia (Maroc) par percolation sur les cendres volantes de charbon. *Rev. Sci. Eau*, 17(4), 463-47.
180. Mountadar, M., Garmes, H., Bouraji, A., & Yousrani, M. (2000). Contamination des eaux souterraines et des sols par les fluorures et leur impact à proximité des mines et d'usines d'exploitation des phosphates (Maroc). *Cahiers de l'Association Scientifique Européenne*(5(1), 61 - 69.
181. Munteanu, A., Holban, A-M., Păuna, M-R., Imre, M., Farcașiu, A-T., Farcașiu, C., (2022). Review of professionally applied fluorides for preventing dental caries in children and adolescents. *Applied Sciences*, 12, 1-11. <https://doi.org/10.3390/app12031054>
182. Mutchimadilok, Y., Smittakorn, S., Mongkolnchai-arunya, S., Durnford, D., (2014). Defluoridation with locally produced Thai bone char. *Advances in Environmental Chemistry*, 2014, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2014/483609>
183. Nakamoto, T., & Rawls, H. R., (2018). Fluoride exposure in early life as the possible root cause of disease in later life. *The Journal of clinical pediatric dentistry*, 42(5), 325-330. <https://doi.org/10.17796/1053-4625-42.5.1>
184. National Research Council. (2006). Fluoride in drinking Water: A scientific review of EPA's standards. Washington DC,. National Academies Press, .
185. N'dao, I., Lagaude, A., & Travi, Y. (1992). défluoruration expérimentale des eaux souterraines du Sénégal par le sulfate d'aluminium et le polychlorosulfate basique d'aluminium, *Science et Technique de l'eau*. 23, 3, 243-249.

- 186.** NESSON, C. (1978). L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du Bas Sahara algérien. In : Recherche sur l'Algérie, (ed. CNRS),.
- 187.** Nigri, E. M., Cechinel, M. A. P., Mayer, D. A., Mazur, L. P., Loureiro, J. M., Rocha, S. D. F., Vilar ,V. J. P., (2017). Cow bones char as a green sorbent for fluorides removal from aqueous solutions: batch and fixed-bed studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 2364-2380. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7816-5>
- 188.** Norboevna, O. L. (2020). Obtaining activated carbon from the shells of apricot and peach seeds. *International journal on orange technologies*, (11),(2), 33-36.
- 189.** O.M.S. (1972). Fluor et santé, série de monographie. Genève,59.
- 190.** Olivier, M. (2009). Chimie de l'environnement. 6e éd édition. Lévis, Québec, Productions J. Bernie, 368 ((OCOLC)480966083).
- 191.** Onyango, M., Kojima, Y., Aoyi, O., Bernardo, E., & Matsuda, H. (2004). Adsorption equilibrium modelling and solution chemistry dependence of fluoride removal from water by trivalent-cation-exchanged zeolite F-9. *Colloid Interface Sci*(279), 341 - 350.
- 192.** OSS. (2003). Système Aquifère du Sahara Septentrional. Observatoire du Sahara et du Sahel.Hydrogéologie. Projet SASS. Coupes. Planches. Annexes. Tunis, Tunisie. 2, 275.
- 193.** OULD BABA SY, M. (2005). Recharge et paléorecharge du système aquifère du Sahara septentrional. Thèse de Doctorat en Géologie., 277. Tunisie., Faculté des Sciences de Tunis.
- 194.** OULD BABA, S. M., & BESBES, M. (2006, mai-1er juin 30). Holocene recharge and present recharge of the saharan aquifers.A study by numerical modeling, Colloque international Gestion des grands aquifères. Dijon, France.
- 195.** Owusu-Agyeman, I., Reinwald, M., Jeihanipour, A., Schäfer, A. I., (2019). Removal of fluoride and natural organic matter from natural tropical brackish waters by nanofiltration/reverse osmosis with varying water chemistry. *Chemosphere*, 217, 47-58. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.135>
- 196.** Padhi, S., & Muralidharan. (2012). Fluoride occurrence and mobilization in geo-environment of semi-arid granite watershed in southern peninsular India. *Environ*.
- 197.** Paudyal, H., Inoue, K., Kawakita, H., Ohto, K., Kamata, H., Alam, S., (2018). Removal of fluoride by effectively using spent cation exchange resin. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20, 975-984. <https://doi.org/10.1007/s10163-017-0659-4>
- 198.** Peicher, K., & Maalouf, N. M., (2017). Skeletal fluorosis due to fluorocarbon inhalation from an air dust cleaner. *Calcified Tissue International*, 101, 545-548. <https://doi.org/10.1007/s00223-017-0305-0>
- 199.** Petrone, P. G., Petrone, P., Guarino, F., Giustino, S., & Gombos, F. (2013). Ancient and recent evidence of endemic fluorosis in the Naples area. *J. Geochem. Explor.* 131, 14-27.
- 200.** Piekos, R., & Paslawska, S. (1998). Fluoride uptake characteristics of fly ash. *Journal of Fluoride*, 4(31), 14-19.

201. Pierre, M. (2002). Les eaux souterraines riches en fluor dans le monde, Maison de science de l'eau de Montpellier UMR 5569 HYDROSCIENCES CNRS-UMII. IRD.
202. Poey, J., Elsair, J., Morgan, P., Reggabi, M., Hataab, F., (1976). Evaluation of biologic balance as a function of radiologic status in a population living in a endemic fluoride zone of southern Algeria. *European journal of toxicology and environmental hygiene*, 9(3), 179-186.
203. Rabosky, J., James, P., & Miller, J. (1975). fluoride removal by lime and alum and polyelectrolyte coagulation. *J.Q. W.W*, 3(50), 669-676.
204. Rahm, M. Z. (2018). Electronegativity seen as the ground-state average valence electron binding energy. *Journal of the American Chemical Society*, 1(141), 342-351.
205. Rambabu, K. B. (2019). Activated carbon from date seeds for chromium removal in aqueous solution. *Desalin Water Treat*,(156,), 267-277.
206. Rao, P. M. (1988). Studies on distribution of fluoride in water sources of hyderabad. *Journal of Fluorine Chemistry*, 1(41), 9-16.
207. Rao, S. M., Reddy, B. V. V., Lakshmikanth, S., Ambika, N. S., (2009). Re-use of fluoride contaminated bone char sludge in concrete. *Journal of Hazardous Materials*, 166(2-3), 751-756. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.11.115>
208. Rasool, A., Farooqi, A., Xiao, T., Ali, S., Ali, W., Noor, S., . . . Nasim, W. (2017). A review of global outlook on fluoride contamination in groundwater with prominence on the Pakistan current situation. *Environ. Geochem. Health*, 1-17.
209. rodier, J. (1996). l'analyse de l'eau (8e édition). 307-310. Paris.
210. Rodier, J., & Coll. (2005). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8ème édition , Paris. 219 - 310.
211. ROJAS., C. A. (2013). Optimization of Pyrolysis Condition and Adsorption Properties of Bone Char for Fluoride Removal from Water. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*(104), 10-18.
212. Rosi, M., Papale, P., Lupi, L., & Stoppato, M. (2003). *Volcanoes*. Firefly Books Ltd, Spain,.
213. ROUVILLOIS-BRIGOL, M. (1975). *Le Pays d'Ouargla*. Publications du Département de Géographie de Paris – Sorbonne., Paris, . 382.
214. ROY, S., & DASS, G. (2013). Fluoride Contamination in Drinking Water-A Review. 3(3), *Journal of Resources and Environment*, 53-58.
215. RUGSYAH N., M. H. (2014). Chickeen Bone Charcoal for Defluoridation of Groundwater in Indonesia. . *Journal of Polutry Science*, 10(13), 591-596.
216. S Kiran Kumar, R., Dinesh Kumar, S., & Harish, G. (2019). GIS-based prediction of groundwater fluoride contamination zones in Telangana, India. *J. Earth Syst. Sci.*
217. Safer, M. C. (2007). Fluoride contents in Ground Waters and Themain consumed foods (Dates and tea) in Southern Algeria Region. *journal of Earth Sciences I* 2, 70-75.

- 218.** Samb, F. (2004). Problématique du fluor dans l'alimentation en eau potable du Sénégal. Analyse de la situation - proposition de solution. Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur., 64 . Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar,.
- 219.** Sandoval, M. A., Fuentes, R., Thiam, A., Salazar, R., (2021). Arsenic and fluoride removal by electrocoagulation process: A general review. *Science of The Total Environment*, 753, 142108. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142108>
- 220.** Santé Canada . (2007). . Santé de l'environnement et du milieu de travail, fluorures inorganiques - LSIP1. In Santé Canada. Site internet de Santé Canada. Information sur le fluor sa provenance, les fluorures, leurs effets sur la santé, sur la terre, eau, sol.
- 221.** Saoud, D. (2009). Etude de l'effet des dérivés organiques sur la formation de lithiase urinaire dans la région du Sud-Est Algérienne (Doctoral dissertation, . Thèse de Magister, Université de Ouargla) .
- 222.** Saravanan, R., Gupta, V. K., Mosquera, E., Gracia, F., Palma Behnke, R., (2014). Preparation and characterization of V2O5/ZnO nanocomposite system for photocatalytic application. *Journal of Molecular Liquids*, 198, 409-412. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2014.07.030>
- 223.** Sawangjang, B., Induvesa, P., Wongrueng, A., Pumas, C., Wattanachira, S., Rakruam, P., Punyapalakul, P., Takizawa, S., Khan, E., (2021). Evaluation of fluoride adsorption mechanism and capacity of different types of bone char. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 6878. <https://doi.org/10.3390/ijerph18136878>
- 224.** Sayanthoran, S., Gunerathne, L., Abeysekera, T. D .J., Magana-Arachchi, D. N., (2018). Transcriptome analysis supports viral infection and fluoride toxicity as contributors to chronic kidney disease of unknown etiology (CKDu) in Sri Lanka. *International Urology and Nephrology*, 50, 1667-1677. <https://doi.org/10.1007/s11255-018-1892-z>
- 225.** Scott, R., Kimberly, A., Van Horn, A., & Waring, F. (1937). fluoride in Ohio water-supplies, its effect occurrence and reduction. *J.A.W.W.A*, 29, 1, 9-25.
- 226.** Secci, G. (2010). Manuel d'hygiène bucco-dentaire destiné à la formation de prophylaxistes. In Secours Dentaire International. Secours Dentaire International,. Récupéré sur <http://www.secoursdentaire.ch/download/MANUEL%202.pdf>.
- 227.** Sellami, M., Riahi, H., Maatallah, K., Ferjani, H., Bouaziz, M. C., Ladeb, M. F., (2020). Skeletal fluorosis: don't miss the diagnosis. *Skeletal Radiology*, 49, 345-357. <https://doi.org/10.1007/s00256-019-03302-0>
- 228.** Shahid, M. K., Kim, J. Y., Shin, G., Choi Y-G., (2020). Effect of pyrolysis conditions on characteristics and fluoride adsorptive performance of bone char derived from bone residue. *Journal of Water Process Engineering*, 37, 101499. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101499>
- 229.** Simpson, A., Shaw, L., & Smith, A. (2001). The bio-availability of fluoride from black tea. *J. Dent.* 29, 15-21.

230. Singer, L., & Ophaug, R. (1986). Determination of fluoride in foods. *J Agric Food Chem* 34, 510-513.
231. Singh, A., & Singh, J., (2021). Chapter 1 - Effects on Human Health due to Fluoride. *In Green Technologies for the Defluoridation of Water*, pp. 1-16. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85768-0.00006-3>
232. Singh, R. (2023). *Soil and Water Conservation Structures Design (Vol. 123)*. Springer Nature.
233. SONATRACH. (2007). Société Nationale pour la Recherche la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures. Well Evaluation Conference (p. 536).
234. Srimulari, M., Pragathi, A., & Karthikeyan, J. (1998). A study on removal of fluorides from drinking water by adsorption onto low-cost materials. *Environ Pollut.*(99), 285.
235. Srivastava, S., & Flora, S. J. S., (2020). Fluoride in Drinking Water and skeletal fluorosis: a review of the global impact. *Current Environmental Health Reports*, 7, 140-146. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00270-9>
236. Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes,. (1997). *Dietary reference intakes for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D, and Fluoride*. Washington, DC, USA, Natipnal Academies Press,.
237. Stangvaltaite-Mouhat, L., Puriene, A., Stankeviciene, I., Aleksejuniene, J., (2021). Fluoride in the drinking water and dental caries experience by tooth surface susceptibility among adults. *BMC Oral Health*, 21(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01598-w>
238. Stavropoulos, G. G. (2005). Production and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue. *Microporous and mesoporous materials*, (1-2), (82), 79-85.
239. Štepec, D. &.-S. (2019). Fluoride in human health and nutrition. *Acta Chimica Slovenica*, (2)(66), 255-275.
240. Suneetha, M., Sundar, B. S., Ravindhranath, K., (2015). Removal of fluoride from polluted waters using active carbon derived from barks of *Vitex negundo* plant. *Journal of Analytical Science & Technology*, 6(1), 1-19. <https://doi.org/10.1186/s40543-014-0042-1>
241. Susheela, A., Kumar, A., Bhatnagar, M., & Bahadur, M. (1993). Prevalence of endemic fluorosis with gastro-intestinal manifestations in people living in some north-Indian villages. *Fluoride* 26:97-104.
242. Swain, S. K., Mishra, S., Patnaik, T., Patel, R. K., Jha, U., Dey, R. K., (2012). Fluoride removal performance of a new hybrid sorbent of Zr(IV)-ethylenediamine. *Chemical Engineering Journal*, 184, 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.12.091>
243. Symonds, R. R., Symonds, R., Rose, W., & Reed, M. (1988). Contribution of Cl- and F-bearing gases to the atmosphere by volcanoes. *Nature* 334. 415-418.
244. Tabouche, A. (2004, Juin 03). Etude de La Qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional Algérien. p. 111.

245. Tahaikt, M., El Habbani, R., Ait Haddou, A., Achary, I., Almi, A., Boughriba, A., & Hafisi Elmidaoui, A. (2007). Fluoride removal from groundwater bynanofiltration.Desalination. 46–53.
246. Taves, D. (1983). Dietary intake of fluoride ashed (total fluoride) .unashed (inorganic fluoride) analysis of individual foods. *Br J Nutr*, 295-301.
247. Tchomgui-Kamga, E., Ngameni, E., Darchen, A., (2010). Evaluation of removal efficiency of fluoride from aqueous solution using new charcoals that contain calcium compounds. *Journal of Colloid and Interface Science*, 346(2), 494-499. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.01.088>
248. 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. *Science of The Total Environment*, 367(1), 182-190. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.11.003>
249. Thakre, D., Rayalu, S., Kawade, R., Meshram, S., Subrt, J., Labhsetwar, N., (2010). Magnesium incorporated bentonite clay for defluoridation of drinking water. *Journal of Hazardous Materials*, 180(1-3), 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.04.001>
250. Thippeswamy, H. M., Devananda, D., Nanditha Kumar, M., Wormald, M. M., Prashanth, S. N., (2021). The association of fluoride in drinking water with serum calcium, vitamin D and parathyroid hormone in pregnant women and newborn infants. *European Journal of Clinical Nutrition*, 75, 151-159. <https://doi.org/10.1038/s41430-020-00707-2>
251. Thomson, R., McMullen, T., & rt Morgan, G. (1971). Fluoride concentrations in the ambient air pollutantcotrole assoc.21. 484-487.
252. Tine, S. C., Diop, C. M., Samb, F. M., Nong, M., & Thiam, E. D. (2008). L’adsorption du fluor par les os calcines : étude des paramètres cinétiques. *Journal des Sciences et Technologie*, 7(2), 57-62.
253. Tirkey, P., Bhattacharya, T., Chakraborty, S., (2018). Optimization of fluoride removal from aqueous solution using Jamun (*Syzygium cumini*) leaf ash. *Process Safety and Environmental Protection*, 115, 125-138. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.10.022>
254. Tokalioglu, S. (2004). Determination of fluoride in various samples andinfusions using a fluoride selective electrode. *Turkish Journal of Chemistry*,(28), 203-211.
255. Toumba, K. J., Twetman, S., Splieth, C., Parnell, C., Loveren, C. van, Lygidakis, N. A., (2019). Guidelines on the use of fluoride for caries prevention in children: an updated EAPD policy document. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 20, 507-516. <https://doi.org/10.1007/s40368-019-00464-2>
256. Tovar-Gómez, R., Moreno-Virgen, M., Dena-Aguilar, J., & Hernández-Montoya, V. (2013). Tovar-Gómez, R., Moreno-Virgen, M., Dena-Aguilar, J., Hernández-Montoya, V., Bonil Modeling of fixed-bed adsorption of fluoride on bone char using a hybrid neural network approach. *Chem. Eng. J.* 228, 1098-1109.

257. Travi, Y. (1993). Hydrogéologie et hydrochimie des aquifères du Sénégal, hydrogéochimie du fluor dans les eaux souterraines., Mémoire n°95, ISSN 0302– 2684, .161.
258. Tripathy, S., Bersillon, J.-L., & Gopal, K. (2006). Removal of fluoride from drinking water.
259. Ullah, R., Zafar, M. S., Shahani, N., (2017). Potential fluoride toxicity from oral medicaments: A review. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 20(8), 841-848. <https://doi:10.22038/IJBMS.2017.9104>
260. UNESCO. (1972). United Nations Educational Scientific and Cultural Organisation . Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional. Rapport final (ERESS project: study of the northern Sahara water resources) . Paris.
261. United States Public Health Service (USPHS), (2015). Recommendation for fluoride concentration in drinking water for prevention of dental caries. *Public Health Reports*, 130(4), 318-331. <https://doi:10.1177/003335491513000408>
262. Venkateswarlu. (1975). Determination of total fluorine in serum and other biological material by oxygen bomb and reverse extraction techniques. *Anal Biochem* 68, 512-521.
263. Veressinina, Y., Trapido, M., Ahelik, V., & Munter, R. (2001). Fluoride in drinking water: the problem and its possible solutions. *Proc Estonian Acad Sci Chem*(50), 81-88.
264. Viel, C. (2006). Aspects historiques de l'isolement du fluor. *L'actualité chimique*(8), 301-302.
265. Waghmare, S., Arfin, T., Rayalu, S., Lataye, D., Dubey, S., & Tiwari, S. (2015). Adsorption behavior of modified zeolite as novel adsorbents for fluoride removal from drinking water: surface phenomena, kinetics and thermodynamics studies. *IJRRSET* 4 (12), 4114–4124.
266. Wang, L., Zhang, Y., Sun, N., Sun, W., Hu, Y., Tang, H., (2019). Precipitation methods using calcium-containing ores for fluoride removal in wastewater. *Minerals*, 9(9), 1-12. <https://doi.org/10.3390/min9090511>
267. Wang, Y., & Reardon, E. (2001). Activation and regeneration of a soil sorbent for defluoridation of drinking water. *Appl Geochem*(6), 531-539.
268. Wang, Y., & Reardon, E. J., (2001). Activation and regeneration of a soil sorbent for defluoridation of drinking water. *Applied Geochemistry*, 16(5), 531-539. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(00\)00050-0](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(00)00050-0)
269. Warren, J. J., & Levy, S. M., (2003). Current and future role of fluoride in nutrition. *Dental Clinics of North America*, 47(2), 225-243. [https://doi.org/10.1016/S0011-8532\(02\)00098-8](https://doi.org/10.1016/S0011-8532(02)00098-8)
270. WEC. (2007). La géologie pétrolière de l'Algérie. In Sonatrach – Schlumberger Well Evaluation Conference. Édité par Schlumberger, 2007., Algérie.
271. Weinstein, L. H. (1926). Fluorides in the environment / by L.H.Weinstein and A. Davison.
272. Weinstein, P. L., & Davison, P. A. (2003). Fluorides in the Environment, Effects on Plants and Animals. 8.
273. Whitford, G. M., (2011). Acute toxicity of ingested fluoride. *Monographs in oral science*, 22, 66-80. <https://doi.org/10.1159/000325146>

274. WHO. (1970). Fluorides and Human Health., (p. 364). Geneva.
275. WHO. (2002). Environmental Health Criteria 227, World Health Organization, Geneva.
276. WHO. (2006). Guidelines for drinking-water quality. First addendum to third edition., Recommendations. World Health Organization., 1.
277. World Health Organization (WHO), (2006). Guidelines for Drinking Water Quality, vol. 1, Recommendations. – 3rd ed. Geneva, 515 p.
278. World Health Organization . (2002). Environmental Health Criteria for Fluorides. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data édition.
279. Yadav, A. K., Abbassi, R., Gupta, A., Dadashzadeh, M., (2013). Removal of fluoride from aqueous solution and groundwater by wheat straw saw dust and activated carbon of sugarcane. *Ecological Engineering*, 52, 211-218. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.069>
280. Yami, T. L, Chamberlain, J. F., Butler, E. C., Sabatini, D. A., (2017a). Using a high-capacity chemically activated cow bone to remove fluoride: field-scale column tests and laboratory regeneration studies. *Journal of Environmental Engineering*, 143(2), 04016083. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001169](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001169)
281. Yami, T. L, Chamberlain, J. F., Butler, E. C., Sabatini, D. A., (2017a). Using a high-capacity chemically activated cow bone to remove fluoride: field-scale column tests and laboratory regeneration studies. *Journal of Environmental Engineering*, 143(2), 04016083. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001169](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001169)
282. Yami, T. L., Du, J., Brunson, L. R., Chamberlain, J. F., Sabatini, D. A., Butler, E. C., (2015b). Life cycle assessment of adsorbents for fluoride removal from drinking water in East Africa. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(9), 1277-1286. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0920-9>
283. Yang, C. L., & Dluhy, R. (2002). Electrochemical generation of aluminum sorbent for fluoride adsorption., *J. of Hazardous Materials*(94(3)), 239.
284. youcef, L. o. (2014, Mars). étude du pouvoir adsorbant du charbon actif en poudre pour l' élimination des phosphates des eaux naturel. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680,, 14, 35-46.
285. Zhang, Q., Xu, P., Qian, H., Yang, F., (2020). Hydrogeochemistry and fluoride contamination in Jiaokou Irrigation District, Central China: Assessment based on multivariate statistical approach and human health risk. *Science of The Total Environment*, 741, 140460. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140460>
286. Zhu, H., Wang, H., Wang, G., Zhang, K., (2011). Removal of fluorine from water by the aluminum-modified bone char. In: International Conference on Biology, Environment and Chemistry IPCBEE, 1, 455-457. <https://doi.org/10.1109/ICETCE.2011.5774229>

ملحق 01

المعايير النظامية للمنظمة العالمية للصحة (O.M.S, 1972)

تركيز > (mg/l)[F]	تركيز < (mg/l)[F]	درجة الحرارة في ماء	
1,7	0,9	12	10
1,5	0,8	14,6	12,1
1,3	0,7	17,6	14,7
1,2	0,7	24,4	17,7
1	0,7	26,2	24,5
0,8	0,6	32,6	26,3

معايير محتوى أيون الفلوريد في الماء للاستهلاك البشري كدالة لمتوسط درجة حرارة الماء السنوية (WHO ;1985).

تركيز (mg/l)[F] الأقصى	تركيز (mg/l)[F] الاعظمي	تركيز (mg/l)[F] الميثالي	درجة الحرارة في ماء
1,640	1,074	1,000	10
1,548	1,024	0,956	10,55
1,465	0,979	0,916	11,11
1,393	0,940	0,888	11,67
1,329	0,905	0,848	12,22
1,270	0,873	0,821	12,78
1,218	0,844	0,796	13,33
1,170	0,819	0,773	13,89
1,127	0,795	0,752	14,45
1,088	0,774	0,733	15
1,048	0,752	0,714	15,55
1,015	0,734	0,698	16,11
0,983	0,716	0,682	16,67
0,953	0,700	0,667	17,22
0,925	0,685	0,654	17,78
0,897	0,670	0,640	18,33
0,874	0,657	0,629	18,89
0,850	0,644	0,618	19,45
0,820	0,632	0,600	20
0,807	0,621	0,597	20,55
0,807	0,610	0,587	21,11
0,800	0,610	0,587	إلى 27,77 21,66
0,700	0,610	0,587	28,33 إلى 32,22

تركيز أيون الفلوريد في مياه الشرب كدالة للمتوسط السنوي لدرجات حرارة الهواء القصوى اليومية. معيار الولايات المتحدة الأمريكية.

تركيز أيون الفلوريد في مياه الشرب في (ملغم / لتر)				الفاصل الزمني للتباين في المتوسط السنوي بدرجات الحرارة القصوى يوميًا في (درجة مئوية)
الحدود	الحد الأقصى	الأمثل	الحد الأدنى	
2.2	1.7	1.2	0.9	من 10 إلى 12
2.2	1.5	1.1	0.8	من 12.22 إلى 15.6
2	1.3	1	0.8	من 14.7 إلى 17.7
1.8	1.2	0.9	0.7	من 17.8 إلى 21.4
1.6	1	0.8	0.7	من 21.5 إلى 26.2
1.4	0.8	0.7	0.6	من 26.3 إلى 32.5