



Université d'Oran 2



Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master 2

Sciences de la Terre

Option : Hydrosystèmes et Ressources en Eau

THÈME

**ÉVALUATION DE LA QUALITE HYDROCHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE DE
LA SOURCE D'EL ANÇOR LA REGION DE KRISTEL**

Présenté par :

M. BELDJILALI ikram

Devant le jury composé de :

M. BAKHTI Amel

Université d'Oran 2

Présidente

M. BELKHIR Khadidja

Université d'Oran 2

Encadrante

Mr. BERGANE Cheikh

Université d'Oran 2

Examineur

Année universitaire : 2025/2026



Remerciements :

En premier lieu, je tiens à remercier Dieu le Tout-Puissant de m'avoir donné la volonté et le courage pour achever ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon encadreuse, **Madame BELKHIR Khadidja**, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour sa patience, sa disponibilité et ses conseils précieux qui m'ont permis de mener à bien ce mémoire.

Je tiens également à remercier particulièrement **Madame BAKRETI Amel**, pour sa générosité et son aide précieuse, notamment pour m'avoir permis de consulter ses travaux précédents, ce qui a grandement facilité l'orientation de mes recherches.

Mes remerciements s'étendent également à l'ensemble des enseignants de la faculté qui ont contribué à ma formation tout au long de mon cursus universitaire.

Mes remerciements s'adressent aussi à l'ensemble du personnel du laboratoire de la **SEOR (Oran)**, pour leur accueil et leur assistance technique durant ma période de stage et la réalisation des analyses.

Enfin, j'adresse ma reconnaissance aux membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce travail.



Dédicace :

Je dédie ce modeste travail :

- *À mes très chers parents **Mr Mohammed** et **Mme B.Meriem**, pour leur amour infini, leur soutien indéfectible et les nombreux sacrifices qu'ils ont consentis pour mon éducation. Que Dieu leur prête longue vie.*
- *À mes chers grands-parents **Mr Cherif** et **Rokaya**, source de tendresse, de sagesse et pour leurs prières.*
- *À mon frère **Zouhaire** et ma sœur **Malek**, pour leur présence et leurs encouragements constants.*
- *À mes chères amies, avec qui j'ai partagé les moments inoubliables de ce parcours universitaire.*
- *À tous ceux qui me sont chers.*

Beldjilali Ikram

❖ **Abstract:**

-Title: Evaluation of the Hydrochemical and Bacteriological Quality of El-Ançor Spring, Kristel Region (1999–2026) (North-Western Algeria)

❖ **Abstract:**

This study aims to assess the physico-chemical and microbiological quality of the El-Ançor Spring (Kristel, Oran). The methodology integrates historical data (1999-2024) with recent sampling from October 2025 and a final field investigation conducted in May 2026. While hydrochemical modeling reveals a stable chloride-calcium facies, recent analyses show significant bacteriological contamination and a spike in ammonium (3.95 mg/L). The May 2026 field visit confirmed the presence of sewage-related pollution sources near the spring and identified the installation of a new distribution pipe. The study concludes that this ongoing organic and bacterial degradation renders the water unfit for human consumption, requiring immediate protection of the catchment area.

-Keywords: Hydrochemistry, Kristel, El-Ançor Spring, Bacteriology, Piper Diagram, Wilcox, Water Quality, Organic pollution, Distribution pipe.

❖ **Résumé :**

-Titre : évaluation de la qualité hydrochimique et bactériologique de la source d' El-Ançor la région de kristel (1999-2026) (Nord-Ouest Algérien).

-Résumé : Cette étude porte sur l'évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique de la source El-Ançor (Kristel, Oran). La démarche s'appuie sur une approche comparative entre les données historiques (1999-2024), la campagne d'octobre 2025 et une enquête de terrain complémentaire réalisée en mai 2026. Si le faciès chloruré-calcique reste stable, les résultats récents révèlent une pollution bactériologique sévère et un pic d'ammonium (3,95 mg/L). La visite de terrain en mai 2026 a permis de confirmer des sources de pollution par les eaux usées à proximité de la source et de vérifier l'installation d'une nouvelle conduite de distribution. L'étude conclut que cette dégradation organique et bactérienne rend l'eau impropre à la consommation humaine, nécessitant une protection urgente du périmètre de captage.

-Mots-clés : Mots-clés : Hydrochimie, Kristel, Source El-Ançor, Bactériologie, Diagramme Piper, Wilcox, Qualité des eaux, Pollution organique, Conduite de distribution.

❖ ملخص :

-العنوان :تقييم الجودة الهيدروكيميائية والبكتيريولوجية لعين العنصر في منطقة كريستل (1999-2026) (شمال غرب)الجزائر

- ملخص :

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الجودة الفيزيوكيميائية والميكروبيولوجية لمياه منبع "El-Ançor" بمنطقة كريستل (وهران). اعتمد المنهج المتبع على مقارنة البيانات التاريخية (1999-2024) مع نتائج حملة أكتوبر 2025، بالإضافة إلى معاينة ميدانية تكميلية أجريت في مايو 2026. أظهرت النمذجة الهيدروكيميائية ثبات الفصيلة الكيميائية الكلورية-الكلسية، لكن النتائج الأخيرة كشفت عن تلوث بكتيريولوجي حاد ونسبة عالية من الأمونيوم (3.95 ملغ/لتر). وقد أكدت الزيارة الميدانية في مايو 2026 وجود مصادر تلوث مياه الصرف الصحي بالقرب من المنبع، كما تم توثيق تركيب أنبوب توزيع جديد. تخلص الدراسة إلى أن استمرار التلوث العضوي والبكتيري يجعل المياه غير صالحة للاستهلاك البشري حالياً، مما يستوجب حماية عاجلة لمحيط الحماية.

-الكلمات المفتاحية :الهيدروكيمياء، كريستل، منبع العنصر، البكتيريولوجيا، مخطط بايبيير، جودة المياه، تلوث عضوي، قناة توزيع



TABLE DES MATIÈRES

Remerciements.....	
Dédicace	
Résumé.....	
Introduction Générale	1
<i>Chapitre I : Qualité, Vulnérabilité et Pollution des Eaux Souterraines</i>	
I.1. Introduction	4
I.1.1. Origines des eaux souterraines.....	4
I.1.1.a. Eaux météoriques.....	4
I.1.1.b. Eaux connées	4
I.1.1.c. Eaux juvéniles	4
I.1.2. Différents types d'eau souterraine	5
I.1.3. Nappes d'eau.....	5
I.1.3.1. Différents types de nappes.....	5
I.2. Qualité des eaux souterraines.....	7
I.2.1 La qualité organoleptique.....	7
I.2.2. Qualité physico-chimique.....	7
I.2.2.1. Température (T°).....	7
I.2.2.2. Turbidité	8
I.2.2.3. Résidu sec.....	8
I.2.2.4. Conductivité électrique.....	8
I.2.2.5. Potentiel Hydrogène (pH).....	9
I.2.2.6. Minéralisation globale	9
I.2.2.6.a Facteurs d'influence.....	9
I.2.2.6.b Caractéristiques selon la nature du réservoir.....	10

I.2.2.7 Eléments majeurs	11
I.2.2.7.a Calcium (Ca^{2+}).....	11
I.2.2.7.b Sodium (Na^+)	11
I.2.2.7.c Magnésium (Mg^{2+}).....	11
I.2.2.7.d Potassium (K^+).....	11
I.2.2.7.e Les sulfates (SO_4^{2-})	11
I.2.2.7.f Bicarbonate (HCO_3^-)	12
I.2.2.7.g Chlorures (Cl^-).....	12
I.2.2.7.h Nitrates (NO_3^-)	12
I.2.2.7.i Nitrites (NO_2^-)	13
I.2.2.7.j Silice (SiO_2)	13
I.2.3. Qualité microbiologique de l'eau	13
I.2.3.1 Les coliformes totaux.....	14
I.2.3.2 Coliformes fécaux ou Coliformes thermotolérants.....	14
I.2.3.3 Les streptocoques fécaux.....	14
I.2.3.4 Clostridium sulfito-réducteur	15
I.3 Normes de potabilité et critères de qualité des eaux de consommation	15
I.4 Détérioration de la qualité.....	15
I.4.1. Vulnérabilité des nappes à la pollution.....	15
I.4.2. Principaux types et origine des pollutions.....	18
I.4.2.1. Pollution temporaire et pollution chronique.....	18
I.4.2.2. Pollution ponctuelle et diffuse	18
I.4.2.3. Pollution linéaire.....	19
I.4.2.4. Pollutions historiques.....	19
I.4.3 Sources de pollution.....	19
I.4.3.1 Pollution d'origine domestique.....	19
I.4.3.2 Pollution d'origine industrielle.....	20

I.4.3.3 Origine agricole	20
I.4.3.4 Origine urbaines et routières.....	22
I.4.3.5 Injection de produits toxiques dans le sous-sol.....	22
I.4.4 Nature des polluants.....	22
I.4.4.1 La pollution minérale	22
I.4.4.1.a Composés azotés	22
I.4.4.1.b Métaux	22
I.4.4.1.c Autres corps	23
I.4.4.2 La pollution organique	23
I.4.4.2.a Dégradation de la matière organique.....	23
I.4.4.2.b Hydrocarbures.....	23
I.4.4.2.c Substances synthétiques.....	23
I.4.4.3. La pollution microbiologique	24
I.5. Maladies transmises par l'eau	24
I.5.1. Maladies d'origine bactérienne	25
I.5.1.1. Choléra.....	25
I.5.1.2. La dysenterie bacillaire	25
I.5.2. Infections virales.....	25

Chapitre II : Cadre Régional, Zone d'Étude et Méthodologie Expérimentale.

II.1 Situation géographique et caractéristiques de la wilaya d'Oran.....	26
II.1.1 Situation Géographique	26
II.1.2 Situation géologique.....	27
II.1.3 Situation topographique	28
II.1.4 Aspect géomorphologique.....	30
II.2. Le climat.....	30
II.3 Hydrogeologie	31
II.3.1. Les réservoirs	31
II.3.2. Le réseau hydrographique	32

II.3.3. Les puits	33
II.3.4. Les forages.....	33
II.4 Cadre géographique de la zone d'étude	34
II.5 Méthodologie de l'étude et sources des données analytiques.....	36
II.5.1 Conduite d'essai	36
II.5.2 Prélèvement des échantillons d'eau	36
II.5.3 Acquisition des données et échantillonnage.....	37
II.6 Méthodes d'analyses	38
II.7 Les outils de traitement des données.....	47

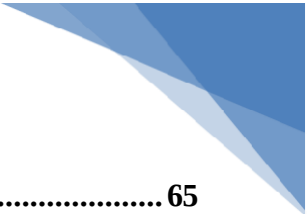
Chapitre III : Résultats, Discussion et Diagnostic Environnementa

III.1 Synthèse des résultats d'analyses.....	48
III.2 Interprétation et discussion des résultats (Période 1999-2000).....	48
III.2.1 Caractérisation hydrochimique	48
III.2.1.1 la Facies Hydrochimique (Piper).....	48
III.2.1.2 la stabilité physico-chimique (Schoeller-Berkaloff).....	50
III.2.2 La signature ionique et aptitude à l'irrigation.....	51
III.2.2.1 Caractérisation morphologique et hydrochimique (Stiff)	52
III.2.2.2 La qualité des eaux pour l'irrigation (Wilcox)	54
III.2.3 Conclusion Générale (Données Historiques)	55
III.3. Analyse de l'évolution de la quality (Période 2013-2025).....	56
III.3.1. Évolution des paramètres physico-chimiques.....	56
III.3.1.1 Interprétation du Potentiel d'Hydrogène(pH).....	57
III.3.1.2 Interprétation de la Conductivité Électrique.....	58
III.3.1.3 Interprétation du Résidu Sec.....	59
III.3.1.4 Interprétation de l'Ammonium (NH_4^+)	60
III.3.1.5 Interprétation du Calcium (Ca^{2+}).....	61
III.3.1.6 Interprétation des concentrations en Magnésium (Mg^{2+})	62

III.3.1.7 Interprétation des Chlorures (Cl^-)	63
III.3.1.8 Interprétation des Nitrates (NO_3^-)	64
III.3.1.9 Interprétation de l'Oxydabilité	65
III.3.1.10 Interprétation des Sulfates (SO_4^{2-})	66
III.3.1.11 Interprétation des Fluorures (F^-)	67
III.3.2 Évaluation de la qualité bactériologique.....	69
III.3.2.1 Interprétation de l'évolution des Bactéries coliformes	69
III.3.2.2 Interprétation de l'évolution des Entérocoques.....	71
III.3.2.3 Interprétation de l'évolution d'Escherichia coli	72
III.3.2.4 Interprétation de l'évolution des Bactéries Sulfito-réductrices.....	73
III.3.3 Conclusion.....	74
III.4 Vérification In-Situ et Diagnostic des Sources de Pollution (Investigation de Mai 2026).....	75
III.4.1 Identification des foyers de pollution (Preuves visuelles).....	76
III.4.2 Enquête sociale et témoignages des riverains	77
III.4.3 Mesures correctives et perspectives de protection.....	78
Conclusion Générale.....	79
Bibliographie.....	
ANNEXES	

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : les nappes souterraines	6
Figure 2 : Échelle visuelle de la Turbidité de l'eau	8
Figure 3 : Causes possibles de pollution de la nappe de la craie.	16
Figure 4 : Évolution de la teneur en nitrates.....	22
Figure 5 : La situation géographique de la wilaya d'Oran.....	26
Figure 6 : La situation géologique de la wilaya d'Oran	27
Figure 7 : La situation topographique de la wilaya d'Oran	28
Figure 8 : Les altitudes et lignes de contour de la wilaya d'Oran	30
Figure 9 : Le réseau hydrographie et les bassins versants d'Oran	32
Figure 10 : Les ressources mobilisables d'Oran	33
Figure 11 : carte de situation géographique de kristel par rapport aux plateaux d'Oran.....	34
Figure 12 : la source d'El Ançor (Marché du kristel).....	35
Figure 13 : Thermomètre numérique à sonde	38
Figure 14 : PH-mètre	39
Figure 15 : conductimètre.....	39
Figure 16 : Turbidimètre.....	40
Figure 17 : Spectrophotomètre.....	40
Figure 18 : Diagrammes de Piper.....	50
Figure 19 : Le diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	52
Figure 20 : Le diagramme de Stiff	54
Figure 21 : Le diagramme de Wilcox.....	56
Figure 22 : Évolution de PH.....	59
Figure 23 : Évolution de Conductivité	60
Figure 24 : Évolution de Residu sec	61
Figure 25 : Évolution de Ammonium.....	62
Figure 26 : Évolution de Calcium.....	63
Figure 27 : Évolution de Magnésium	64



28 Figure: Évolution de Chlorures.....	65
Figure 29 : Évolution de Nitrates.	66
Figure 30 : Évolution de Oxidabilité	67
Figure 31 : Évolution de Sulfates.....	68
Figure 32 : Évolution de Fluorures.	69
Figure 33 : Évolution de Bactéries coliformes.	71
Figure 34 : Évolution de Entérocoques.	73
Figure 35 : Évolution d'Escherichia coli	74
Figure 36 : Évolution Bactéries Sulfito-réductrices.....	75
Figure 37 : point du captage la source El-Ançor	77
Figure 38 : Rejets observés à proximité de la source.....	78
Figure 39 : collecte des témoignages de terrain	79
Figure 40 : Nouvelle conduite de captage.....	80



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : La précipitation et température à Oran en 2020.....	31
Tableau 2 : Critères de sélection des colonies pour le test de confirmation.....	45

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction générale :

La Terre est souvent appelée la « planète Bleue » en raison de la prédominance de l'eau, qui recouvre environ trois quarts de sa surface. L'eau constitue également un élément essentiel dans la composition de tous les êtres vivants. La majeure partie des eaux terrestres est constituée d'eaux de surface, dont environ 98 % sont des eaux marines. Les 2 % restants regroupent les eaux continentales, principalement représentées par les calottes glaciaires et les eaux souterraines, suivies par les rivières, les lacs et les étangs.

L'eau joue un rôle fondamental dans la vie biologique et dans les activités humaines. Elle intervient dans toutes les tâches quotidiennes et remplit de nombreuses fonctions physiologiques vitales, parmi lesquelles la digestion, l'absorption, la régulation de la température corporelle et l'élimination des déchets. Cependant, l'eau peut être à la fois une source de vie et une menace. Une grande partie des rejets provenant des activités humaines est déversée dans les cours d'eau environnants. En l'absence de traitements adéquats, cela engendre une pollution croissante et préoccupante. Ce type de pollution peut être d'ordre minéral ou microbiologique. Alors que les eaux souterraines bénéficient d'une certaine protection naturelle, les eaux de surface sont souvent beaucoup plus exposées à la pollution. En Algérie, comme dans de nombreux autres pays en développement ou industrialisés, la détérioration de la qualité des eaux de surface et souterraines devient une inquiétude majeure.

La contamination des eaux de surface constitue un problème environnemental crucial. Plusieurs formes de pollution peuvent affecter ces ressources : la pollution physique, qui se manifeste par une diminution de leur transparence en raison de matières en suspension ; la pollution chimique, liée à la présence de substances nocives telles que les détergents ou les métaux toxiques ; et enfin, la pollution biologique, provoquée par des bactéries et des virus pouvant nuire à la santé humaine. Pour rendre ces eaux polluées utilisables, différents traitements physiques, chimiques et biologiques sont nécessaires en fonction du degré et du type de pollution. Le contrôle de la qualité de l'eau est désormais impératif, car il représente un enjeu majeur pour la santé publique. Une eau contaminée peut avoir des conséquences graves non seulement pour les sols et les organismes vivants, mais également pour la santé de populations entières.

La région de Kristel, située sur le littoral oranais, abrite la source **El-Ançor**, un point d'eau stratégique pour la population locale. Cependant, la pérennité de cette ressource est aujourd'hui remise en question par des signes de dégradation de sa qualité, soulevant ainsi des préoccupations majeures en termes de santé publique et d'aptitude agricole.

Dès lors, une question fondamentale se pose :

- Quelle est l'influence des facteurs naturels et humains sur la qualité de la source El-Ançor, et répond-elle toujours aux normes de potabilité et d'irrigation ?

L'objectif principal de ce travail est de réaliser une caractérisation approfondie de la qualité des eaux de la source **El-Ançor**. Il s'agit d'identifier l'origine de la minéralisation, d'évaluer l'état actuel de la pollution et de suivre l'évolution de ces paramètres en comparant des données historiques avec nos analyses récentes d'octobre 2025.

Ce travail est composé de 03 chapitres principaux :

- **Le premier chapitre :** constitue une étude bibliographique axée sur les généralités des eaux souterraines, les processus de minéralisation, ainsi que les critères de potabilité et les normes de qualité des eaux destinées à la consommation et à l'irrigation.
- **Le deuxième chapitre :** est divisé en deux parties principales :

La première présente le cadre d'étude avec les caractéristiques géographiques, climatiques et géologiques de la wilaya d'Oran et du secteur de Kristel.

La deuxième partie décrit le volet expérimental, incluant le déroulement du stage au laboratoire de la SEOR, les protocoles d'échantillonnage de la source El-Ançor et les méthodes d'analyses physico-chimiques et microbiologiques.

- **Le troisième chapitre :** est consacré à l'exposition et à la discussion des résultats. Il comprend la modélisation hydrochimique (Diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff), l'évaluation de l'aptitude à l'irrigation (Diagramme de Wilcox) et une

analyse comparative temporelle entre les données historiques (1999-2024) et nos résultats de la campagne d'octobre 2025.

Pour approfondir notre diagnostic, cette étude intègre une enquête de terrain réalisée en mai 2026, visant à identifier les sources potentielles de pollution et à confronter les données de laboratoire avec les réalités anthropiques du site.

Enfin, une conclusion générale synthétisera les des résultats obtenus concernant la qualité physico-chimique et bactériologique de la source, cette étude suivie de suggestions pour un meilleur suivi, une gestion adéquate et une protection durable de la ressource en eau.

CHAPITRE I

QUALITE ET POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES

I.1. Introduction :

Les nappes souterraines constituent généralement les principales ressources en eau potable, car elles sont mieux protégées des sources de pollution par rapport aux eaux de surface. Néanmoins, pour être utilisée dans la production d'eau destinée à la consommation, cette ressource doit répondre à des exigences minimales, notamment en termes de qualité physico-chimique et biologique, conformément à des normes bien définies. La qualité naturelle de cette ressource peut toutefois être compromise par divers types de contamination, qu'elle soit ponctuelle ou diffuse.

I.1.1. Origines des eaux souterraines :

I.1.1.a. Eaux météoriques :

Une grande partie des eaux souterraines a une origine météorique, ce qui signifie qu'elles proviennent des précipitations, comme la pluie ou la neige, et s'infiltrent ensuite dans le sous-sol. Dans le cas des aquifères de grande étendue, l'eau peut parfois dater de périodes climatiques passées, ce qui en fait un indicateur précieux pour étudier les paléoclimats.

I.1.1.b. Eaux connées :

Les eaux retrouvées en profondeur dans la croûte terrestre, à partir de 1 à 2 kilomètres, proviennent de réservoirs d'eaux météoriques ayant interagi avec les roches environnantes. Ces eaux sont fréquemment relativement salées. Elles peuvent participer à l'hydrologie des formations géologiques ou rester confinées dans des roches à très faible perméabilité, n'ayant pas totalement expulsé leur contenu en eau. Cette eau est souvent présente depuis la formation même de la roche.

I.1.1.c. Eaux juvéniles :

Ces eaux proviennent directement des processus magmatiques en profondeur. Elles sont cependant difficiles à distinguer des eaux profondes classiques. En plus de l'eau, les processus magmatiques peuvent également libérer des composés gazeux, tels que le CO₂.

I.1.2. Différents types d'eau souterraine :

D'un point de vue hydrogéologique, une roche retient de l'eau sous diverses formes :

- **L'eau de constitution** : intégrée à la structure cristalline des minéraux (par exemple, le gypse dont la formule est $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- **L'eau adsorbée** : fixée à la surface des minéraux par des interactions électrostatiques.
- **L'eau liée** : emprisonnée dans les pores fermés et les inclusions fluides.
- **L'eau libre** : circulant à travers les pores et les fissures.

I.1.3. Nappes d'eau :

Le terme aquifère désigne une formation géologique poreuse ou fissurée capable de contenir de l'eau et de la transmettre. La nappe, quant à elle, désigne l'ensemble de l'eau contenue dans cet aquifère. Il s'agit d'un réservoir souterrain exploitable comme source d'eau. Contrairement aux idées reçues, les nappes d'eau souterraine ne sont ni des lacs ni des cours d'eau souterrains (sauf dans certains réseaux karstiques).

Ces nappes correspondent à de l'eau stockée dans les pores ou les fissures des roches, saturées par les eaux de pluie s'étant infiltrées dans le sol.

I.1.3.1. Différents types de nappes :

- **Nappe libre** : Une nappe libre désigne une nappe d'eau souterraine non confinée, dont la partie supérieure n'est pas recouverte par une couche imperméable. Sa surface libre est en contact avec la zone non saturée, ce qui permet à son niveau de varier en fonction des précipitations. Lorsque celles-ci augmentent, le niveau de la nappe peut s'élever au point d'atteindre la surface du sol. En revanche, sa partie inférieure repose sur une couche imperméable appelée le (mur) de l'aquifère.
- **Nappe captive** : Il s'agit d'une nappe d'eau souterraine enfermée entre deux couches de terrains imperméables. Cette nappe est totalement isolée de la surface par une couche supérieure imperméable, ce qui ralentit considérablement son renouvellement. Les nappes captives sont sous pression en raison de leur confinement.

- **Nappe phréatique** : Les nappes phréatiques se développent sur la première couche imperméable située près de la surface du sol. Ces nappes sont toujours libres et sont fréquemment exposées à des contaminations. Elles jouent un rôle crucial dans l'approvisionnement en eau, constituant l'une des plus grandes réserves d'eau potable accessibles. Parfois, une nappe phréatique peut émerger naturellement sous forme de source ou être exploitée à l'aide de puits.
- **Nappe alluviale** : Présente dans les vastes dépôts de sables, graviers et galets formés par les fleuves et rivières, la nappe alluviale joue un rôle clé dans les échanges avec les cours d'eau et les zones humides. Ce type d'aquifère peut se recharger grâce aux crues et, en période de sécheresse, soutenir le débit des cours d'eau.
- **Nappe karstique** : La nappe karstique se développe dans les formations calcaires. En dissolvant le calcaire au niveau des fissures existantes, les eaux créent des cavités pouvant accueillir des écoulements. Ces espaces souterrains, parfois de grande taille (gouffres, cavernes), permettent un écoulement rapide des eaux. Aux points de résurgence, les sources présentent généralement des débits fortement variables selon les périodes.

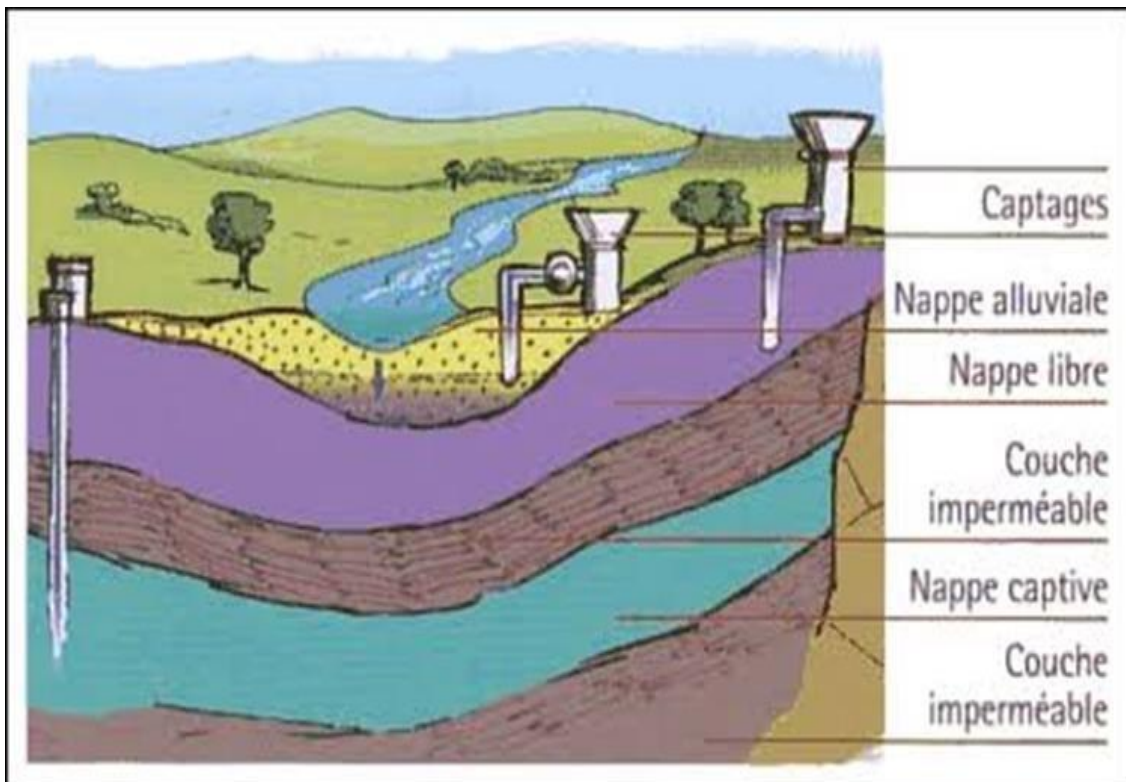


Figure 1 : les nappes souterraines

I.2. Qualité des eaux souterraines :

Pour évaluer si l'eau potable répond aux exigences sanitaires et techniques, il convient de prendre en compte un ensemble de paramètres, qui se répartissent en trois grandes catégories : sensoriels, physico-chimiques et microbiologiques.

I.2.1 La qualité organoleptique :

Le goût, l'odeur, la turbidité et la couleur sont des paramètres essentiels, car ils déterminent l'acceptabilité de l'eau par les consommateurs.

- **La couleur** : La couleur de l'eau est un indicateur crucial de sa qualité pour la consommation humaine. L'eau potable doit être parfaitement incolore en faible volume, bien qu'une masse d'eau volumineuse puisse naturellement présenter une légère teinte bleutée.
- **L'odeur** : L'eau potable doit être rigoureusement inodore. La présence d'une odeur même discrète, est un indicateur potentiel de dégradation organique ou de pénétration de polluants dans l'eau, nécessitant des analyses complémentaires.
- **La saveur** : L'eau destinée à la consommation humaine doit être fraîche et d'un goût agréable. Il est important de surveiller tout goût anormal (fade, amer ou salé), ces caractéristiques étant souvent les signes précurseurs d'une dégradation de la qualité de la ressource.

Des signes révélateurs, tels que les changements observés dans l'apparence, la couleur, l'odeur ou le goût de l'eau potable, indiquent souvent des modifications dans la qualité de la source d'eau brute ou des défaillances dans le processus de traitement.

I.2.2. Qualité physico-chimique :

I.2.2.1. Température(T°) :

Cette caractéristique physique revêt une grande importance, notamment pour influencer la solubilité des sels et, plus particulièrement, celle des gaz dissous . Elle intervient également dans l'évaluation du pH, ce qui permet de mieux comprendre l'origine de l'eau et la composition d'éventuels mélanges. Sa mesure est essentielle pour déterminer le champ de densité ainsi que les courants associés.

I.2.2.2. Turbidité :

La turbidité correspond à la concentration de particules en suspension dans une eau, ce qui provoque son trouble. Elle constitue l'une des propriétés optiques les plus significatives des eaux naturelles. La mesure de la turbidité s'effectue en Unités de Turbidité Néphélométrie (UTN) à l'aide d'un turbidimètre. Cet appareil projette un rayon lumineux à travers un échantillon d'eau, puis évalue la proportion de lumière passant à travers l'eau par rapport à celle diffusée ou réfléchiée par les particules présentes.

UTN : Unité de Turbidité Néphélométrie.

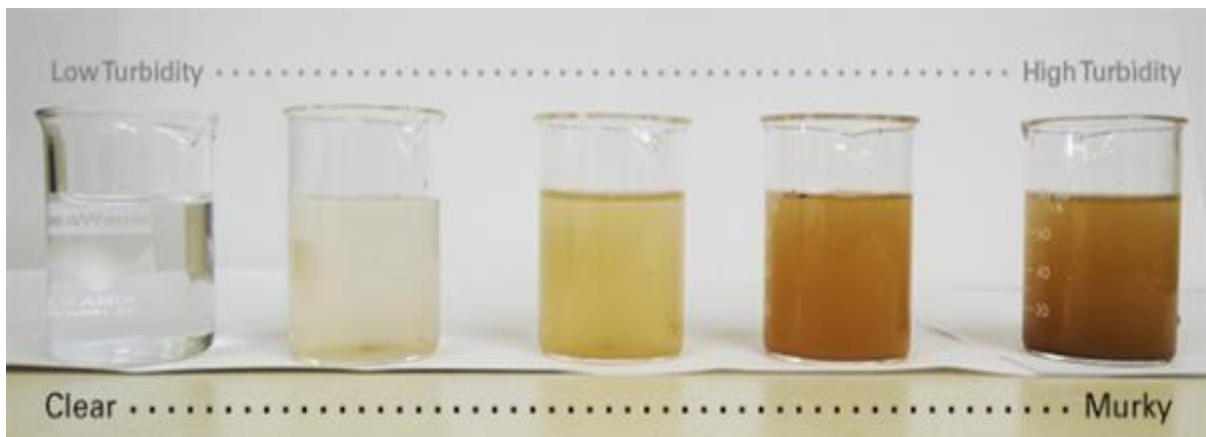


Figure 2 : Échelle visuelle de la Turbidité de l'eau

I.2.2.3. Résidu sec :

Le résidu sec fournit une indication sur la concentration en substances dissoutes non volatiles, notamment la proportion d'éléments minéraux. Cette concentration varie selon l'origine géologique de l'eau, allant de moins de 100 mg/l pour les eaux issues de massifs cristallins (eaux peu minéralisées) à plus de 1000 mg/l pour certaines eaux souterraines ou minérales.

I.2.2.4. Conductivité électrique :

La conductivité électrique de l'eau correspond à la capacité d'une colonne d'eau, située entre deux électrodes métalliques ayant une surface de 1 cm² chacune et espacées de 1 cm, à transmettre un courant électrique. Elle s'exprime généralement en micro siemens par centimètre.

Cette propriété reflète la capacité de l'eau à conduire l'électricité, constituant ainsi une mesure indirecte de sa concentration en ions. En effet, plus l'eau est riche en ions tels que le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le bicarbonate (HCO_3^-), le sulfate (SO_4^{2-}) ou encore le chlorure (Cl^-), plus sa conductivité électrique sera élevée.

I.2.2.5. Potentiel Hydrogène (PH) :

Le pH, ou potentiel hydrogène, est défini comme le logarithme décimal de l'inverse de la concentration en ions hydrogène (H^+). Sa valeur se situe généralement au-dessous ou au-dessus de 7, selon que l'eau est acide ou basique.

Ce paramètre n'a pas de signification hygiénique directe, il constitue une notion essentielle pour déterminer l'agressivité de l'eau et prévoir la précipitation des éléments dissous.

I.2.2.6. Minéralisation globale :

En raison de sa teneur en CO_2 dissous, l'eau de pluie présente une légère acidité. Lors de son infiltration à travers le sol et le sous-sol, elle s'enrichit en ions et développe les propriétés physiques et chimiques spécifiques à l'eau de la nappe ainsi constituée. Le degré de minéralisation de ces eaux souterraines varie alors en fonction de la nature des terrains traversés.

I.2.2.6.a Facteurs d'influence :

- De la nature des roches traversées et des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration.
- Du temps de contact de l'eau avec les minéraux, donc de la vitesse de percolation de l'eau dans le sous-sol
- Du temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration.

On voit l'importance des minéraux solubles des roches et de la perméabilité de l'aquifère dans la minéralisation de l'eau. Dans l'aquifère, il s'établit un équilibre entre la composition chimique de l'eau et celle des roches : l'eau prend une minéralisation qui demeure stable dans le temps et sert à caractériser un faciès hydro chimique.

I.2.2.6.b Caractéristiques selon la nature du réservoir :

- **Terrains cristallins, sableux, gréseux et schisteux** : Dans ces milieux riches en minéraux siliceux et silicatés, les eaux sont douces. Elles sont peu minéralisées mais acides et agressives pour les conduites.
- **Réservoirs calcaires** : Les eaux sont dures, moyennement à fortement minéralisées en sels de calcium et magnésium ; elles entartrent les conduites. Dans les réseaux karstiques, l'eau peut se charger de particules argileuses en suspension au cours des fortes pluies.
- **Contact du gypse** : Fréquent dans les terrains tertiaires, ce contact charge l'eau en sulfate de calcium. Elle devient dure (séléniteuse) et impropre à la consommation.
- **Zones littorales** : En bordure de mer, les aquifères peuvent être en contact avec l'eau de mer (échange au niveau du biseau salé, contamination de l'eau d'infiltration par les embruns salés). L'eau de la nappe devient plus ou moins saumâtre. L'invasion de la nappe d'eau douce par l'eau salée est accélérée par les pompages et le rabattement de la nappe.
- **Nappes alluviales** : La qualité de l'eau dépend de celle de la nappe qui l'approvisionne et de celle de la rivière.

I.2.2.7 Eléments majeurs :

I.2.2.7.a Calcium (Ca^{2+}) :

Le calcium, un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature, se trouve principalement dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Constituant essentiel de la dureté de l'eau, il est généralement l'élément cationique prédominant dans les eaux potables. On le rencontre principalement sous forme d'hydrogénocarbonates (bicarbonates), , mais également en plus petites quantités sous forme de sulfates, de chlorures...etc.

I.2.2.7.b Sodium (Na^+) :

Le sodium est un élément dont les concentrations dans l'eau diffèrent selon les régions. Il peut provenir de sources naturelles telles que la mer ou les terrains salés, mais aussi d'activités humaines

(10 à 15 g de Na Cl excrétés dans les urines par jour) ou industrielles (comme la production de potasse ou les activités pétrolières). Les eaux fortement chargées en sodium deviennent saumâtres, acquièrent un goût désagréable et ne sont pas adaptées à la consommation.

I.2.2.7.c Magnésium (Mg^{2+}) :

Le magnésium est l'un des éléments les plus abondants dans la nature, représentant environ 2,1 % de la croûte terrestre. Cet élément joue un rôle essentiel dans la croissance. Il agit en tant que composant structurel des os et participe activement aux processus enzymatiques et hormonaux, en tant qu'élément dynamique.

Le magnésium représente un facteur important dans la dureté de l'eau. Lorsqu'il atteint une concentration de 100 mg/l ou plus, il peut conférer un goût désagréable à l'eau potable, en particulier pour les personnes sensibles.

I.2.2.7.d Potassium (K^+) :

Le potassium est intimement lié au sodium, à tel point qu'il est rarement analysé séparément dans les études des compositions de l'eau. On le retrouve largement répandu dans la nature sous forme de sels. Ce minéral joue un rôle crucial dans le maintien de l'équilibre électrolytique de l'organisme et régule le contenu en eau à l'intérieur des cellules. Dans les eaux naturelles, sa concentration reste généralement stable et ne dépasse habituellement pas une fourchette de 5 à 10 mg/L.

I.2.2.7.e Les sulfates (SO_4^{2-}) :

Les sulfates sont couramment présents dans presque toutes les eaux naturelles, étant naturellement contenus dans divers minéraux. Le sulfate de calcium est l'une des formes les plus fréquemment rencontrées dans les ressources hydriques. Leur présence en forte concentration dans les eaux souterraines est souvent d'origine naturelle. Toutefois, un taux excessif de sulfates dans l'eau peut provoquer des effets laxatifs, entraînant des troubles gastro-intestinaux, notamment chez les enfants. En outre, ils peuvent altérer le goût de l'eau, la rendant désagréable à la consommation.

Selon les normes établies en Algérie, la concentration maximale acceptable de sulfates (SO_4^{2-}) dans l'eau est fixée à 200 mg/l, tandis que la concentration maximale admissible est limitée à 400 mg/l.

I.2.2.7.f Bicarbonate (HCO_3^-) :

Le bicarbonate, aussi appelé hydrogénocarbonate, est un ion poly atomique identifié par la formule chimique HCO_3^- . Son nom reflète ses propriétés doubles, car il agit à la fois comme une base et un acide au sein de deux couples acido-basiques distincts, ce qui en fait une espèce ampholyte. Il ne doit pas être confondu avec l'ion carbonate, qui porte deux charges négatives. Le bicarbonate représente la forme intermédiaire au cours de la déprotonation de l'acide carbonique : le retrait du premier proton (H^+) de l'acide carbonique conduit au bicarbonate, tandis que l'élimination du second proton génère l'ion carbonate.

I.2.2.7.g Chlorures (Cl^-) :

Les chlorures peuvent provenir de différentes sources, leur origine principale étant la dissolution des formations salifères. Ce processus de dissolution est particulièrement aisé, ce qui explique leur présence en concentrations élevées dans les eaux ayant traversé des terrains argilo-sableux ou argileux. Par ailleurs, les chlorures peuvent également avoir une origine anthropique, résultant notamment de la contamination par les eaux usées. Leur présence en excès altère le goût de l'eau, le rendant désagréable, et engendre des problèmes de corrosion au niveau des canalisations et des réservoirs dès lors que leur concentration dépasse 50 mg/L, seuil recommandé par les normes de l'OMS.

I.2.2.7.h Nitrates (NO_3^-) :

Les nitrates sont présents de manière naturelle en très faibles proportions dans les eaux souterraines et de surface, leur formation étant le résultat de la décomposition biologique par des microorganismes de la matière organique contenant de l'azote, comme les protéines d'origine végétale ou animale ainsi que les excréments animaux. Ces concentrations varient généralement entre 0,1 et 1 mg/L dans les eaux souterraines.

Les nitrates sont considérés comme toxiques pour l'organisme humain, et leur présence en quantité significative altère la qualité de l'eau. Concernant leurs effets néfastes sur la santé, il est important de souligner que l'ingestion de doses élevées de nitrates peut, dans certaines conditions, entraver l'oxygénation sanguine chez les nourrissons, menant à la "maladie bleue", scientifiquement appelée méthémoglobinémie. Par ailleurs, les nitrates sont également soupçonnés de contribuer au développement de certains cancers digestifs.

I.2.2.7.i Nitrites (NO_2^-) :

Les nitrites sont présents dans le sol, les eaux et les plantes, bien que généralement en petites quantités. Ces composés proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates. Par ailleurs, ils peuvent être générés lors du traitement des eaux en cas de mauvaise gestion des filtres à sable, des filtres à charbon actif ou des étapes biologiques de nitrification et de dénitrification. Étant donné leur toxicité pour l'organisme humain, une concentration élevée de nitrites détériore significativement la qualité de l'eau. Leur danger réside principalement dans leur fort pouvoir oxydant, ce qui en fait un facteur préoccupant pour la santé.

I.2.2.7.j Silice (SiO_2) :

La silice est présente dans l'eau sous forme dissoute ou à l'état colloïdal. Les eaux provenant des zones granitiques peuvent en contenir plusieurs dizaines de milligrammes par litre. Il est essentiel de l'éliminer des eaux destinées aux chaudières, car elle conduit à la formation de dépôts incrustants sur les parois.

I.2.3. Qualité microbiologique de l'eau :

L'analyse bactériologique de l'eau a pour but de mettre en évidence la présence des bactéries qui modifient l'aptitude d'une eau à une utilisation donnée, ces organismes indicateurs de contamination fécale possèdent plusieurs caractéristiques telles que :

- La provenance exclusive des matières fécales des animaux à sang chaud.
- La résistance aux antiseptiques voisins de ceux des bactéries pathogènes.
- Leur non-prolifération anarchique dans la nature.
- La production des réactions simples et spécifiques au cours de leur étude.
- Leur apparition en très grand nombre dans le milieu par rapport aux germes pathogènes.

En général, les germes utilisés sont les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux (Mbeukam k. E., 2013).

I.2.3.1 Les coliformes totaux :

Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent indirectement associés à une pollution d'origine fécale. Les coliformes fécaux sont définis comme étant des bactéries en forme de bâtonnet, aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme β -galactosidase permettant l'hydrolyse du lactose à 35°C afin de produire des colonies rouges avec reflet métallique sur un milieu gélosé approprié (**Archibald., 2000**).

Les principaux genres inclus dans les groupes : *Citrobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella* et *Serratia* (**CEAEQ., 2000**).

La presque totalité des espèces sont non pathogènes et ne représente pas de risque direct pour la santé (**Edberg et al, 2000**).

I.2.3.2 Coliformes fécaux ou Coliformes thermo- tolérants

Les coliformes fécaux ou coliformes thermos tolérants correspondent à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés (caractéristiques des coliformes) après incubation à la température de 44 °C (**Edberg et al., 2000**).

Escherichia coli est sans doute le plus spécifique de tous les germes de contamination fécale. Le terme « *Escherichia coli* présumé » correspond à des coliformes thermotolérants qui produisent de l'indole à partir du tryptophane à 44 °C et ont des caractères biochimiques Propres à cette espèce (**Bourgeois. C., 1996**).

I.2.3.3 Les streptocoques fécaux

La classification générale des streptocoques fécaux a été modifiée dans les années 80 par la création d'un nouveau genre, *Enterococcus*. Dans ce contexte, plusieurs espèces appartenant antérieurement au genre *Streptococcus* ont été transférées vers le genre *Enterococcus*, ce dernier correspondant, aux streptocoques du groupe sérologique D de la classification de Lancefield. Le genre *Enterococcus* comprend une vingtaine d'espèces qui se retrouvent dans différents habitats et chez différents hôtes. On les retrouve souvent dans le tractus gastro-intestinal des humains et de plusieurs animaux ; *Enterococcus faecalis* et *E. faecium* sont les deux espèces le plus souvent identifiées chez l'humain (**Clausen EM et al., 1977 ; Gleeson C et al., 1997**).

I.2.3.4 Clostridium sulfito-réducteur :

En dehors des streptocoques fécaux et E. coli qui sont des indices de contamination fécale récente, du fait que leur survie dans l'eau peut être très courte, les clostridiiums sulfitoréducteurs représentent l'indice d'une contamination fécale ancienne, ils sont résistants aux conditions défavorables grâce à la sporulation, ils sont des bactéries anaérobies strictes, sporulés, Gram positif réduisent les sulfites en sulfures et dont la plupart des espèces est mobile (**Gregorio C et al., 2007**).

I.3 Normes de potabilité et critères de qualité des eaux de consommation :

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) propose des directives internationales qui servent de référence universelle pour évaluer la qualité de l'eau potable. Bien qu'elles soient largement adoptées, certains pays, tels que l'Algérie, ont mis en place leurs propres réglementations adaptées, prenant en compte les besoins spécifiques et les particularités environnementales locales. Le tableau reporté en Annexes (Voir Annexe n°03) illustre les concentrations maximales admissibles établies selon les normes de l'OMS comparées à celles définies par la réglementation algérienne.

I.4 Détérioration de la qualité :

L'activité humaine peut provoquer une altération de la qualité naturelle des eaux souterraines. Cette détérioration est généralement évaluée à travers l'analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Si cette dégradation atteint un niveau significatif, l'eau devient impropre à la consommation humaine. Dans ce cas, elle pourra soit être réservée à d'autres usages, comme l'irrigation, soit nécessiter un traitement spécifique pour redevenir potable. Les nappes phréatiques restent donc vulnérables à la pollution, et le processus d'autoépuration naturelle s'avère parfois insuffisant, notamment face à certaines substances ou selon les caractéristiques de certaines nappes.

I.4.1. Vulnérabilité des nappes à la pollution :

La vulnérabilité des nappes phréatiques à la pollution dépend principalement de leur type, qu'elles soient libres ou captives, ainsi que du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libres sont particulièrement sensibles, car les polluants provenant de la surface peuvent se diffuser

sans entrave à travers le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique. De plus, les variations verticales saisonnières du niveau piézométrique favorisent un effet de "rinçage" des particules présentes dans la zone non saturée, entraînant ainsi les substances adsorbées vers la nappe. Les nappes captives, en revanche, bénéficient d'une meilleure protection grâce aux couches imperméables qui les recouvrent. Leur alimentation en eau de surface est généralement plus restreinte et donc potentiellement plus facile à préserver. Cependant, leur pollution peut survenir lorsque la couche protectrice imperméable est perforée, par exemple par un ancien forage ou une excavation profonde. Par ailleurs, la percolation de l'eau à travers des milieux poreux offre un potentiel d'épuration naturelle, les substances polluantes ayant tendance à se fixer sur les particules présentes au cours de ce processus. Ce mécanisme n'est toutefois pas observé dans les milieux fissurés, où la circulation de l'eau s'effectue beaucoup plus rapidement, limitant ainsi les capacités de filtration et d'épuration.

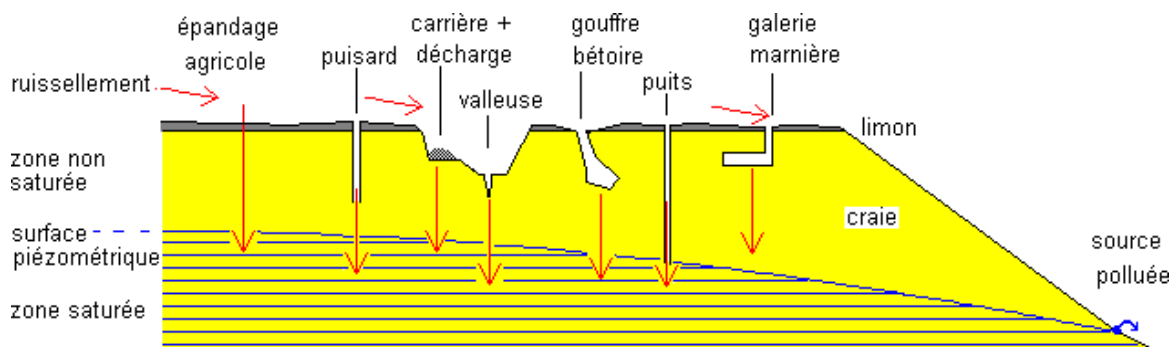


Figure 3 : Causes possibles de pollution de la nappe de la craie.

Pour atteindre une nappe phréatique dans des milieux poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent surmonter plusieurs obstacles,

- **Le sol** : Ce milieu constitue un espace d'intense activité chimique et microbiologique (comme les phénomènes d'oxydation et de réduction). De nombreux composés chimiques subissent des transformations, et les polluants organiques peuvent être dégradés biologiquement et convertis en substances minérales. Toutefois, ce processus de biodégradation peut engendrer des métabolites qui s'avèrent parfois tout aussi toxiques,

voire plus, que les polluants initiaux. Par ailleurs, les complexes argilo-humiques présents dans le

- **La zone non saturée** : tout comme le sol, contribue à la filtration et à la rétention de diverses substances. Ce processus devient d'autant plus performant lorsque la granulométrie est plus fine.
- **La zone saturée** : La zone saturée correspond à la portion de l'aquifère où l'eau sature complètement les pores du sol. Dans cette zone, la filtration se poursuit naturellement à travers le milieu poreux de la nappe phréatique,

Diluant progressivement les polluants dans la masse d'eau. Cependant, la qualité de la protection offerte par cette zone dépend de plusieurs facteurs.

Plus le sol et la zone non saturée (couche située au-dessus de la nappe) sont épais, plus leur texture est fine et plus la vitesse de percolation de l'eau est faible, meilleure sera la protection de la nappe. Toutefois, une fois une nappe contaminée par des polluants, il devient difficile de rétablir sa pureté, et les effets de la pollution se prolongent sur une longue durée.

Dans les nappes libres situées en milieu fissuré, leur vulnérabilité à la pollution est étroitement liée à l'efficacité du recouvrement qui les protège. Les aquifères des terrains anciens comme les granites et les schistes sont souvent recouverts de formations meubles issues de l'altération de la roche. Ces matériaux jouent un rôle de filtre naturel. En s'infiltrant dans les fissures, ils prolongent leur effet protecteur. À l'inverse, dans les nappes calcaires, les polluants infiltrés circulent rapidement par les fissures pour réapparaître directement dans les sources et forages sans transformation majeure. Dans ces milieux, la pollution se manifeste sous forme de pics courts et intenses, qui peuvent disparaître rapidement dès qu'on cesse d'apporter des polluants.

Les nappes alluviales, quant à elles, sont hydrauliquement connectées aux cours d'eau. La qualité de leur eau dépend alors directement de celle des rivières environnantes. Ici aussi, les matériaux qui recouvrent les fonds des rivières jouent parfois un rôle filtrant. Dans une région comme la Picardie, ces nappes reçoivent également un apport en eau provenant des nappes de craie, ce qui influence leur qualité globale. Fragiles par nature, ces nappes présentent une faible étendue et sont souvent localisées dans des zones fortement urbanisées ou industrialisées où les sources de pollution abondent, qu'il s'agisse des villes, des axes routiers ou même des activités liées à l'exploitation des granulats.

Dans tous les cas, plusieurs aménagements et pratiques contribuent à aggraver les risques de pollution des eaux souterraines. Parmi eux figurent :

- Les interventions non sécurisées favorisant l'infiltration directe dans la nappe, telles que des forages trop rudimentaires, l'exploitation de gravières ou encore l'utilisation de puits perdus pour évacuer des eaux usées.
- Une mauvaise gestion des eaux de ruissellement liée à l'imperméabilisation des surfaces urbaines et routières, ainsi qu'au drainage agricole mal régulé ou à un traitement inadéquat des eaux usées.
- Les évolutions des pratiques agricoles, notamment le remplacement des prairies naturelles par des cultures intensives. Le remembrement et la suppression des haies ou du bocage entraînent une exposition prolongée des sols à nu en hiver. Ainsi, en Bretagne, en 25 ans seulement, la superficie des prairies a été réduite de moitié au profit du maïs fourrage. Cette culture très consommatrice d'herbicides exporte peu d'azote tout en laissant les sols vulnérables à l'érosion et à l'infiltration pendant l'hiver.
- Les élevages intensifs dits "hors sol", qui s'appuient sur une alimentation composée essentiellement de farines de soja ou animales et de maïs fourrage. Ce mode d'élevage provoque une accumulation locale massive d'excréments, compliquant leur gestion et augmentant le risque de contamination.

Ces facteurs conjugués mettent en lumière la complexité et la gravité des enjeux liés à la préservation des ressources en eau souterraine face aux pressions anthropiques croissantes.

I.4.2. Principaux types et origine des pollutions :

I.4.2.1. Pollution temporaire et pollution chronique :

Une émission exceptionnelle de substances polluantes, survenant à la suite d'un incident tel qu'une mauvaise manipulation en usine ou un accident de circulation, peut provoquer un transfert vers la nappe phréatique, entraînant sa contamination. La durée de cette pollution dépend alors de la capacité d'autoépuration de la nappe et de la vitesse à laquelle les substances s'y infiltrent. En revanche, les pollutions chroniques, bien que moins visibles et moins spectaculaires, se révèlent souvent plus insidieuses et nuisibles. Ces pollutions, souvent discrètes, passent parfois inaperçues. Elles incluent, par exemple, la pollution agricole due aux nitrates ou les contaminations par hydrocarbures provenant de sols déjà souillés.

I.4.2.2. Pollution ponctuelle et diffuse :

Un polluant émis sur une surface restreinte n'impactera qu'une partie limitée de la nappe phréatique, bien que son influence puisse s'étendre par diffusion. Seules les zones de captage situées à proximité immédiate de la source de pollution, et en aval, seront exposées. Selon les

caractéristiques du polluant, notamment sa densité et sa solubilité, la zone contaminée pourra être localisée ou s'étendre de manière diffuse, en surface ou en profondeur au sein de la nappe.

En revanche, l'épandage de substances polluantes sur une vaste superficie affecte l'ensemble de l'aquifère. Ces pollutions, souvent chroniques, peuvent dégrader durablement la qualité de la nappe pour l'exploitation en eau potable, sauf si des traitements spécifiques sont appliqués. Ce phénomène est particulièrement visible dans le cas des pollutions agricoles liées aux pesticides.

I.4.2.3. Pollution linéaire :

Ce type de pollution suit les infrastructures linéaires telles que les routes, les autoroutes, les canaux, les cours d'eau ou encore les voies ferrées.

I.4.2.4. Pollutions historiques :

Certaines zones souffrent encore de contaminations issues d'activités passées, réalisées à une époque où les préoccupations environnementales étaient inexistantes ou minimales. Il s'agit par exemple des pollutions causées par les terrils des mines ou encore par les décharges sauvages et non contrôlées.

I.4.3 Sources de pollution :

I.4.3.1 Pollution d'origine domestique :

Dans le cas d'un système d'assainissement défectueux, qu'il soit collectif ou individuel, des substances indésirables présentes dans les eaux usées domestiques (eaux vannes et ménagères) peuvent contaminer la nappe phréatique. Cela inclut des éléments tels que les matières organiques, les détergents, les solvants, les antibiotiques ou encore des micro-organismes. Cette situation survient notamment en présence de puits perdus, d'assainissements individuels mal conçus ou insuffisamment dimensionnés pour infiltrer l'eau dans le sol, ainsi que dans le cadre de stations d'épuration urbaines surchargées. Par ailleurs, les déchets ménagers accumulés dans des décharges sauvages ou dans des sites non conformes (comme des centres d'enfouissement technique mal gérés) génèrent des lixiviats chargés en polluants.

I.4.3.2 Pollution d'origine industrielle :

Les substances polluantes issues de l'activité industrielle sont extrêmement variées en fonction du type de production concernée : composés organiques courants, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux ou encore métaux lourds. Bien que certains cas de pollution soient accidentels (dysfonctionnements dans les processus industriels), il existe encore trop fréquemment des pollutions chroniques, par exemple liées à des fuites de réservoirs ou de canalisations.

Un cas spécifique concerne l'exploitation minière : dans les plaines alluviales, l'extraction de granulats peut mettre en contact l'eau des nappes avec d'éventuels polluants, augmentant ainsi les risques de contamination

I.4.3.3 Origine agricole :

D'origine agricole, la pollution se manifeste de manière diffuse, à la fois dans l'espace et dans le temps. Ses effets chroniques touchent de vastes étendues, largement influencées par les pratiques actuelles de l'agriculture et de l'élevage. En particulier, l'usage intensif d'engrais chimiques et de produits phytosanitaires contribue fortement à la dégradation des écosystèmes aquatiques. Les cours d'eau voient leur biodiversité s'effondrer, tandis que les eaux de surface et les nappes souterraines deviennent souvent impropres à la consommation humaine, voire animale. Selon La Lettre Eau (1998), cette situation résulte directement de ces interventions chimiques. Pourtant, pendant longtemps, les professionnels agricoles ont minimisé ou nié l'impact de leurs activités sur la qualité des ressources en eau, soutenus par le puissant lobby agro-industriel et l'importance stratégique du secteur dans les exportations françaises.

Les engrais et pesticides atteignent les nappes phréatiques soit en s'infiltrant à travers les sols cultivés, soit via des rejets dans des structures vulnérables comme puits perdus, gouffres ou bétaires. Cette dynamique est amplifiée par l'usage accru de l'irrigation. Par ailleurs, une autre forme courante de contamination provient des eaux de rinçage utilisées pour nettoyer les équipements d'épandage. À cela s'ajoute le problème posé par l'épandage des boues issues des stations d'épuration, en raison de leur possible teneur en métaux lourds, en germes pathogènes et en azote résiduel.

L'élevage intensif, notamment de porcs, bovins et volailles, aggrave également la situation en produisant d'importantes quantités de déjections riches en azote. Celles-ci doivent être rigoureusement stockées dans des cuves étanches avant d'être utilisées comme fertilisants ou,

parfois même, comme aliments. Les épandages mal gérés, notamment en Bretagne, contribuent fortement à la charge excessive en nitrates des nappes phréatiques locales, accentuant ainsi le cercle vicieux de la pollution agricole.

I.4.3.4 Origine urbaines et routières :

La dégradation de la qualité des eaux souterraines provient de deux phases distinctes. Dès la construction des infrastructures routières, le milieu est fragilisé, mais c'est surtout leur exploitation quotidienne qui pose problème. Le ruissellement entraîne des polluants tenaces : sels de déverglaçage en hiver, résidus d'hydrocarbures, métaux lourds liés à l'usure des véhicules, ou encore produits chimiques déversés accidentellement.

En milieu urbain, d'autres sources de contamination s'ajoutent à celles de la voirie :

- **Les réseaux d'assainissement** : Des raccordements défectueux, des canalisations vétustes ou des stations d'épuration saturées (manquant notamment de traitements tertiaires) peuvent laisser s'échapper des eaux usées vers les nappes phréatiques.
- **Les infrastructures de stockage** : Les fuites provenant de cuves de carburant (fioul, essence) enterrées représentent un risque d'infiltration directe.
- **Les sites spécifiques** : Les cimetières constituent également des sources potentielles de pollution microbiologique et chimique.

I.4.3.5 Injection de produits toxiques dans le sous-sol :

L'injection de substances toxiques dans le sous-sol est une pratique courante aux États-Unis pour éliminer certains produits indésirables. Cependant, cette méthode génère des risques importants de contamination des nappes phréatiques profondes. En revanche, en France, l'injection dans le sous-sol est strictement réservée au stockage de gaz.

I.4.4 Nature des polluants :

I.4.4.1 La pollution minérale :

I.4.4.1.a Composés azotés :

L'eau des nappes phréatiques ne contient naturellement que très peu de composés azotés. Ces éléments, issus de la décomposition de matières organiques sous l'action des micro-organismes, sont soit transformés en azote gazeux, soit retenus en faible quantité dans le sol. Cependant, l'enrichissement artificiel du sol en azote combiné perturbe cet équilibre naturel entre les apports et la consommation. Ce déséquilibre conduit à un surplus d'azote, qui finit par être lessivé vers la nappe phréatique, sous forme de nitrates et d'ammonium.

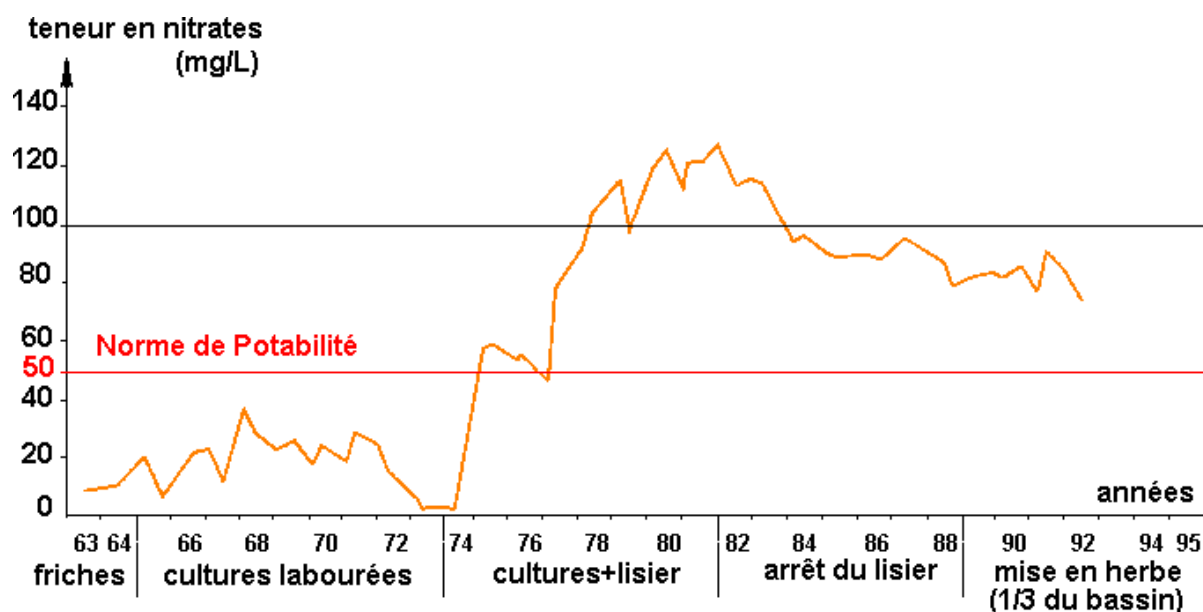


Figure 4 : Évolution de la teneur en nitrates.

I.4.4.1.b Métaux :

La pollution causée par les composés métalliques provient principalement des activités industrielles, mais elle peut également résulter de la lixiviation des déchets ménagers solides. Certains métaux, tels que le fer, le zinc ou le manganèse, altèrent uniquement l'apparence ou le goût de l'eau ; dans ces cas, elle nécessite un traitement pour devenir potable ou peut être utilisée telle quel pour d'autres applications. En revanche, les métaux lourds comme le mercure, le cadmium,

le plomb ou le chrome sont hautement toxiques, rendant l'eau impropre à la consommation domestique et à l'usage agricole.

I.4.4.1.c Autres corps :

De nombreux corps minéraux, qu'ils soient toxiques ou non, issus des activités industrielles ou agricoles, peuvent devenir des sources de pollution ponctuelle des nappes phréatiques. Parmi les principaux polluants figurent les chlorures, les sulfates, les cyanures ou encore les sels d'arsenic. En Alsace, l'exploitation de la potasse a entraîné une contamination des nappes phréatiques par les chlorures et les sulfates. Par ailleurs, à Chauny, dans l'Aisne, une usine chimique en activité entre 1820 et 1985 a laissé derrière elle un sol gravement pollué. Celui-ci présente de fortes concentrations de chrome, de cadmium, de cuivre, de plomb et d'arsenic, rendant toute utilisation de la nappe phréatique sous-jacente impossible.

I.4.4.2 La pollution organique :

I.4.4.2.a Dégradation de la matière organique :

Lors de la décomposition de la matière vivante par les micro-organismes, des composés comme les nitrites, les nitrates, l'ammonium, le méthane et l'hydrogène sulfuré sont libérés. Les résidus de matière organique qui subsistent dans l'eau créent un environnement propice à la prolifération de germes, parfois pathogènes.

I.4.4.2.b Hydrocarbures :

La pollution des nappes phréatiques par les hydrocarbures survient généralement de manière accidentelle, notamment par des fuites de cuves à essence ou à mazout, des ruptures de canalisations, etc. Les hydrocarbures légers, insolubles dans l'eau, forment une couche flottante à la surface de la nappe, pouvant suffire à altérer le goût de l'eau et la rendre impropre à la consommation, même à faible concentration. En revanche, les hydrocarbures lourds se déposent au fond de la nappe, diffusant lentement dans l'eau.

I.4.4.2.c Substances synthétiques :

Les détergents sont en grande partie biodégradés dans le sol ou absorbés par les particules d'argile. Cependant, certains atteignent les nappes phréatiques via des puits ou des cours d'eau pollués, surtout dans les zones alluviales. Leur toxicité reste relativement faible, mais

leur capacité tensioactive favorise la dispersion d'autres substances indésirables, telles que les pesticides.

Les pesticides, en partie métabolisés ou retenus dans le sol et dans la zone non saturée, présentent généralement un transfert limité vers les nappes phréatiques. Parmi les plus communs figurent deux herbicides, l'atrazine et la simazine, utilisés massivement dans les cultures de maïs. Les fortes concentrations observées sont souvent le résultat de pollutions ponctuelles, par exemple le rinçage de cuves déversé dans un puits ou une fuite de citerne.

Les polychlorobiphényles (PCB) et les phtalates apparaissent rarement dans les nappes. Cependant, les solvants chlorés tels que le trichloréthylène, le tétrachloréthylène ou encore le tétrachlorure de carbone sont peu biodégradables et faiblement retenus par le sol, ce qui facilite leur passage dans les nappes phréatiques. Ce type de pollution est particulièrement répandu dans les zones urbaines et industrielles ainsi que près des décharges non contrôlées.

I.4.4.3. La pollution microbiologique :

Les micro-organismes sont peu présents dans les eaux souterraines en raison des conditions généralement anaérobies et de la faible disponibilité en nutriments. Cependant, l'apport de matière organique dans ces eaux encourage leur développement. Les environnements fracturés, en particulier les systèmes karstiques, offrent des conditions favorables à la survie et à la multiplication des micro-organismes : une pénétration aisée de matière organique, des conditions aérobies et l'absence de processus de filtration naturelle. Les germes pathogènes sont souvent associés à la présence de coliformes et de streptocoques fécaux. Leur détection indique une contamination par des eaux usées, des rejets issus de stations d'épuration ou encore des effluents d'élevages industriels, signalant ainsi un risque potentiel d'existence de germes pathogènes.

I.5. Maladies transmises par l'eau

L'eau, essentielle à la vie, peut également être vectrice de diverses maladies, parfois mortelles. Ce n'est qu'à partir de 1854, lors d'une épidémie de choléra à Londres, que son rôle dans la propagation des maladies a été reconnu. Avec le temps, un accès sécurisé à l'eau potable a permis d'accroître la longévité, à condition que les pratiques d'hygiène progressent

parallèlement. Les pathologies associées à l'eau couvrent un large éventail en fonction de leur mode de transmission et de leur lien avec elle.

I.5.1. Maladies d'origine bactérienne

Infections bactériennes L'eau peut être porteuse de plusieurs maladies dues à des bactéries, dont :

I.5.1.1. Choléra

Cette maladie se manifeste par une inflammation aiguë de l'intestin résultant de l'action de la *Vibrio cholerae*. Une fois fixée sur les cellules épithéliales intestinales, cette bactérie prolifère et libère une toxine altérant les échanges ioniques, conduisant à des pertes sévères de liquides et d'électrolytes sous forme de diarrhées et de vomissements intenses. Sans traitement approprié, l'issue peut être fatale. La contamination se fait principalement par la voie féco-orale **(Derghoum et al., 2021)**.

I.5.1.2. La dysenterie bacillaire :

Ce trouble se caractérise par une diarrhée sanglante abondante, causée par la pénétration des bactéries *Shigella dysenteriae* ou *S. flexneri* dans la paroi intestinale **(Hadji et al., 2020)**.

I.5.2. Infections virales :

Hépatites A et E :

Ces deux formes d'hépatite sont liées à des virus appartenant à la famille des Picornaviridae et se transmettent principalement par voie orofécale. Selon les cas, elles peuvent évoluer d'une forme discrète sans jaunisse à une hépatite plus grave, avec jaunissement prolongé de la peau et des yeux. La durée des signes cliniques varie généralement entre quatre et huit semaines **(Derghoum et al., 2021)**.

CHAPITRE II

Cadre Régional, Zone D'Étude et Méthodologie Expérimentale

II.1 Situation géographique et caractéristiques de la wilaya d'Oran :

II.1.1 Situation Géographique :

Oran se situe sur la rive sud du bassin Algérie-Provence, dans le nord-ouest de l'Algérie. Elle est distante de 450 kilomètres à l'ouest d'Alger et s'élève à 429 mètres d'altitude au niveau du mont Aïdour, situé à l'ouest. Une vaste Sebkha borde son sud et sud-ouest, sur le plateau de Ghar El Milh. Grâce à sa position stratégique, Oran joue un rôle de carrefour important, attirant aussi bien des visiteurs en provenance de Tunisie, du Maroc, d'Europe que d'Afrique. La ville conserve son statut de métropole régionale pour tout l'ouest algérien, formant un réseau avec des villes de tailles moyennes situées à des distances variées : 140 km au sud-ouest de Tlemcen, 80 km au sud de Sidi Bel Abbès, 100 km au sud-est de Mascara, 90 km à l'est de Mostaganem et 130 km de Relizane. Son influence s'étend même jusqu'aux régions plus méridionales comme Béchar et Adrar.

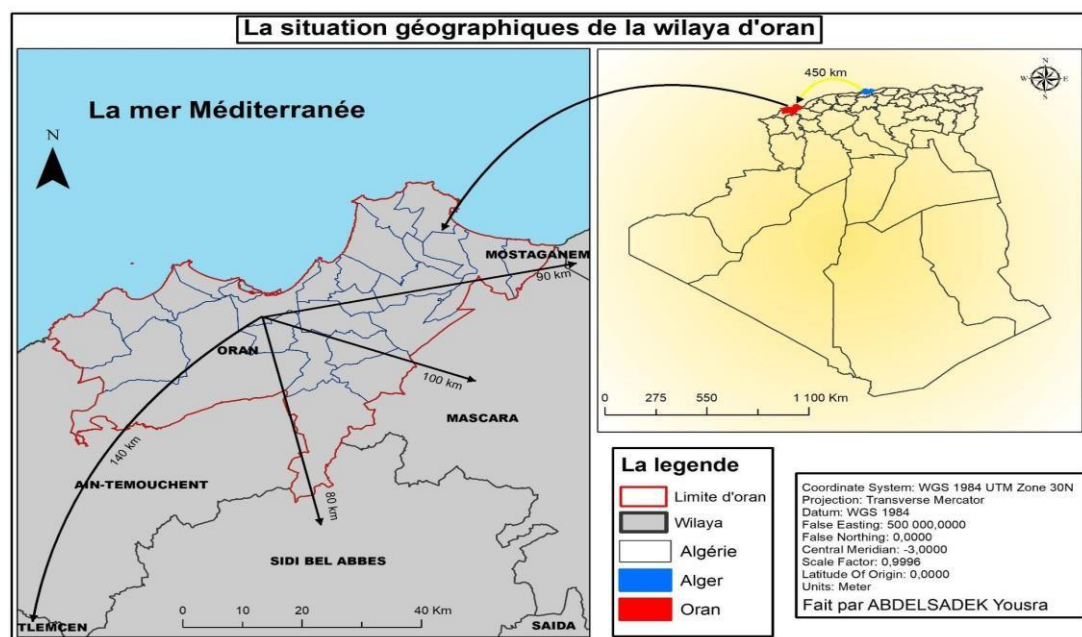


Figure 5 : La situation géographique de la wilaya d'Oran

II.1.2 Situation géologique :

La région a traversé plusieurs phases géologiques, incluant des formations triasiques caractérisées par des roches gypseuses situées à l'ouest de la ville d'Oran, ainsi que des formations jurassiques composées de roches calcaires couvrant différentes zones du littoral oranais. Des roches de schiste et de quartz se trouvent également sur les surfaces nord de Marjajo et sur le plateau du Bosphore.

Les formations du Néogène, quant à elles, sont bien définies et incluent des roches argileuses et gypseuses, comme celles autour de Marina, ainsi que des rochers sablonneux dans les quartiers d'Al-Siddiqiah et de Ras Kanastal. Cette dernière zone, délimitée entre la côte et la mer à l'ouest, abrite par ailleurs des couches qui retiennent en grande partie l'eau.

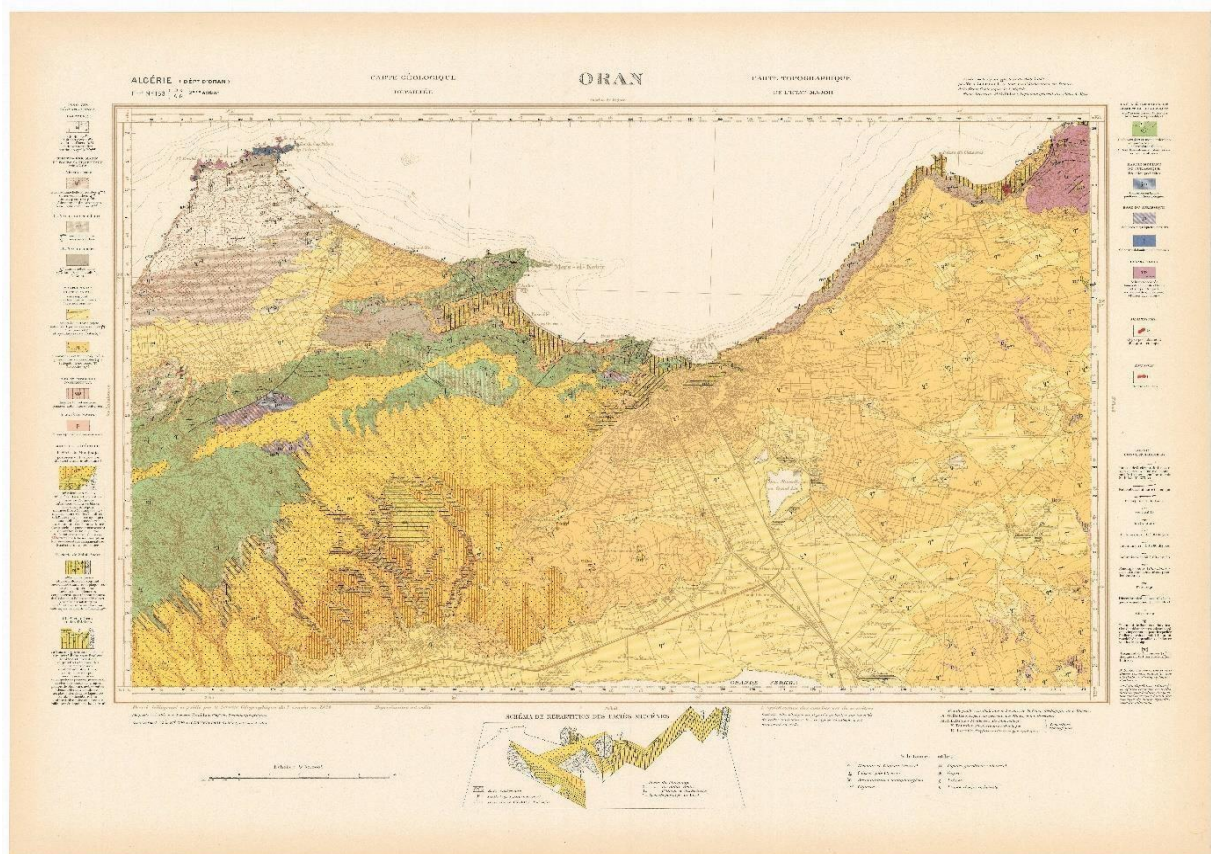


Figure 6 : La situation géologique de la wilaya d'Oran.

II.1.3 Situation topographique :

La région oranaise se distingue par un environnement naturel riche et varié. Elle tire une partie de son caractère unique de la grande Sebkhia, qui constitue le prolongement naturel de la dépression topographique du bassin de Chlef.

La zone littorale présente des contrastes marqués, avec une juxtaposition harmonieuse de terrasses marines, de plaines étroites et de hautes montagnes. Cet espace s'étend entre l'embouchure de l'oued Makatea à l'est et la vallée de la Tafna à l'ouest. Sur une longueur de 90 kilomètres vers l'ouest, elle est bordée au nord par la mer Méditerranée et au sud par la grande Sebkhia.

Les reliefs composés de montagnes et de plateaux comprennent deux principaux massifs : celui du Marjajo et celui du Lion, qui s'étendent parallèlement à la côte, entre l'oued Sasel au sud-ouest et l'oued Al-Muhaqin au nord. Ces deux formations se caractérisent par des collines rocheuses de faible altitude, parmi lesquelles les reliefs les plus remarquables sont le massif du Marjajo, Tel Al Qa'dah culminant à 299 mètres, et Tel Hoissy atteignant 424 mètres.

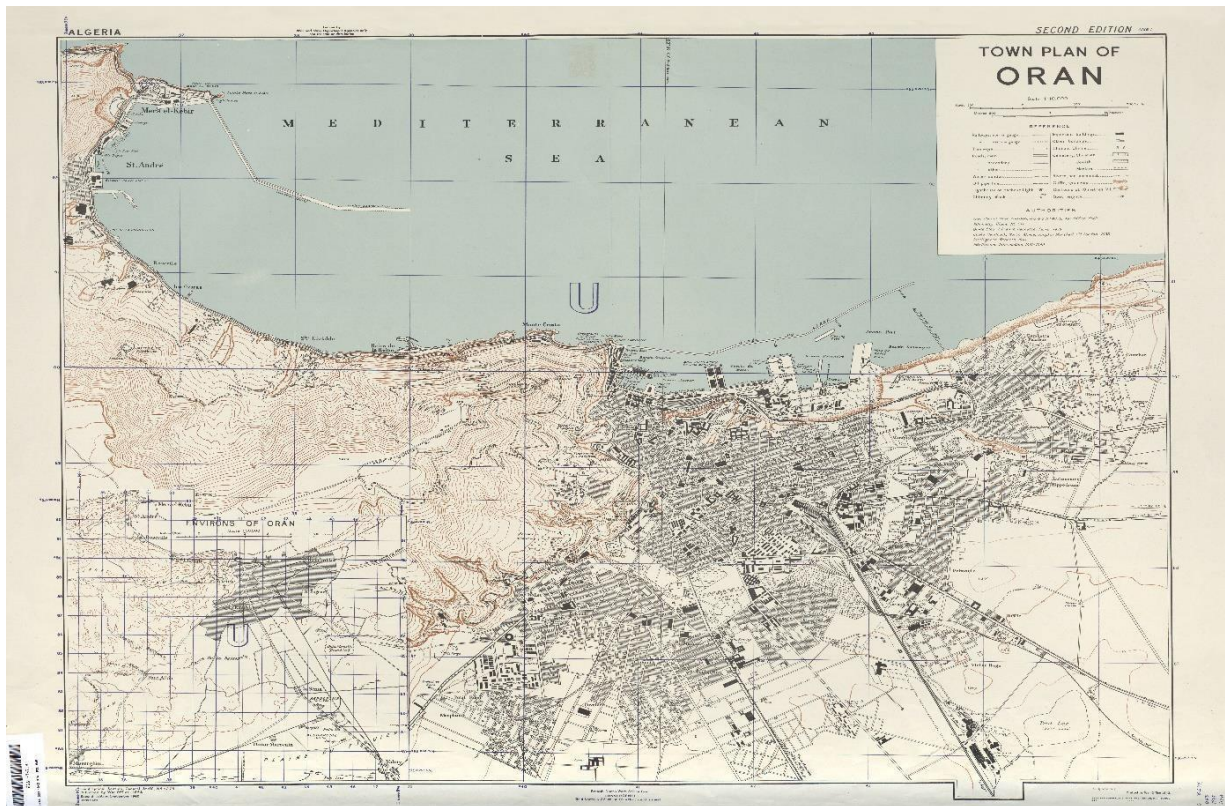


Figure 7 : La situation topographique de la wilaya d'Oran.

Le plateau côtier constitue une unité morphologique et géologique uniforme, s'étendant des montagnes de Marjajo au sud-ouest jusqu'à Djebel Khar au nord-est, couvrant les régions de Kanastal, le district de Khemisti, ainsi que Bir El Djir, Hassi Bonif et les zones viticoles. Dans sa partie sud, notamment Musargin et Potellis, les altitudes varient entre 100 et 200 mètres. Quelques collines se démarquent dans la région, particulièrement au nord-est, où l'on retrouve également une communauté située au sud-est. Les altitudes y oscillent entre 90 et 200 mètres, comme à Sidi Al-Shahimi.

Le Sebkhia d'Oran constitue l'élément le plus important, s'étendant sur environ 20 km au sud de la ville, au nord de la plaine de Malata. Sur ses versants est et nord-est se situent plusieurs localités, telles que Daiyat El Morsli et Daiyat Sidi Maarouf, réparties à travers la plaine de Tlilat et le plateau d'Oran. Concernant les plaines, une distinction s'impose entre celles côtières et celles situées à l'intérieur des terres.

- **Les plaines côtières** : ce sont de minces étendues de terre situées le long du littoral, coincées entre les montagnes et la mer. Ces zones possèdent des sols à forte salinité, généralement peu adaptés à l'agriculture. Ainsi, elles sont exclusivement consacrées à la culture des céréales, des légumineuses et de la vigne. On les retrouve dans la plaine située au nord du Grand Pier, dans la plaine andalouse du quartier Bosfer à Ain al-Türk, ainsi que dans une bande étroite du quartier de Ras Al-Ain et une autre zone à Bir al-Jir, au nord-est de la ville.
- **Plaine intérieure** : située dans une dépression encadrée par les hautes terres côtières au nord, la vallée de Tlilat à l'est, la mer Méditerranée à l'ouest et les montagnes de Tsala au sud.

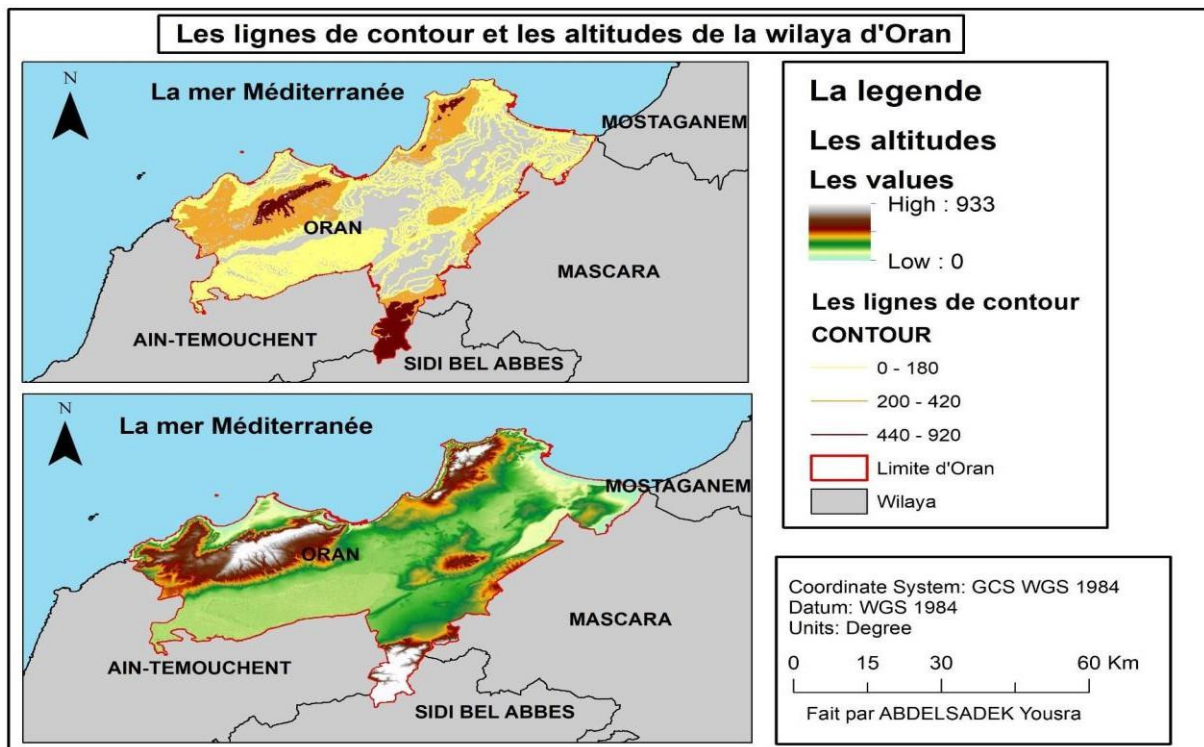


Figure 8 : Les altitudes et lignes de contour de la wilaya d'Oran.

II.1.4 Aspect géomorphologique :

Le littoral Oranais à topographie relativement contrastée, apparaît comme un agencement de formes plissées très variées où alternent des plis aigus, lâchés affectant soit le substratum jurassico-crétacé soit la couverture Mio-pliocène. (R.Tinthoin,1948)

Il semble d'après certains auteurs que ces fameuses structures se sont mises en place au centre d'un bassin néogène subsident en cours de dépôt, et que la cause principale de la géomorphologie actuelle du littoral serait l'activité des rejeux plio-quaternaire .

Faisant partie de ce tell septentrional, Dj Kristel occupe sa partie sud orientale, tout en étant bordée par des falaises escarpées, abruptes et élevées. Son altitude moyenne est d'environ 558 mètres, dominé par Dj Borosse. Il épouse ainsi la direction tellienne de l'ensemble du massif d'Arzew ce promontoire dissymétrique dont l'orientation est NE-SW.

Ce djebel a été caractérisé par une activité tectonique assez intense et porte vers 400 mètres l'un des témoins d'une morphologie beaucoup plus ancienne matérialisée par la présence des *surfaces d'abrasion*

qui ont été citées tout d'abord par Gourinard (1958) et par d'autres tels que : G.Thomas (1985) qui les désignait de plate-forme d'abrasion et qui seraient surmontées par des grès de plage ocres à quelques kilomètres au Nord du village de Kristel .

Il est à noter que notre secteur d'étude a été soumis à une forte érosion qui a profondément disséqué les massifs locaux en attaquant leur structure et laissant en relief les formations carbonatées très accidentées et criblées de guillochages.

II.2. Le climat :

La région d'Oran se distingue par de très faibles précipitations comparées à d'autres régions. Cette situation s'explique par sa localisation à l'ouest du pays, où le climat est sec en raison de la présence de barrières montagneuses influençant la quantité de pluies. On estime que le taux annuel de précipitations y atteint environ 400 mm par an.

Le climat se distingue ainsi par un bilan d'évaporation quasi nul : les précipitations très faibles sont compensées par une évaporation potentielle pouvant atteindre jusqu'à 7 mètres, en raison d'une nébulosité réduite qui favorise un ensoleillement intense, ainsi que des vents violents qui marquent l'hiver saharien.

L'écoulement moyen est estimé à 260 mm par an dans la région de Tessala, tandis qu'il atteint environ 220 mm par an au niveau de la crête du Murdjadjo. Dans les zones les plus basses, il dépasse en moyenne 100 mm par an, tandis qu'il varie entre 20 et 30 mm par an dans les terres cultivables et de 15 à 20 mm par an dans les plaines les plus arides.

Le tableau suivant est présenté les données climatiques d'Oran en 2020 :

Tableau 1 : La précipitation et température à Oran.

Oran 2020	précipitation	température	température (max)	température (min)
janvier	37.44	10.98	16.55	5.45
février	38.00	12.05	17.62	6.53
mars	33.37	14.35	20.06	8.69
avril	33.83	16.44	22.12	10.83
mai	20.91	19.55	25.24	13.90
juin	3.93	23.32	29.15	17.54
juillet	1.57	26.15	32.22	20.12
août	2.48	26.77	32.88	20.70
septembre	17.68	23.65	29.59	17.77
octobre	32.24	20.16	25.93	14.45
novembre	44.81	15.35	20.99	9.77
décembre	35.41	12.06	17.51	6.67
annuel	301.67	18.40	24.15	12.70

II.3. Hydrogéologie:

Les calcaires dit *marmoréens* du Jurassique inférieur (**Lias**) semblent occuper la quasitotalité des massifs d'Arzew sous forme de deux lentilles :

- La première forme le Dj Orosse dans la partie médiane de la région. Il s'agit d'une seule et unique unité, elle est complexe, irrégulière et jalonnée de failles sauf à l'extrémité orientale.
- La seconde compose le Dj Borosse dans la partie sud-occidentale du massif. Elle est constituée par plusieurs petites lentilles pouvant atteindre parfois des épaisseurs considérables, il en est ainsi pour celle qui s'étend jusqu'à Kristel et qui semble constituée le principal réservoir aquifère qui doit

Contribué pour une assez large part à l'alimentation de quelques sources et principalement celle d'El-Ançor (ou de Kristel).

Ces masses liasiques, calcaires parfois dolomitiques, sont très tectonisées et bréchifiées déjà soumises à l'érosion karstique qui ne cesse d'ailleurs, de se développer à la faveur de plusieurs facteurs d'ordre tectonique sans oublier l'action de l'air marin. M.Dalloni (1939), souligne que ces masses auraient été jadis le siège d'une circulation souterraine très intense. En effet, R.Tinthoin(1948) confirme l'existence d'ancien cours d'eau à l'ancienne mine de Kristel (Bled Tefrent) avec cascade pétrifiée et ajoute que la dissolution interne affectant les couches profondes aboutissent parfois à leur démolition presque complète.

Dans notre secteur d'étude ces phénomènes se traduisent aussi bien en surface qu'en profondeur et on peut observer éventuellement des lapiez, des cavités et même de gros blocs de calcaires disloqués des parois des montagnes, crevassés à la surface et éparpillés de part et d'autre donnant un aspect ruiniforme.

L'étude géologique révèle l'existence dans notre secteur de :

1)- L'aquifère perché du Jurassique :

Ce dernier est formé exclusivement par des lentilles de calcaires marmorisés parfois dolomitiques attribués au Lias et ou Dogger et qui seraient alimentées par les infiltrations directes et les eaux ruisselant sur les schistes du Crétacé.

Ces lentilles carbonatées sont drainées par la source d'El-Ançor qui correspond à une éxurgence de débordement et la coupe hydrogéologique schématique relevée sur le terrain illustre en effet son affleurement au niveau des éboulis de pente qui surmontent les marnes miocènes.

Elle est captée par une longue galerie drainante.

Les mesures de débits dont on dispose ont donné :

- 1992, $Q = 1.6 \text{ L/S}$.
- 1999, $Q = 8 \text{ L/S}$.

2)- Nappe du Crétacé:

Il s'agit de lentilles quartzitiques fissurées, intercalées dans les schistes compartimentés du Crétacé inférieur et à la faveur de ces fracturations qui permettent l'infiltration de débit d'eau non négligeable, cette lentille assure l'alimentation de la source de Ain-El-Defla et une autre à son voisinage, affleurant toute les deux au contact des alluvions.

3)- L'aquifère des grès de base:

Il est de faible extension, et affleure peu dans notre secteur d'étude, correspond à des formations gréseuses possèdent la possibilité de drainer des horizons sus-jacents et sont drainées par la source de Guessiba dont le bassin d'alimentation est difficile à préciser.

4)- Nappe du Pléistocène inférieur ou "Calabrien" :

Représentée par des formations entièrement lumachéliques et gréseuses attribuées au Calabrien et s'étend de Gdyl jusqu'à Kristel. Ces formations forment une nappe libre alimentée par les eaux de précipitations et du ruissellement, provenant de la montagne des lions. Elle est drainée par deux lignes de sources; une ligne septentrionale au SW de Kristel et une autre méridionale au N de Gdyl.

5)- L'aquifère alluvial du Pléistocène:

Ce dernier est formé par deux niveaux le premier est constitué par des alluvions récentes de couleur grises essentiellement limoneuses (Holocène) le deuxième plus ancien est composé de limons rouges. Il est à noter que la nappe contenue dans cet aquifère est captée par plusieurs puits.

Aperçu sur les équipements de mobilisation de ressources en eau de la ville d'Oran :**II.3.1. Les réservoirs :**

De grands réservoirs seront construits à Oran afin de renforcer les infrastructures et équipements dans plusieurs régions de la wilaya. Cette initiative vise à améliorer les conditions de vie des habitants en garantissant une meilleure disponibilité en eau potable. Le projet inclura les communes de Misserghin (daïra de Boutlelis), Sidi Moussa (Arzew), Tafraoui et Oued Tlilat. Selon le responsable du département de l'eau d'Åland, bien qu'il n'y ait pas de pénurie de ressources en eau dans cette région, le principal problème réside dans la distribution. L'eau est présente en quantité suffisante, mais le défi consiste à organiser sa répartition efficacement pour répondre aux besoins des 26 communes de la wilaya d'Oran.

La construction de réservoirs dans des villes dépourvues d'infrastructures de stockage d'eau, comme Misserghin, a pour objectif de remédier au problème de la pénurie d'eau. Ces infrastructures permettront de garantir l'approvisionnement des habitants tout en assurant une réserve suffisante pour plusieurs jours en cas de panne technique ou d'imprévu. Ces dernières années, la wilaya d'Oran a considérablement amélioré son accès à l'eau grâce à diverses

sources, notamment les barrages, le gigantesque projet MAO (Mostaganem-Arzew-Oran) et, bientôt, la station de dessalement d'eau de mer de Mers El Hadjadj.

Un réservoir d'une capacité de 300 000 m³ a récemment été mis en service à Belgaïd, dans la zone orientale de la wilaya d'Oran. Ce réservoir constitue le point terminal du projet ambitieux de transfert d'eau connu sous le nom de couloir « Mostaganem-Arzew-Oran » (MAO). Cette infrastructure stratégique vise à assurer l'approvisionnement continu en eau potable des localités situées à l'est d'Oran, notamment Gdyl, Hassi Amer, Hassi Bonif, Hassi Ben Okba, Sidi Chahmi, Oued Tlilat et Kristel, ce qui garantira une distribution ininterrompue sur une base quotidienne. Par ailleurs, cette réalisation jouera un rôle crucial dans l'amélioration de l'approvisionnement en eau après l'entrée en service de la station de dessalement d'El Mactaa, située également à l'est d'Oran, laquelle dispose d'une capacité de production de 500 000 m³ par jour.

II.3.2. Le réseau hydrographique :

Les principaux cours d'eau de la Wilaya incluent l'Oued Tlilat, qui alimente la sebkha d'Oran, ainsi que l'Oued Beggoug et l'Oued Guessiba.

- L'Oued Beggoug, relevant du sous-bassin versant côtier d'Aïn Türck, localisé sur le versant nord du Djebel Murdjadjo, est équipé d'une retenue collinaire.
- L'Oued Guessiba, rattaché au sous-bassin versant des salines d'Arzew, situé au nord-est de la Wilaya, accueille la deuxième retenue collinaire de cette région.

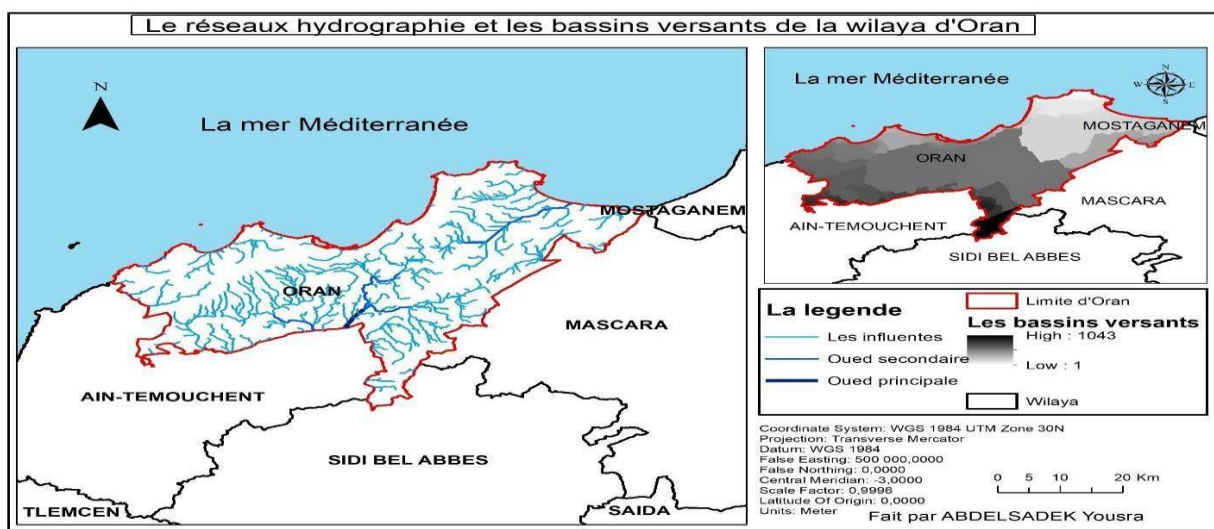


Figure 9 : Le réseau hydrographique et les bassins versants d'Oran

II.3.3. Les puits :

L'exploitation des ressources souterraines repose essentiellement sur les puits, qui représentent 94 %, tandis que les forages ne comptent que pour 6 %. En revanche, les sources naturelles sont rares et se trouvent principalement dans les zones côtières de la région Tlemcen-Oranaise, notamment dans les communes d'Aïn Kerma et d'El Ançor.

Les puits constituent le principal moyen d'extraction des eaux souterraines, avec une concentration notable dans les communes de Misserghin (260 puits) et Boutlelis (173 puits), qui exploitent principalement la nappe phréatique peu profonde de Brédéah. Par ailleurs, les communes de Sidi Chami (205 puits), Hassi Bonif (195), Boufatis (101), Gdyl (96) et Bir El Djir (95) utilisent également ce mode d'extraction en s'approvisionnant dans le champ de captage des Complexes Jurassiques des Monts d'Arzew. De son côté, la commune d'Aïn-Kerma, avec ses 113 puits, s'appuie sur le champ de captage situé sur le flanc nord du Djebel Murdjadjo.

II.3.4. Les forages :

En ce qui concerne le forage, la grande majorité des installations se trouve répartie entre les deux communes de Misserghin (50 forages) et de Boutlelis (35 forages), situées dans la région des piémonts du Murdjadjo-Sebkha d'Oran. Ces forages exploitent la nappe phréatique tertiaire profonde, peu minéralisée, localisée sur le flanc sud du Djebel Murdjadjo.

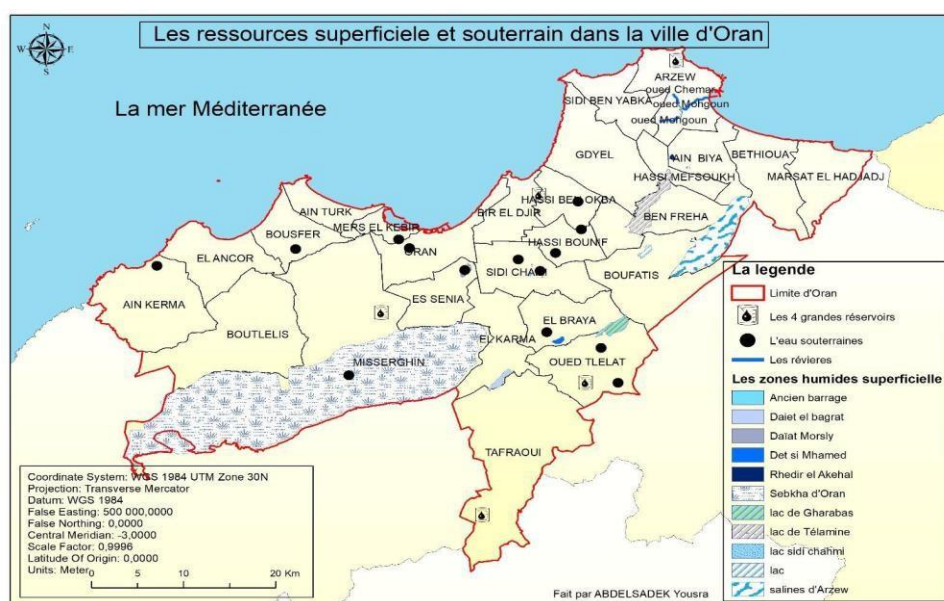


Figure 10 : Les ressources mobilisables d'Oran.

Après avoir présenté le cadre géographique, géologique, topographique et hydrographique général de la wilaya d'Oran, il apparaît indispensable de circonscrire notre étude à l'échelle locale. Ainsi, nous orientons désormais notre analyse vers la zone de Kristel, et plus précisément vers la source d'El Ançor, qui constitue le site principal de cette investigation hydro chimique et microbiologique.

II.4 Cadre géographique de la zone d'étude :

Les limites naturelles sont respectivement :

- La mer Méditerranée, au **Nord**.
- Le plateau de Gdyl, au **Sud**.
- Le plateau de Canastel, à l'**Ouest**.
- Les massifs d'Arzew, à l'**Est**.

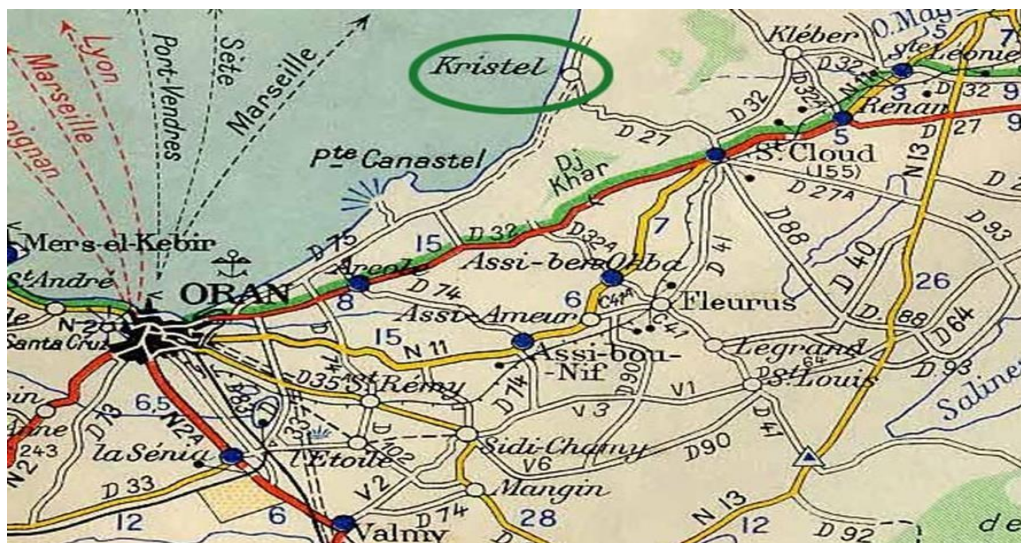


Figure 11 : carte de situation géographique de kristel par rapport aux plateaux d'Oran

La source **d'El-Ançor** à Kristel se situe à une vingtaine de kilomètres à l'Est de la ville d'Oran et se localise au centre du village de Kristel.

Le village regorge d'une source d'eau douce, jugée potable par la population locale. Cette ressource est également sollicitée pour l'irrigation des exploitations agricoles qui font la renommée de la région, ainsi que par les maraîchers pour le lavage des produits destinés à la commercialisation.

- **Lieu** : Le marché d'El Ançor, au village de Kristel, Wilaya d'Oran.
- **Caractéristique** : Une source d'eau douce qui coule au milieu du marché, utilisée pour laver les légumes locaux.
- **Ambiance** : Authentique et rustique, le marché est un lieu de vente directe de produits locaux.
- **Contexte** : Le village de Kristel est connu pour ses paysages maritimes et son authenticité.



Figure 12 : la source d'El Ançor (Marché du kristel)

II.5 Méthodologie de l'étude et sources des données analytiques :

II.5.1 Conduite d'essai :

Dans le cadre de notre étude, nous avons effectué des prélèvements au niveau de la source naturelle El-Ançor, située à Kristel dans la wilaya d'Oran, durant le mois d'Octobre 2025. Les échantillons ont été répartis pour couvrir les analyses physico-chimiques et bactériologiques requises pour notre travail.

II.5.2 Prélèvement des échantillons d'eau :

Le prélèvement d'un échantillon est une opération délicate, à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Pour cela, il doit satisfaire aux conditions ci-dessous :

- Les échantillons doivent être homogènes et représentatifs.
- Les échantillons doivent être recueillis, conservés et expédiés dans des flacons stérilisés adéquats s'il s'agit d'analyse bactériologique.
- Le volume recueilli doit être suffisant pour permettre une analyse précise.
- Tous les renseignements utiles sur les échantillons doivent être indiqués et le flacon doit être étiqueté correctement pour éviter les erreurs, comme le déclarent **Rodier et al. (2009)**.

. Les échantillons d'eau nécessaires à l'analyse physico-chimique ont été prélevés selon la méthode décrite par **Rodier et al. (2009)**, dans des flacons jetables en matière plastique.

Pour le prélèvement d'eau nécessaire à l'analyse bactériologique, nous avons utilisé des flacons en verre de 250 ml. Au moment du prélèvement, le flacon est ouvert et introduit dans la source, en prenant soin de ne pas contaminer l'échantillon. Une fois rempli, le flacon est refermé dans les conditions aseptiques requises jusqu'au moment de l'analyse (entre 6 à 12h). Avant l'usage, les flacons ont été soigneusement lavés, rincés à l'eau distillée, puis stérilisés, selon la technique adoptée d'après **Larpent (1997)**.

II.5.3 Acquisition des données et échantillonnage :

❖ Données historiques et archivistiques :

Les données utilisées dans cette étude proviennent de plusieurs sources. Les informations les plus anciennes concernant les années 1999 et 2000, ont été extraites du Mémoire de BAKRETI (2000), ce qui a permis d'intégrer des données antérieures et d'élargir la période d'étude.

Par ailleurs Les résultats analytiques couvrant la période 2013–2024 ont été fournis par Les archives du laboratoire de la Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Oran (SEOR). L'intégration de ces données antérieures permet d'élargir la période d'étude et d'évaluer l'évolution de la qualité des eaux sur long terme.

❖ Campagne d'échantillonnage (Octobre 2025) :

Dans le cadre de ce travail, une campagne d'échantillonnage a été réalisée durant l'année 2025 au niveau de la source de Kristel lors d'un stage effectué au sein de la SEOR. L'échantillon d'eau a été prélevé directement à la source dans des conditions appropriées afin d'éviter toute contamination ou altération des caractéristiques initiales de l'eau.

Après le prélèvement, l'échantillon a été transporté au laboratoire dans une glacière à une température d'environ 4 °C, conformément aux recommandations relatives au transport des échantillons destinés aux analyses bactériologiques. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été réalisées au laboratoire de la SEOR en conformité avec les normes algériennes de potabilité de l'eau (Décret exécutif n° 11-125) et selon les méthodes analytiques normalisées appliquées dans le contrôle de la qualité des eaux.

❖ Enquête de terrain et entretiens (Mai 2026) :

En complément des analyses physico-chimiques, une visite de reconnaissance a été effectuée le 06 mai 2026. Cette étape a consisté en une inspection visuelle des infrastructures d'assainissement environnantes et des entretiens avec les riverains pour documenter l'historique des épisodes de pollution.

II.6 Méthodes d'analyses :

Les paramètres d'analyses physico-chimiques mesurés sont la température, le pH, la conductivité électrique, les matières en suspension, ainsi que les concentrations en calcium, magnésium, chlorures, nitrites, nitrates, sulfates, ortho-phosphates, ammonium, sodium, potassium, fer, carbonates et bicarbonates. L'analyse bactériologique, quant à elle, vise à détecter la présence de germes en se basant sur leur recherche et leur quantification dans les échantillons soumis à l'examen.

II.7 Les outils de traitement des données :

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé des données hydrochimiques couvrant deux périodes distinctes afin d'évaluer la qualité de l'eau et son évolution dans le temps.

Les données anciennes (1999–2000) ont été exploitées à l'aide de diagrammes hydrochimiques, notamment les diagrammes de Schoeller, Piper, Stiff et Wilcox. Ces outils permettent de caractériser le faciès hydrochimique de l'eau, d'analyser sa composition ionique et d'évaluer son aptitude à différents usages.

Les données de la période 2013–2025 ont été analysées à l'aide d'histogrammes afin de représenter l'évolution des paramètres physico-chimiques et bactériologiques au cours du temps. Cette méthode permet de visualiser facilement les variations des concentrations et de comparer les valeurs entre les différentes années.

Ainsi, l'utilisation combinée de ces méthodes permet de mieux comprendre la qualité de l'eau et son évolution au cours du temps.

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 Synthèse des résultats d'analyses :

Avant d'entamer l'interprétation graphique, il est nécessaire de présenter les données brutes issues des campagnes de mesures. Afin de ne pas alourdir le corps du texte, les tableaux exhaustifs regroupant l'ensemble des analyses physico-chimiques et bactériologiques de la source d'El Ançor ont été reportés en Annexes (Voir Annexe n°01 et n°02). Nous présentons ci-après une synthèse de ces résultats qui servira de base à notre discussion.

III.2 Interprétation et discussion des résultats (Période 1999-2000) :

Cette première partie de l'étude se concentre sur les données historiques de la source. L'analyse est ici purement physico-chimique et s'appuie sur une approche graphique par diagrammes pour définir l'état initial de la ressource.

III.2.1 Caractérisation hydrochimique :

L'utilisation des diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff nous permet d'identifier le faciès chimique dominant durant cette période. Cette étape est essentielle pour comprendre la minéralisation de l'eau d'El Ançor.

III.2.1.1 la Facies Hydrochimique (Piper) :

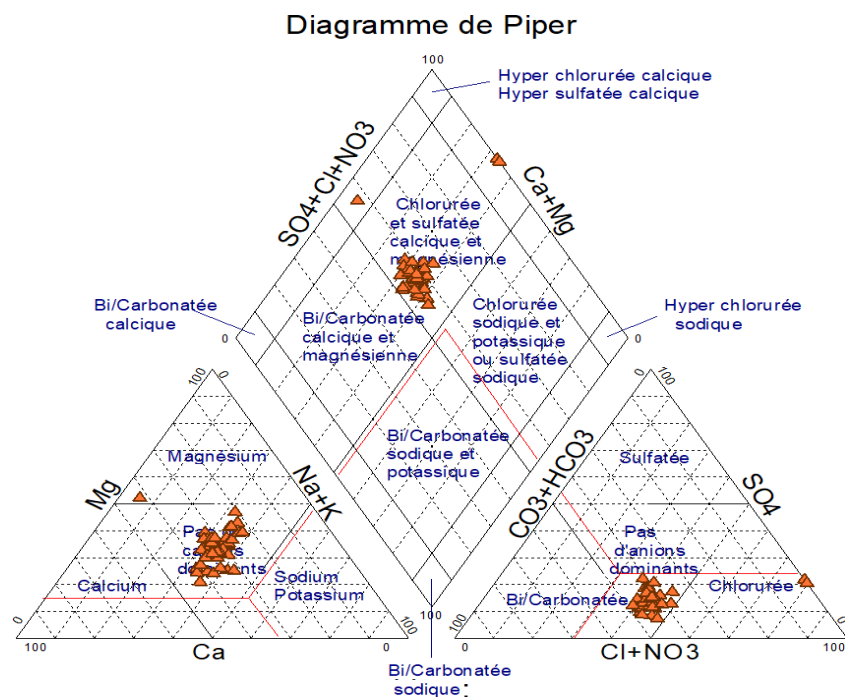


Figure 18 : Diagrammes de Piper

L'analyse du diagramme de Piper a facilité l'identification des pôles de minéralisation des eaux de la source de Kristel en procédant d'abord à l'examen distinct des deux triangles de base, pour ensuite regrouper les données dans le losange central.

- **Analyse du Triangle des Cations (Pôle Gauche)** : Les données révèlent une concentration marquée des points en direction des sommets représentant le calcium (Ca^{2+}) et le magnésium (Mg^{+}). Cette concentration majoritaire des cations indique une dureté élevée de l'eau, principalement attribuable aux interactions avec les formations géologiques carbonatées et sulfatées présentes au sein du bassin versant.
- **Analyse du Triangle des Anions (Pôle Droit)** : La répartition des échantillons révèle une prédominance marquée autour des pôles des chlorures (Cl^{-}) et des sulfates (SO_4^{2-}). Cette signature anionique souligne l'impact des faciès évaporitiques, notamment par la dissolution du gypse, ainsi qu'un enrichissement en chlorures attribuable à la proximité de la côte oranaise.
- **Synthèse dans le Losange Central (Faciès Global)** : La projection conjointe des données dans le losange central place l'ensemble des échantillons dans la catégorie des "acides forts". En résumé, les eaux de la source de Kristel se distinguent par un faciès chloruré et sulfaté à dominante calcique et magnésienne.
- **Interprétation Géo-hydrologique** : La constance observée dans ce faciès lors des différentes campagnes d'échantillonnage atteste du caractère naturel (géogénique) de la minéralisation, directement influencée par la lithologie locale. Par ailleurs, la distribution compacte des points reflète une homogénéité dans le fonctionnement Hydrochimique de l'aquifère, sans indication de contamination anthropique significative au moment des analyses effectuées.

III.2.1.2 la stabilité physico-chimique (Schoeller-Berkaloff) :

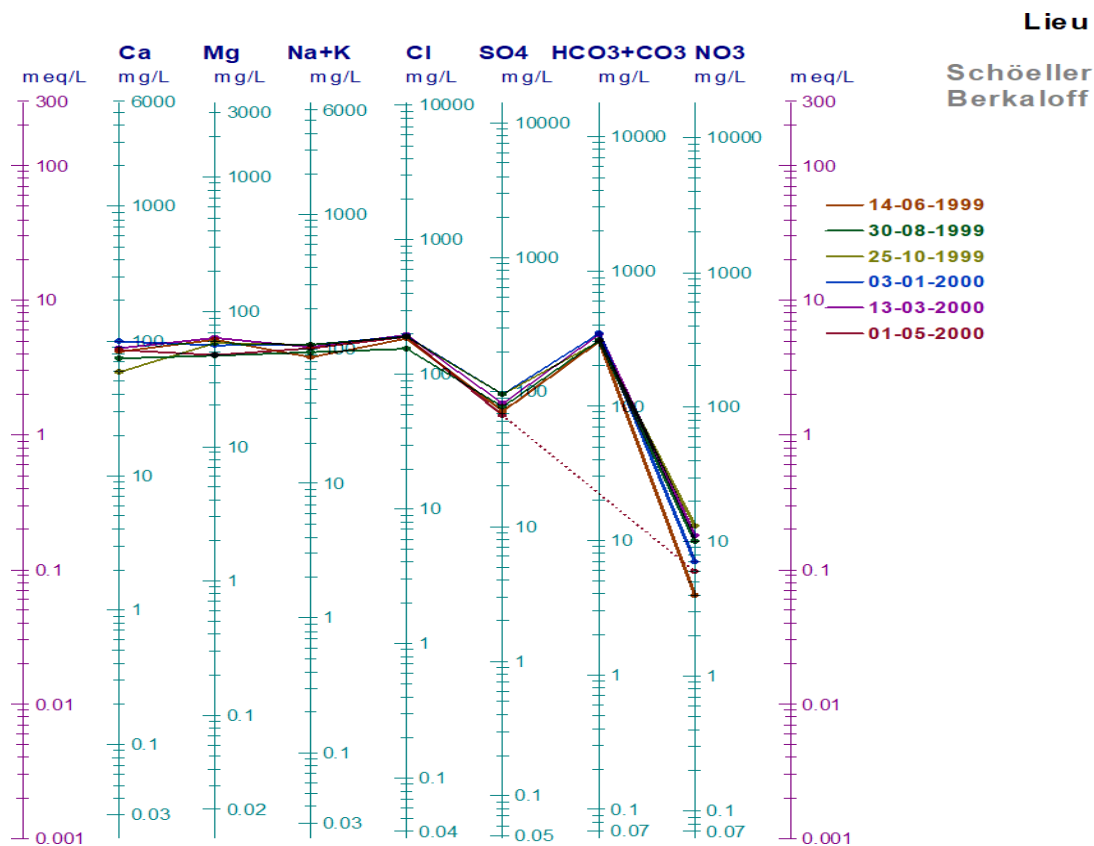


Figure 19 : Le diagramme de Schoeller-Berkaloff

❖ Analyse des faciès chimiques:

Le diagramme semi-logarithmique de Schoeller-Berkaloff montre une superposition quasi parfaite des droites représentatives des différentes campagnes d'échantillonnage (étalées entre juin 1999 et mai 2000). La configuration des courbes indique un faciès hydrochimique dominant, caractérisé par une prédominance des ions Chlorures (Cl^-) et Calcium (Ca^{2+}) ou Magnésium (Mg^{2+}) ce qui suggère un faciès de type Chloruré-Calcique.

❖ Évolution Temporelle et Stabilité :

- **Stabilité des éléments majeurs** : On observe une stabilité remarquable des concentrations en cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$) et en anions (Cl^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-}) au cours du cycle annuel. Les profils restent parallèles, ce qui témoigne d'une constance des processus de minéralisation (dissolution, échanges ioniques) au sein de l'aquifère.
- **Le pic des Bicarbonates (HCO_3^{-})** : La concentration élevée et constante en bicarbonates indique une interaction prolongée avec des formations carbonatées.
- **Cas particulier des Nitrates (NO_3^{-})** : On note une légère fluctuation des concentrations en nitrates sur la dernière colonne. Bien que les valeurs restent faibles ($< 10\text{mg/L}$), les variations mineures pourraient être liées à des influences anthropiques saisonnières ou à des phénomènes de lessivage lors des épisodes de recharge.

❖ Conclusion Hydrogéochimique:

L'allure générale "en dents de scie" identique pour toutes les dates confirme que les eaux proviennent d'un même réservoir hydrogéologique homogène. La stabilité des rapports ioniques indique que le temps de séjour de l'eau est suffisant pour atteindre un équilibre chimique avec la matrice rocheuse, sans influence majeure des eaux de surface ou de pollution accidentelle durant la période d'étude.

III.2.2 La signature ionique et aptitude à l'irrigation :

Le diagramme de Stiff nous permet de visualiser la signature ionique de la source, tandis que le diagramme de Wilcox classe l'eau selon son admissibilité pour l'usage agricole, un paramètre clé pour la région de Kristel.

III.2.2. 1 Caractérisation morphologique et hydrochimique (Stiff) :

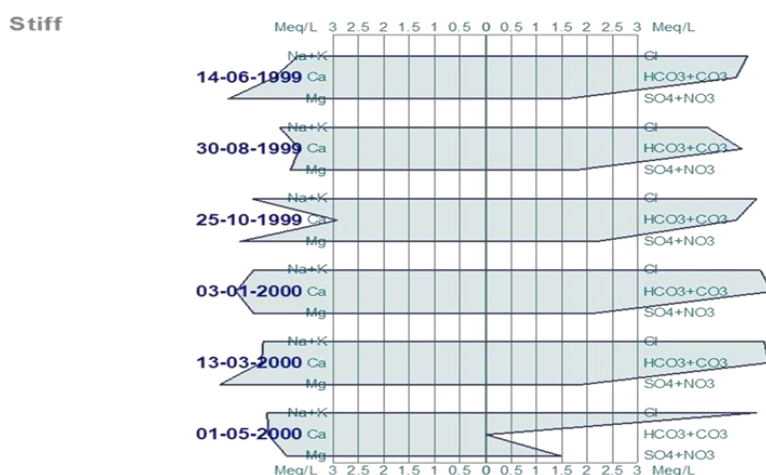


Figure 20 : Le diagramme de Stiff

❖ Analyse de la signature chimique :

Le diagramme de Stiff présente une série de polygones représentant la composition ionique de l'eau à différentes dates. La forme caractéristique de ces polygones, avec une extension marquée vers la droite pour les ions Chlorures (Cl^-) et Bicarbonates (HCO_3^-), ainsi qu'une extension vers la gauche pour le Calcium (Ca^{2+}), confirme un faciès chimique de type Chloruré-Calcique et Bicarbonaté-Calcique.

❖ Comparaison Temporelle et Stabilité :

- **Homogénéité visuelle** : On observe une grande similitude dans la morphologie des polygones (formes quasi identiques) tout au long de la période d'étude (1999-2000).

Cette "signature" visuelle constante indique que l'eau provient d'une source unique avec une composition minérale stable.

- **Variations de surface :** La largeur totale des polygones reste relativement constante (autour de 3 meq/L), ce qui suggère que la minéralisation totale (salinité) ne subit pas de fluctuations majeures malgré le changement de saison.
 - **Observations particulières :** On note un léger retrait sur la courbe du 01-05-2000 au niveau des sulfates (SO_4^{2-}), indiquant une diminution ponctuelle de cet élément qui n'altère cependant pas le faciès global
-
- ❖ **Synthèse :** La similitude morphologique des polygones de Stiff suggère l'absence de toute influence saisonnière majeure sur la structure chimique de l'eau, confirmant ainsi l'inertie hydrochimique du réservoir de Kristel durant cette période.
 - ❖ **Conclusion :** L'utilisation du diagramme de Stiff renforce les résultats obtenus par le diagramme de Schoeller. La stabilité de la forme des polygones démontre la pérennité du faciès hydrochimique de l'aquifère et l'absence de mélange avec d'autres masses d'eau aux caractéristiques différentes.

III.2.2.2 La qualité des eaux pour l'irrigation (Wilcox) :

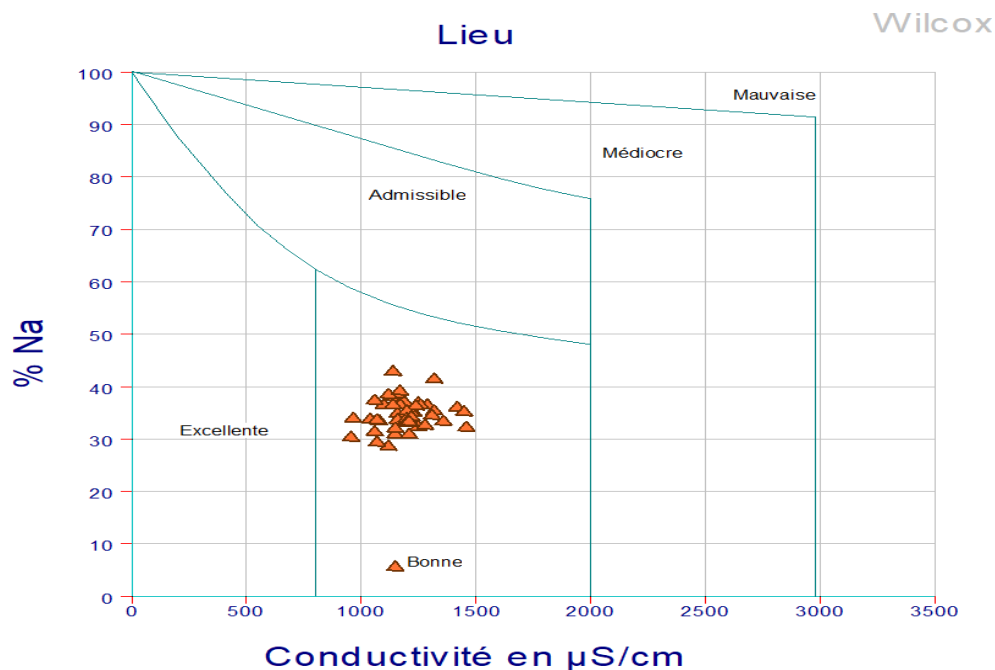


Figure 21 : Le diagramme de Wilcox.

L'aptitude des eaux de la source de Kristel à l'usage agricole a été évaluée en croisant la conductivité électrique (minéralisation totale) et le pourcentage de sodium (Na^+). L'analyse du diagramme permet de tirer les conclusions suivantes :

- **Classification des eaux :** La majorité des échantillons analysés se projette dans la classe "Excellente à Bonne". Cette position indique que l'eau possède globalement des caractéristiques favorables pour une utilisation en agriculture sans risque immédiat majeur pour la structure du sol.
- **Risque de Salinité (Conductivité) :** Les points se regroupent entre 1000 et 1500 $\mu\text{S/cm}$. Bien que l'eau soit classée comme "Bonne", cette conductivité modérée à élevée nécessite une attention particulière pour les cultures sensibles au sel et exige un drainage efficace des sols pour éviter l'accumulation saline à long terme.
- **Risque de Sodisation (Na^+) :** Le pourcentage de sodium varie approximativement entre 30% et 40%. Ces valeurs modérées indiquent que le risque de dégradation de la perméabilité du sol par l'alcalinisation (remplacement du calcium par le sodium sur le complexe adsorbant) est faible à modéré.

- ❖ **Synthèse** : La stabilité du regroupement des points confirme une fois de plus l'homogénéité du réservoir souterrain de Kristel. On conclura que l'eau est admissible pour l'irrigation, sous réserve d'un suivi de la salinité du sol pour prévenir tout phénomène de salinisation secondaire sous climat semi-aride.

III.2.3 Conclusion Générale (Données Historiques) :

L'interprétation globale des résultats montre que la source de Kristel présentait, à l'époque des prélèvements, une signature hydrochimique très stable et une bonne aptitude à l'irrigation

❖ **Une minéralisation naturelle et constante**

L'analyse des diagrammes de Piper, Schoeller et Stiff confirme que le faciès de l'eau est de type chloruré et sulfaté à dominante calcique et magnésienne.

- Cette composition provient de la dissolution des roches locales, comme le gypse et les formations carbonatées.
- L'influence de la proximité côtière explique également les teneurs en chlorures observées.

❖ **Stabilité historique du réservoir**

Les campagnes d'échantillonnage réalisées entre juin 1999 et mai 2000 montrent une stabilité remarquable des éléments majeurs.

- La superposition quasi parfaite des courbes sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff prouve que l'eau provenait d'un aquifère homogène.
- À cette période, les analyses ne montraient aucune indication de contamination anthropique significative, avec des taux de nitrates restant très faibles.

❖ **Aptitude à l'irrigation (Contexte de l'étude)**

D'après le diagramme de Wilcox, la majorité des échantillons de l'époque se classaient en catégorie "Excellente à Bonne".

- Le risque de dégradation du sol par le sodium était jugé faible à modéré.
- Cependant, avec une conductivité située entre 1000 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, l'utilisation de cette eau nécessitait déjà un suivi de la salinité du sol.

III.3. Analyse de l'évolution de la qualité (Période 2013-2025) :

Dans cette seconde section, nous traitons les données récentes. L'approche adoptée ici est à la fois physico-chimique et bactériologique, utilisant les histogrammes pour mettre en évidence la dynamique temporelle de la source.

III.3.1. Évolution des paramètres physico-chimiques :

La représentation sous forme d'histogrammes permet de suivre les fluctuations des concentrations ioniques et de la minéralisation globale au fil des années. Cela nous aide à détecter les tendances de stabilité ou de dégradation de la qualité chimique.

L'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de la source étudiée a été effectuée à travers le suivi d'une série de paramètres clés. Il s'agit tout d'abord des paramètres indicateurs de la stabilité géochimique tels que le pH, la conductivité électrique. L'étude a également porté sur d'autres éléments majeurs et indicateurs de pollution, notamment le résidu sec, le calcium (Ca^{2+}) et le magnésium (Mg^{2+}), les chlorures (Cl^-), les nitrates (NO_3^-), les sulfates (SO_4^{2-}), les fluorures (F^-), l'oxydabilité (matières organiques) ainsi que l'ammonium (NH_4^+).

Les résultats obtenus lors des différentes campagnes de mesure (allant de 2013 à 2025) sont présentés ci-dessous. Ces données nous permettent d'apprécier la stabilité globale de cette ressource locale et de détecter d'éventuelles anomalies ou pollutions anthropiques par comparaison avec les normes de potabilité en vigueur (Normes CMA).

III.3.1.1 Interprétation du Potentiel d'Hydrogène (pH)

pH à 20°C UPH

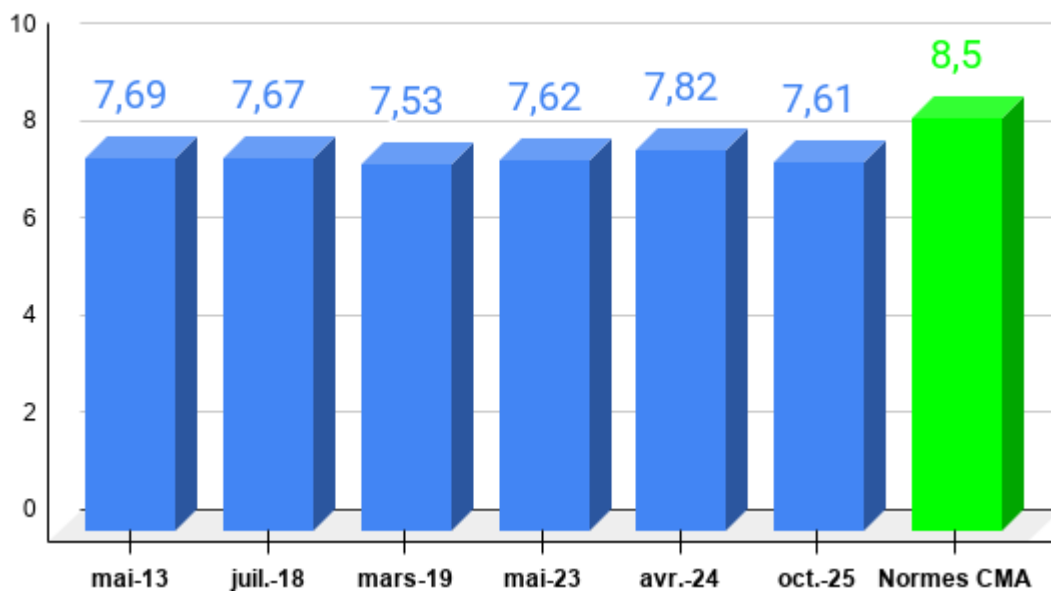


Figure 22 : Évolution de PH

Les mesures du pH révèlent que l'eau de la source étudiée présente un caractère légèrement alcalin, avec des valeurs très stables comprises entre 7,53 et 7,82. Pour la campagne d'octobre 2025, le pH enregistré est de 7,61. Ces résultats s'inscrivent parfaitement dans la fourchette de potabilité fixée par les normes algériennes (6,5 - 8,5), indiquant une stabilité du milieu chimique de l'aquifère vis-à-vis des variations acides ou basiques.

III.3.1.2 Interprétation de la Conductivité Électrique :

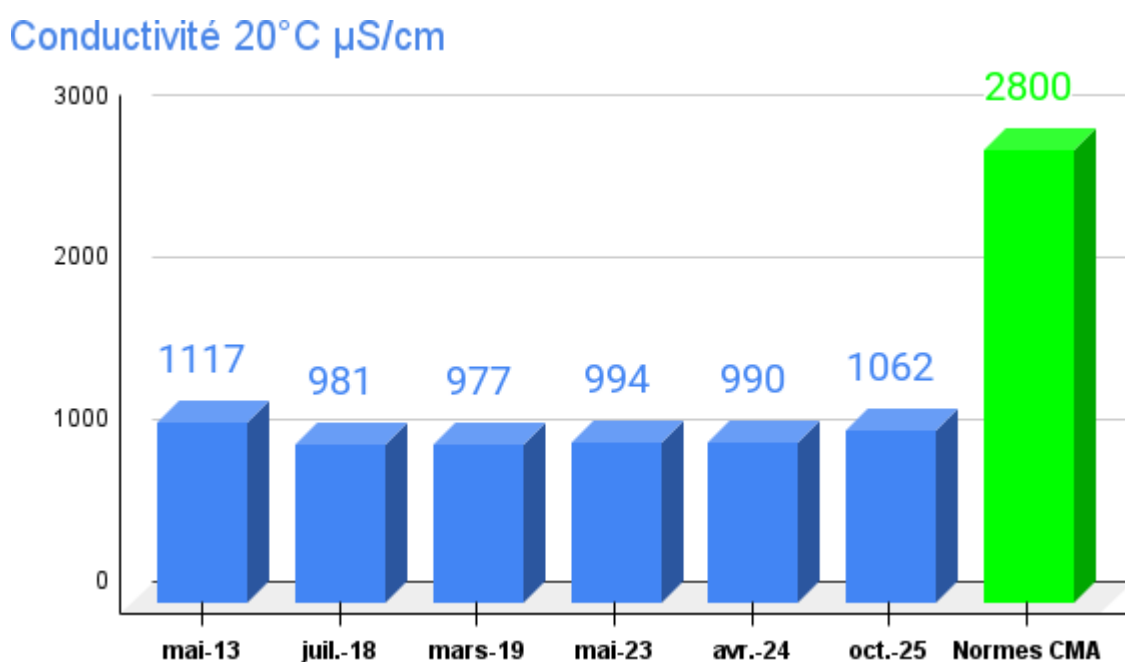


Figure 23 : Évolution de Conductivité.

L'analyse de la Conductivité Électrique, paramètre indicateur de la minéralisation totale de l'eau, montre une stabilité relative durant la période d'étude (2013-2024), avec des valeurs oscillantes entre 977 et 1117 $\mu\text{S/cm}$. En octobre 2025, une valeur de 1062 $\mu\text{S/cm}$ a été enregistrée. Bien que ces résultats soient largement inférieurs à la norme de potabilité (CMA = 2800 $\mu\text{S/cm}$), ils témoignent d'une minéralisation importante mais conforme aux exigences réglementaires pour les eaux souterraines de la région.

III.3.1.3 Interprétation du Résidu Sec :

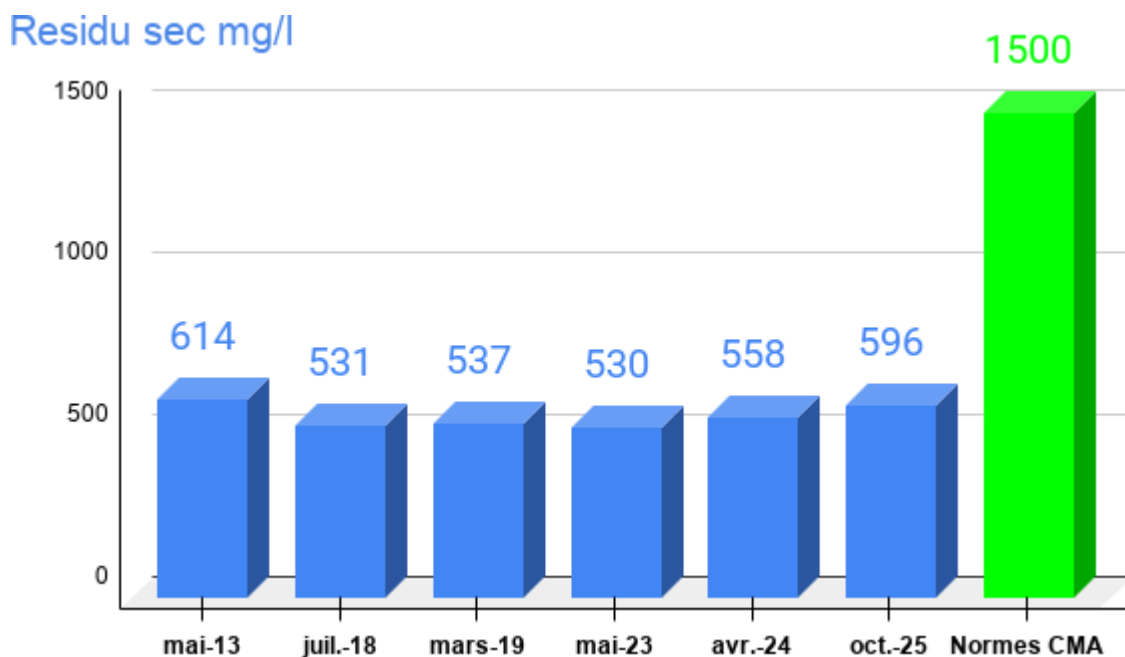


Figure 24 : Évolution de Residu sec.

L'examen des résultats du résidu sec montre une grande stabilité de la minéralisation totale tout au long de la période d'étude. Les valeurs enregistrées varient entre 530 mg/L et 614 mg/L, avec une valeur de 596 mg/L en octobre 2025. Toutes ces mesures restent largement inférieures à la limite maximale autorisée par les normes CMA, qui est de 1500 mg/L. Cette conformité constante indique que la charge globale en sels minéraux dissous reste modérée et stable, respectant ainsi les exigences de potabilité pour ce paramètre.

III.3.1.4 Interprétation de l'Ammonium (NH_4^+) :

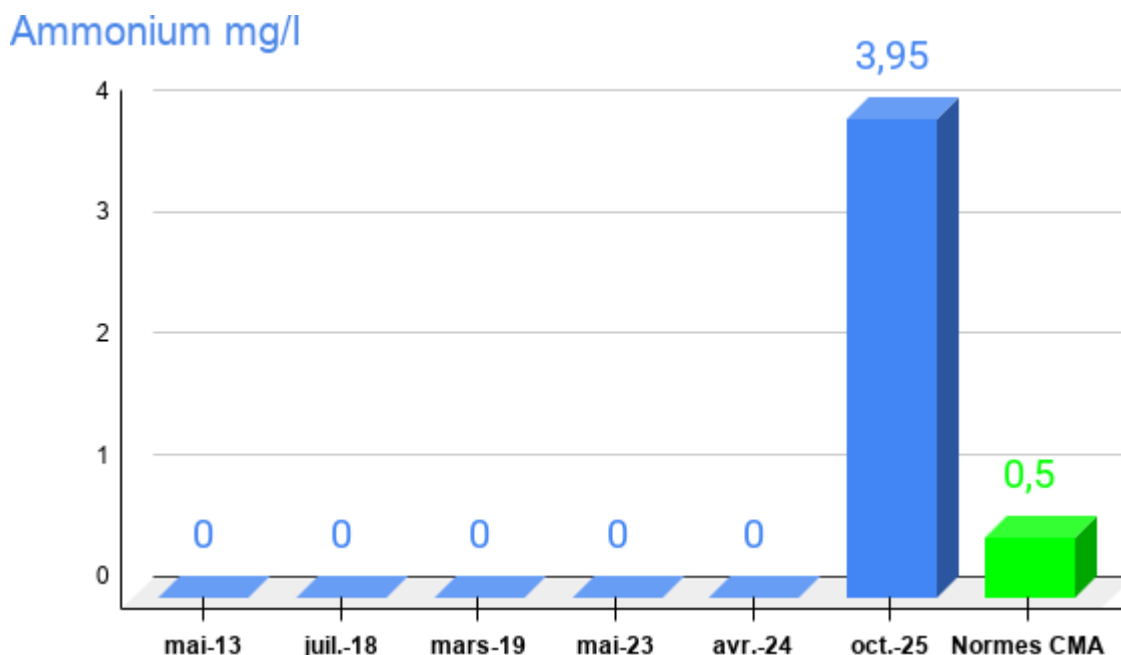


Figure 25 : Évolution de Ammonium.

Le suivi des teneurs en ammonium révèle une absence totale de ce paramètre (0 mg/L) de mai 2013 jusqu'en avril 2024. Toutefois, les analyses d'octobre 2025 affichent une concentration de 3.95 mg/L, dépassant largement la norme CMA fixée à 0.5 mg/L. Cette présence massive d'ammonium est un indicateur direct d'une dégradation de la qualité chimique de l'eau, souvent liée à des influences anthropiques immédiates ou à une infiltration de matières organiques. Cette anomalie constitue un signal d'alerte important sur l'état physico-chimique de la ressource à cette date.

III.3.1.5 Interprétation du Calcium (Ca^{2+}) :

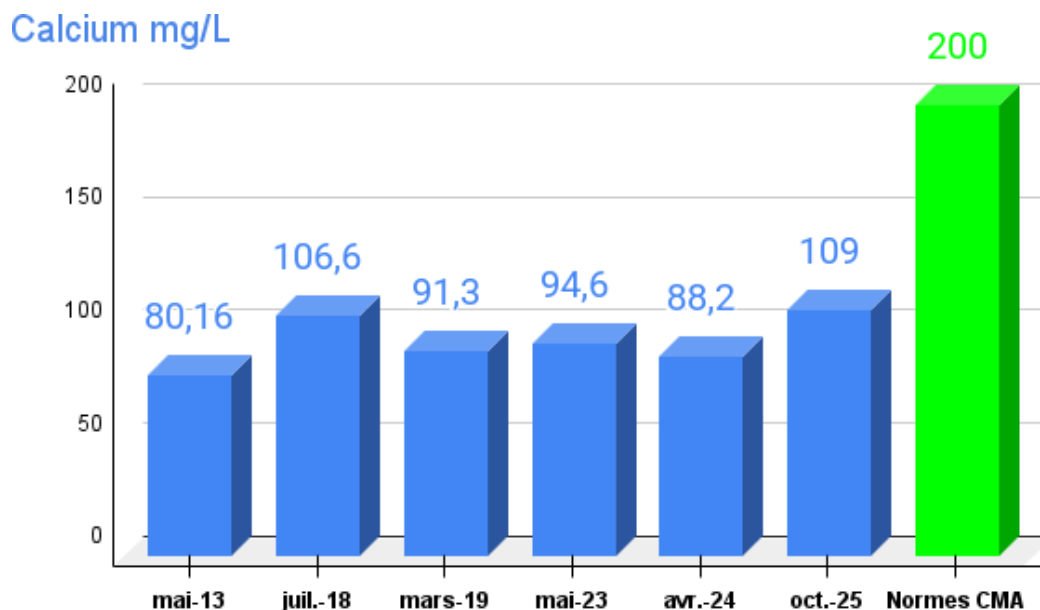


Figure 26 : Évolution de Calcium.

L'analyse des concentrations en calcium met en évidence des teneurs stables tout au long de la période d'étude. Les valeurs varient entre 80.16 mg/L et 109 mg/L, sans jamais atteindre le seuil limite des normes CMA (200 mg/L). Ces résultats montrent que les variations géochimiques n'affectent pas de manière critique ce paramètre. L'eau reste donc conforme aux exigences de potabilité concernant le calcium, dont les fluctuations reflètent principalement l'interaction naturelle entre l'eau et les formations géologiques du milieu.

III.3.1.6 Interprétation des concentrations en Magnésium (Mg^{2+}) :

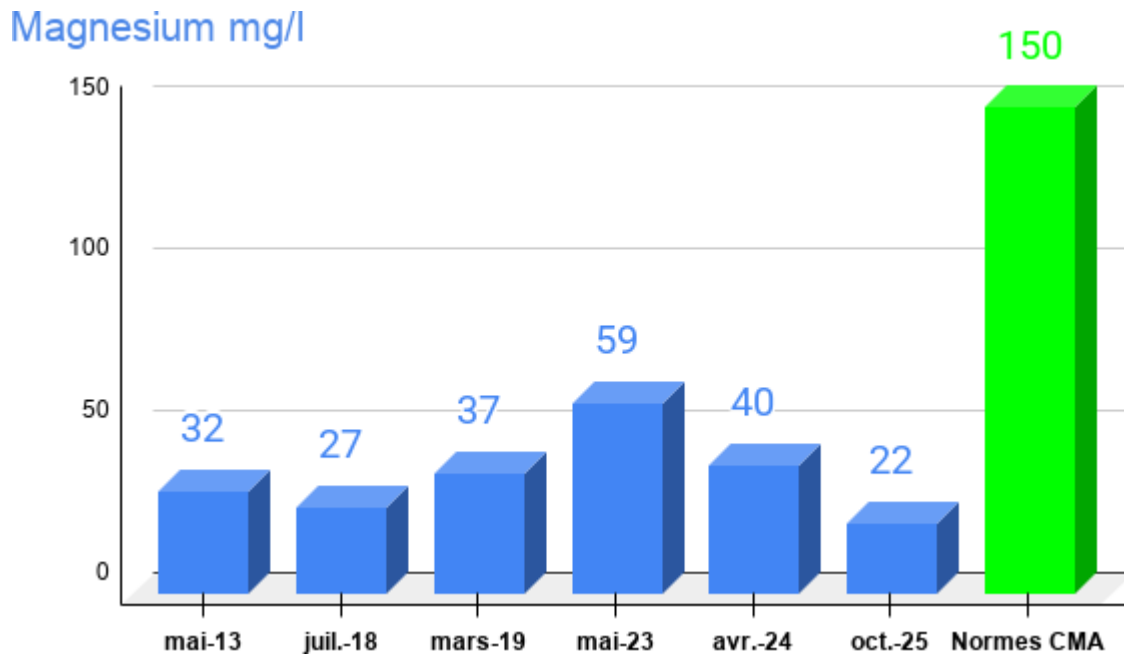


Figure 27 : Évolution de Magnésium.

Le suivi des teneurs en magnésium montre des concentrations fluctuantes au fil des années, atteignant un maximum de 59 mg/L en 2019 avant de se stabiliser à 22 mg/L en octobre 2025. Toutes les valeurs enregistrées demeurent nettement inférieures à la limite maximale admissible de 150 mg/L. Cette conformité indique que la dissolution des roches magnésiennes au sein de l'aquifère reste modérée et ne présente aucun risque de dureté excessive pour l'eau de consommation.

III.3.1.7 Interprétation des Chlorures (Cl-) :

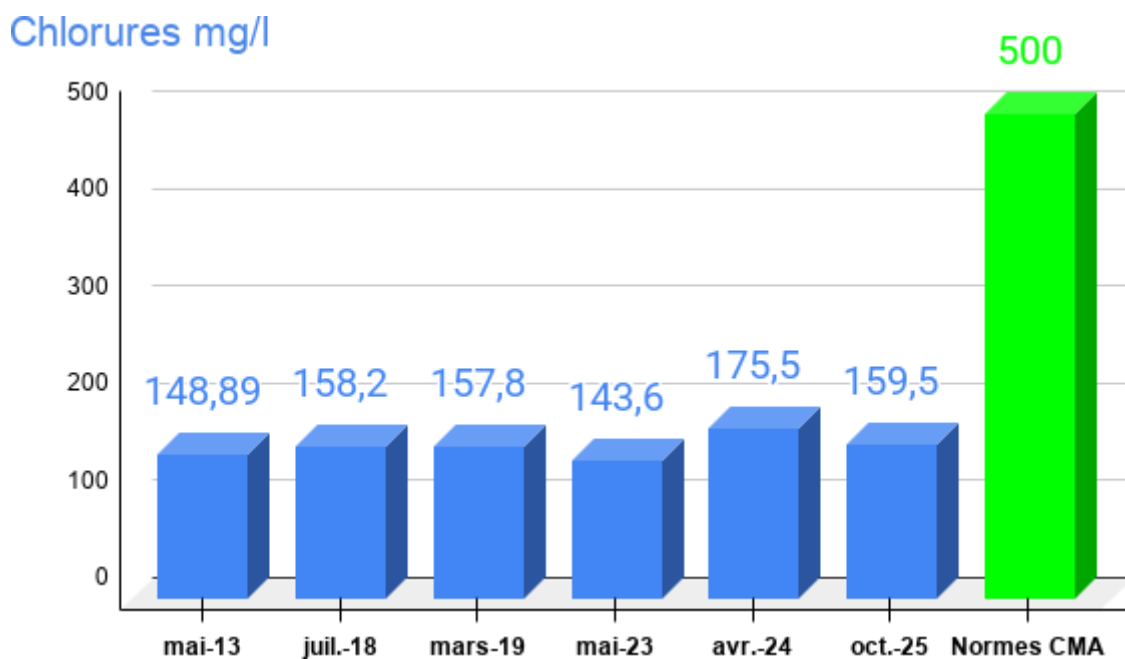


Figure 28 : Évolution de Chlorures.

Les teneurs en chlorures présentent un profil stable sur l'ensemble des années observées, avec des valeurs comprises entre 143.6 mg/L et 175.5 mg/L. Malgré une légère hausse enregistrée en avril 2024, toutes les mesures restent largement inférieures à la norme CMA de 500 mg/L. L'absence de pic majeur suggère que la minéralisation de l'eau n'est pas influencée par un apport externe de sels chlorés, maintenant ainsi une qualité chimique satisfaisante pour ce paramètre.

III.3.1.8 Interprétation des Nitrates (NO₃⁻) :

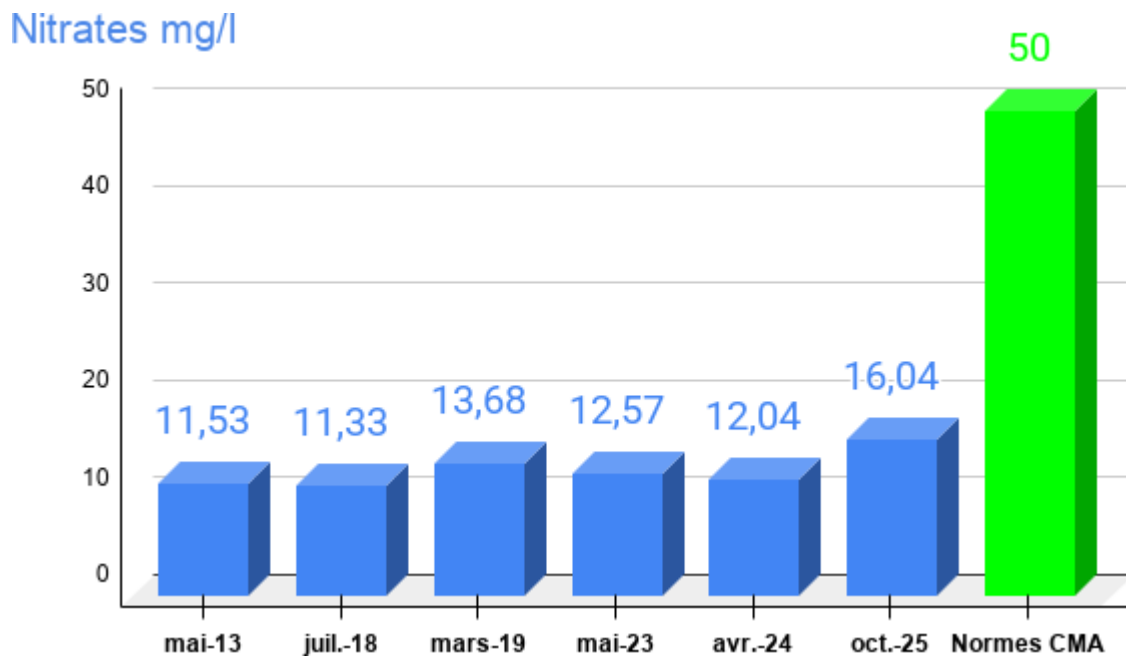


Figure 29 : Évolution de Nitrates.

Le dosage des nitrates révèle des concentrations conformes aux normes de potabilité (50 mg/L) sur toute la durée du suivi. Les valeurs oscillent entre 11.33 mg/L et 16.04 mg/L. Bien que l'on observe une légère tendance à la hausse en fin de période, les teneurs restent dans des limites acceptables. Cette situation indique une influence limitée des fertilisants agricoles ou des infiltrations d'eaux de surface chargées en azote oxydé au niveau de la ressource étudiée.

III.3.1.9 Interprétation de l'Oxydabilité :

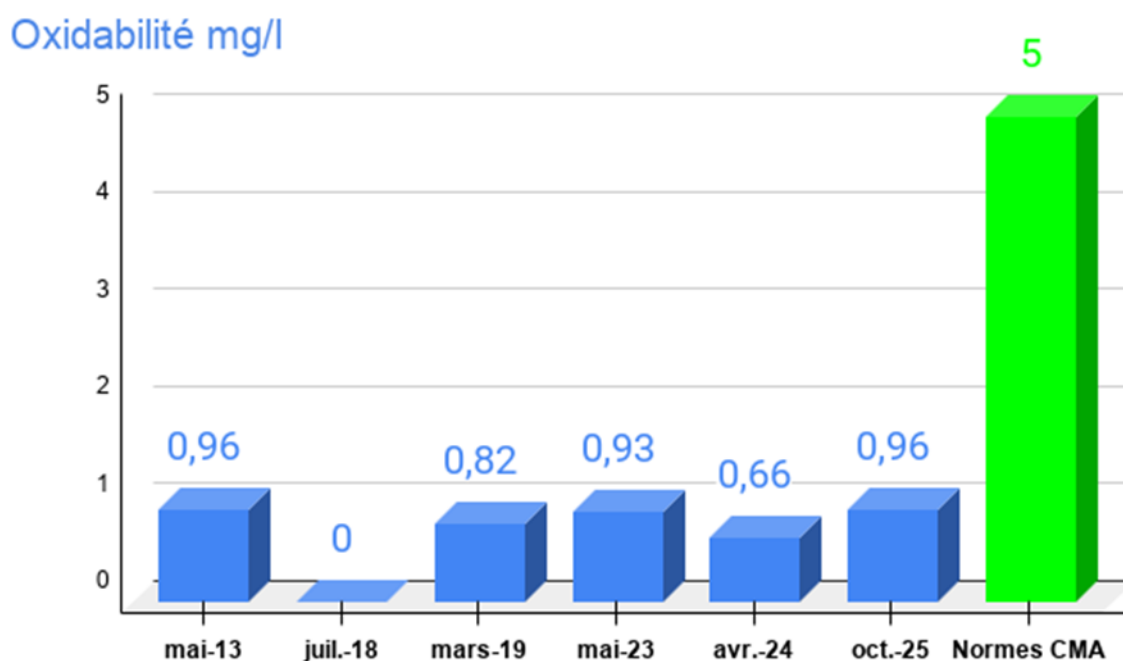
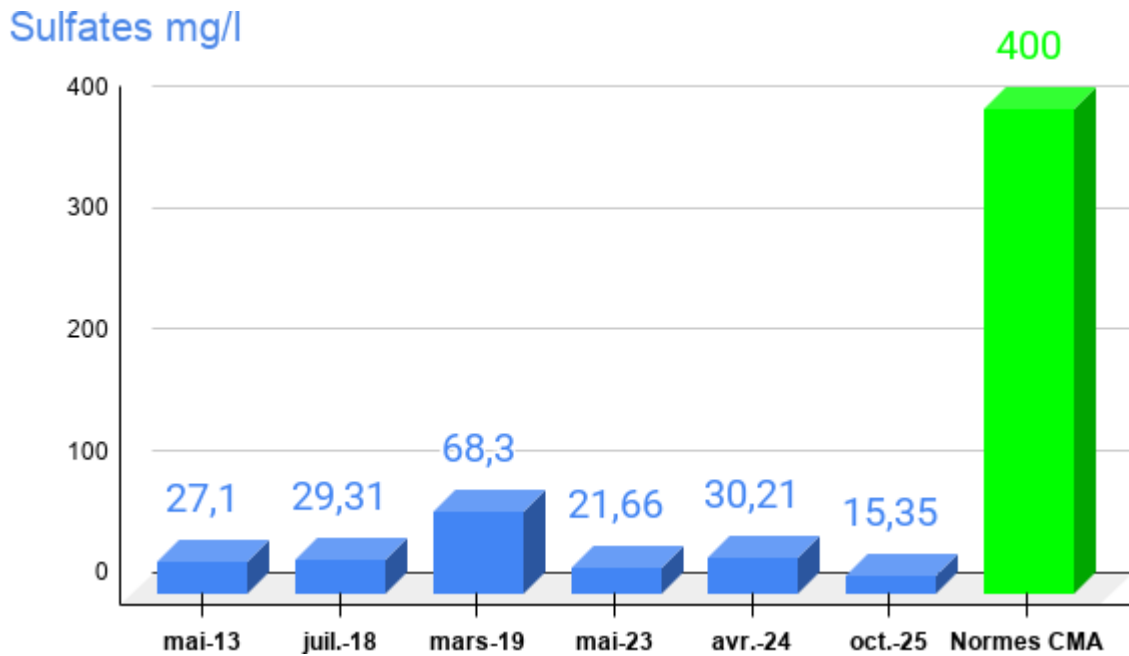


Figure 30 : Évolution de Oxydabilité.

L'analyse de l'oxydabilité montre des résultats globalement satisfaisants, avec des valeurs ne dépassant pas 0.96 mg/L. Ces concentrations sont très largement inférieures à la limite des normes CMA fixée à 5 mg/L. Cela indique que la charge en matières organiques oxydables par voie chimique reste limitée dans l'eau, malgré les variations observées sur d'autres paramètres azotés comme l'ammonium.

III.3.1.10 Interprétation des Sulfates (SO_4^{2-}) :**Figure 31 : Évolution de Sulfates.**

L'évolution des sulfates témoigne d'une eau peu chargée en ces ions. Les valeurs enregistrées sont faibles, variant entre 15.35 mg/L et 68.3 mg/L, ce qui est très loin du seuil de potabilité de 400 mg/L. Les fluctuations observées sont mineures et suggèrent une origine liée à la dissolution naturelle des minéraux du sol plutôt qu'à une influence extérieure notable.

III.3.1.11 Interprétation des Fluorures (F-) :

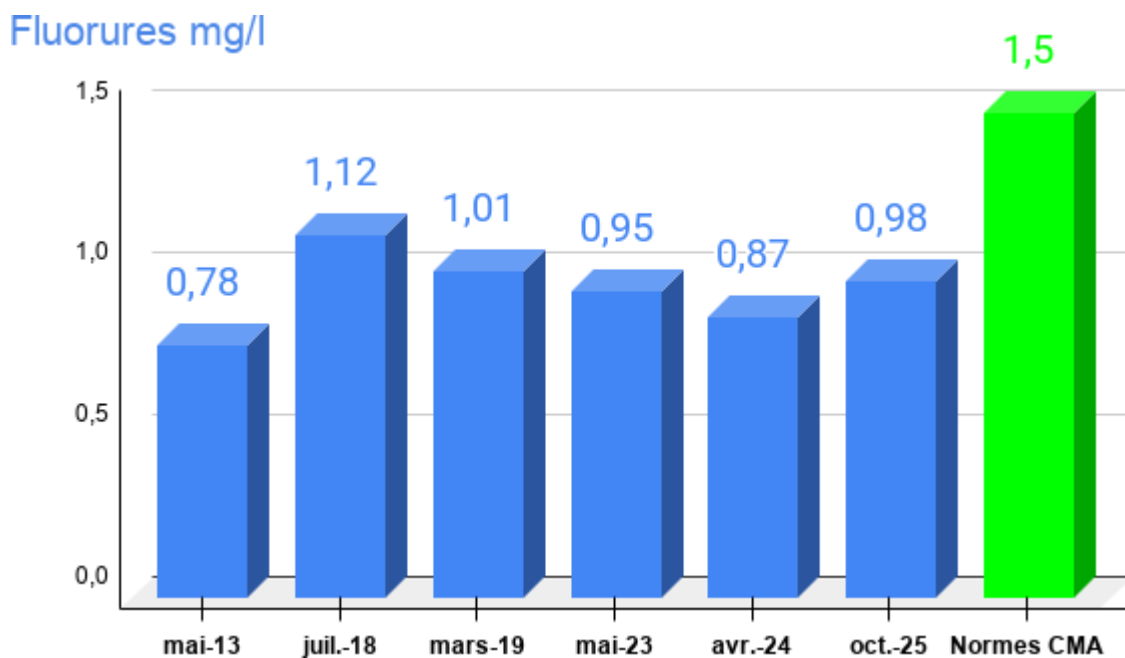


Figure 32 : Évolution de Fluorures.

Les concentrations en fluorures sont restées stables durant toute la période d'observation, avec des valeurs situées entre 0.78 mg/L et 1.12 mg/L. Toutes les analyses sont conformes à la norme CMA fixée à 1.5 mg/L. Ces résultats indiquent que la ressource présente une stabilité géochimique constante pour ce paramètre, sans risque pour la consommation humaine.

❖ Synthèse de l'analyse physico-chimique

En conclusion de cette étude physico-chimique, il apparaît une stabilité globale de la minéralisation de la source d'El Ançor sur la période (2013-2024), suivie d'une dégradation soudaine des indicateurs de pollution en 2025. Bien que la ressource ait montré un profil géochimique équilibré par le passé, notamment pour les chlorures (143,6 à 175,5 mg/L) et les sulfates (15,35 à 68,3 mg/L), c'est la campagne d'octobre 2025 qui marque un tournant préoccupant.

Durant ce mois, le pic d'ammonium (3,95 mg/L), qui dépasse largement les normes de potabilité (0,5 mg/L), coïncide avec une hausse des nitrates (16,04 mg/L). Cette convergence des résultats azotés, bien que l'oxydabilité reste limitée (< 1 mg/L), confirme une vulnérabilité récente de l'aquifère face à des infiltrations anthropiques. Ces anomalies physico-chimiques corroborent les résultats microbiologiques massifs enregistrés simultanément (Coliformes et *E. coli*), soulignant l'urgence d'une protection rigoureuse du périmètre de captage pour garantir la sécurité sanitaire des eaux distribuées.

III.3.2 Évaluation de la qualité bactériologique :

Cette partie de notre travail est consacrée à l'évaluation de la qualité bactériologique des eaux de la source. L'objectif principal est de vérifier la conformité de ces eaux vis-à-vis des exigences sanitaires et de détecter la présence éventuelle de germes pathogènes. Pour ce faire, nous avons focalisé nos analyses sur le dénombrement des indicateurs de pollution fécale les plus pertinents, à savoir : Bactéries Sulfite-réductrices, les coliformes totaux, les coliformes fécaux (*Escherichia coli*) et les Entérocoques.

Les résultats que nous présentons couvrent un suivi temporel allant de 2013 jusqu'à 2025. Cette approche nous permet de suivre l'évolution de la charge microbienne au fil des années et d'interpréter les variations constatées en les comparant aux seuils de potabilité réglementaires (Normes CMA). Il s'agit d'une étape cruciale pour juger de l'aptitude de cette ressource à la consommation humaine sans risque pour la santé des populations.

III.3.2.1 Interprétation de l'évolution des Bactéries coliformes :

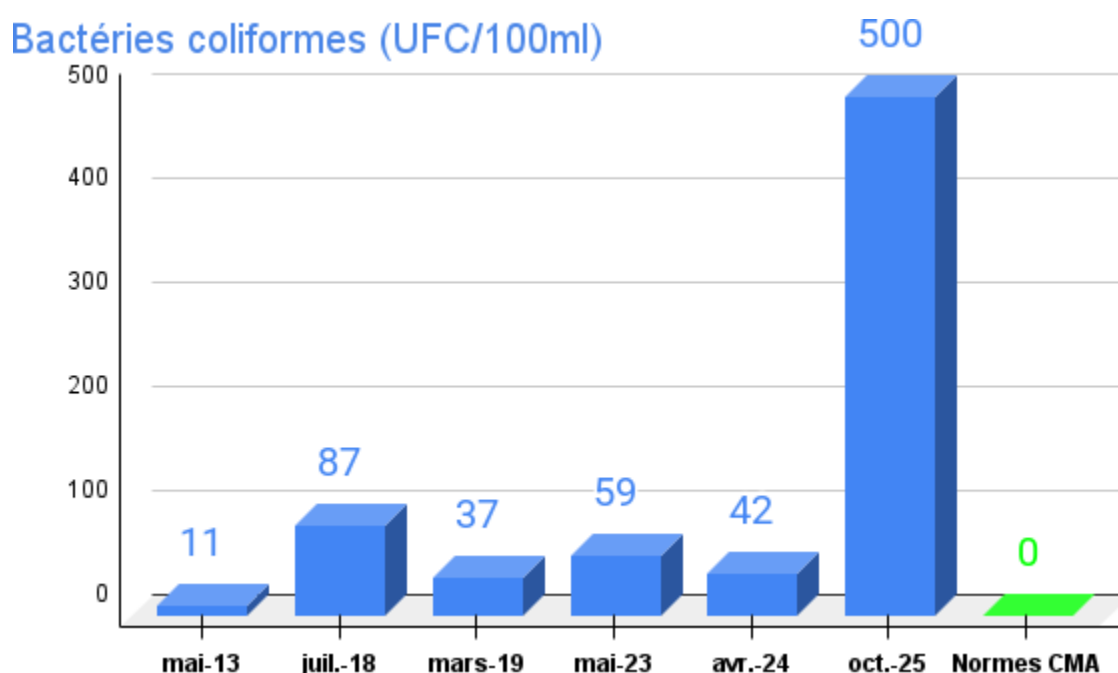


Figure 33 : Évolution de Bactéries coliformes.

L'analyse de l'évolution des Bactéries coliformes met en évidence une contamination bactériologique persistante de l'eau étudiée. Les concentrations enregistrées, exprimées en UFC/100 mL, varient selon les périodes, mais restent toutes supérieures à la valeur recommandée par les normes CMA, fixée à 0.

En effet, la valeur observée en mai 2013 (11 UFC/100 mL) indique déjà une présence de contamination, bien que relativement faible. Une augmentation notable est enregistrée en juillet 2018 (87 UFC/100 mL), traduisant une dégradation de la qualité microbiologique. Par la suite, une diminution est observée en mars 2019 (37), suivie de valeurs modérées en mai 2023 (59 UFC/100 mL) et en avril 2024 (42 UFC/100 mL), ce qui montre une fluctuation du niveau de contamination sans amélioration significative.

Cependant, en octobre 2025, une augmentation très importante est enregistrée (500 UFC/100 mL), représentant un pic de contamination. Cette valeur extrêmement élevée peut être liée à une pollution ponctuelle, probablement d'origine fécale ou due à une infiltration d'eaux usées.

Ainsi, la présence continue des bactéries coliformes à des concentrations supérieures à la norme indique que cette eau est de mauvaise qualité sur le plan microbiologique. Elle ne peut donc pas être considérée comme potable sans traitement préalable.

III.3.2.2 Interprétation de l'évolution des Entérocoques :

Entérocoques (UFC/100ml)

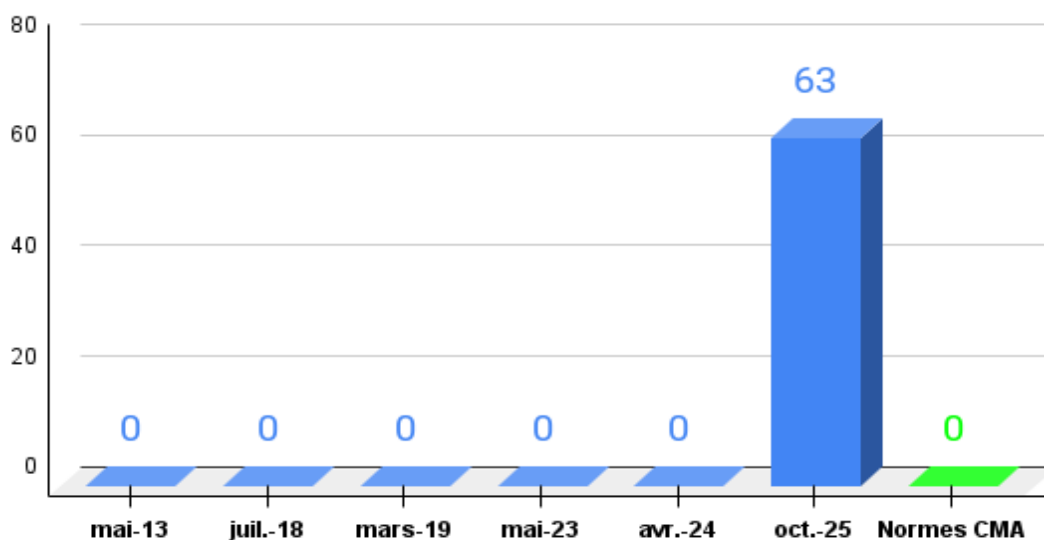


Figure 34 : Évolution de Entérocoques.

L'analyse de l'évolution des entérocoques dans l'eau étudiée révèle une situation microbiologique initialement stable, suivie d'une dégradation brutale. Les résultats obtenus, exprimés en UFC/100 mL, montrent que la qualité de l'eau était conforme aux exigences sanitaires durant la majeure partie de la période d'étude, avant d'enregistrer un dépassement critique des normes CMA (fixées à 0).

En effet, entre mai 2013 et avril 2024, les concentrations en entérocoques sont restées nulles (0 UFC/100 mL). Cette absence totale de germes durant plus d'une décennie indique une excellente protection de la ressource vis-à-vis des contaminations fécales anciennes ou persistantes durant cette période.

Toutefois, un changement radical est observé en octobre 2025, où la concentration a atteint un pic de 63 UFC/100 mL. Cette apparition soudaine et massive de bactéries témoigne d'une pollution fécale récente et directe. Étant donné que les entérocoques sont des indicateurs de contamination plus résistants que les coliformes, leur présence à ce taux confirme une dégradation alarmante de la qualité sanitaire de l'eau.

En conclusion, bien que l'eau ait conservé une qualité satisfaisante par le passé, les résultats d'octobre 2025 la classent désormais comme non potable. Une investigation sur le terrain est nécessaire pour identifier la source de cette contamination accidentelle afin de sécuriser la ressource.

III.3.2.3 Interprétation de l'évolution d'*Escherichia coli* :

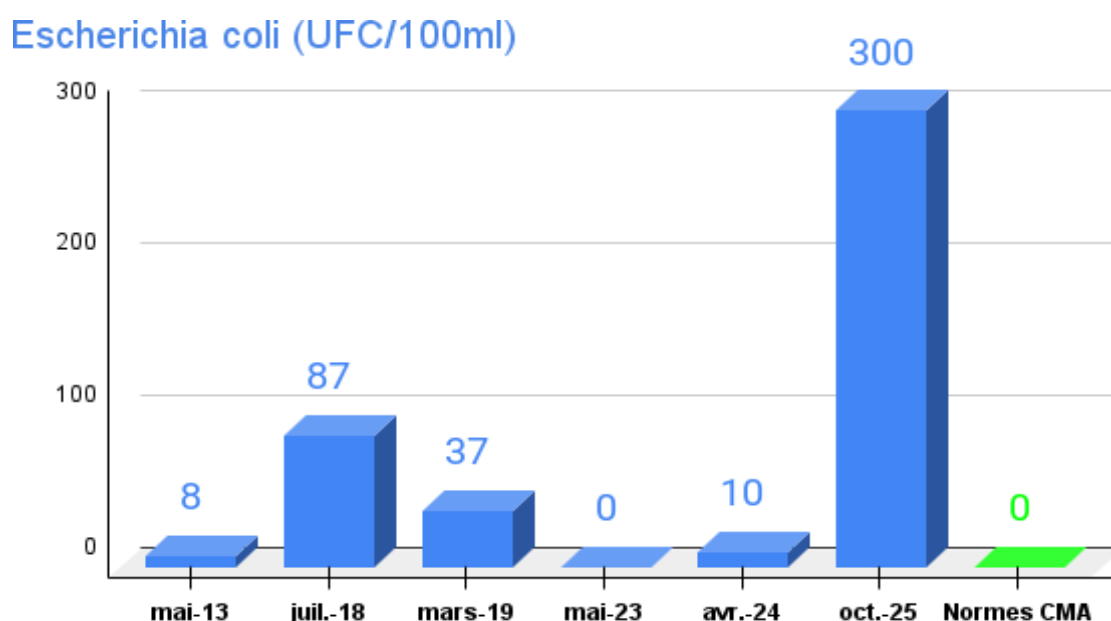


Figure 35 : Évolution d'*Escherichia coli*

L'analyse des résultats concernant *Escherichia coli* confirme une contamination d'origine fécale certaine et fluctuante de la ressource en eau. Les valeurs enregistrées, exprimées en UFC/100 mL, dépassent de manière récurrente la norme de potabilité CMA, qui exige une absence totale de ce germe (0 UFC/100 mL).

Au début de l'étude, en mai 2013, une faible présence est notée (8 UFC/100 mL). Cependant, une augmentation significative est observée en juillet 2018 (87 UFC/100 mL), suivie d'une baisse relative en mars 2019 (37 UFC/100 mL). Une amélioration temporaire a été enregistrée en mai 2023 avec une absence totale de la bactérie (0), avant qu'une légère reprise ne soit notée en avril 2024 (10 UFC/100 mL).

Le point critique est atteint en octobre 2025, où la concentration culmine à 300 UFC/100 mL. Étant donné qu'*E. coli* est l'indicateur le plus spécifique d'une contamination fécale récente, ce pic exceptionnel suggère une infiltration massive et directe de matières polluantes dans le réseau ou la nappe à cette période précise.

En conclusion, la présence fréquente et parfois massive d'*Escherichia coli* rend cette eau strictement impropre à la consommation humaine. Cette situation nécessite une intervention urgente pour identifier les foyers de pollution et mettre en place un système de désinfection efficace.

III.3.2.4 Interprétation de l'évolution des Bactéries Sulfito-réductrices :

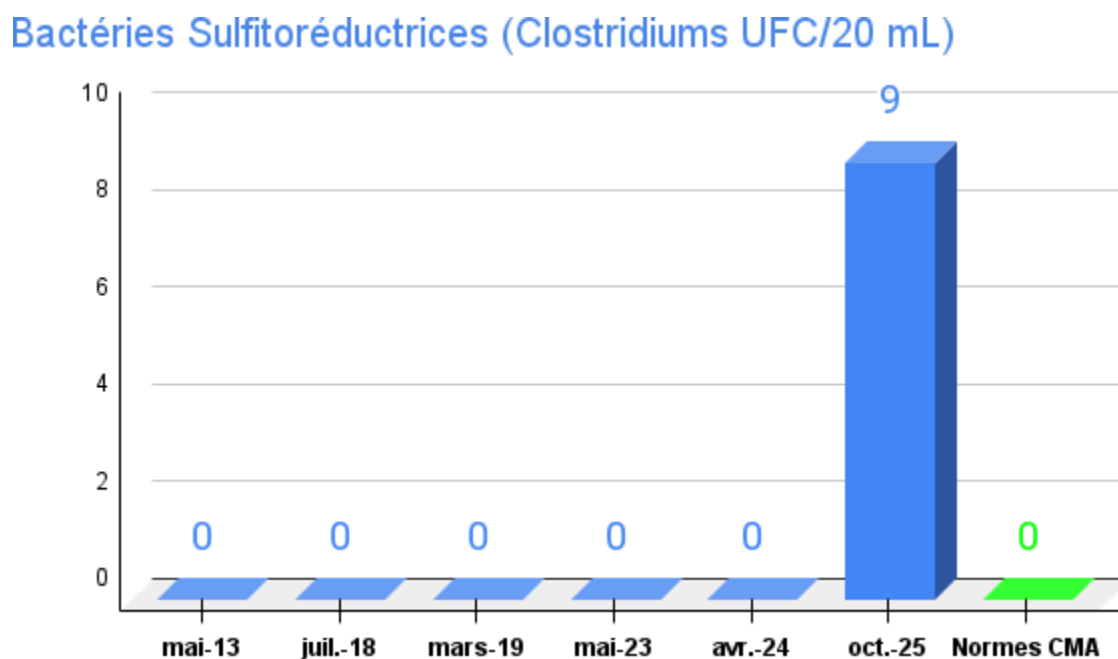


Figure 36 : Évolution Bactéries Sulfito-réductrices.

L'analyse de l'évolution des bactéries sulfito-réductrices (Clostridiiums) dans l'eau étudiée révèle une situation microbiologique initialement stable, suivie d'une dégradation brutale. Les résultats obtenus, exprimés en UFC/20 mL, montrent que la qualité de l'eau était conforme aux exigences sanitaires durant la majeure partie de la période d'étude, avant d'enregistrer un dépassement critique des normes CMA (fixées à 0).

En effet, entre mai 2013 et avril 2024, les concentrations en bactéries sulfito-réductrices sont restées nulles (0 UFC/20 mL). Cette absence totale de germes durant plus d'une décennie indique une excellente protection de la ressource vis-à-vis des contaminations fécales anciennes ou persistantes durant cette période. Toutefois, un changement radical est observé en octobre 2025, où la concentration a atteint un pic de 9 UFC/20 mL. Cette apparition soudaine témoigne d'une pollution fécale massive. Étant donné que les bactéries sulfito-réductrices sont des indicateurs de pollution fécale particulièrement résistants, leur présence à ce taux confirme une dégradation alarmante de la qualité sanitaire de l'eau.

❖ Synthèse de l'analyse microbiologique

En conclusion de cette étude microbiologique, il apparaît une corrélation nette entre les différents indicateurs de pollution. Bien que la ressource ait montré des signes de vulnérabilité par le passé, notamment pour les coliformes et *E. coli*, c'est la période d'octobre 2025 qui marque un tournant critique. Durant ce mois, le pic massif enregistré simultanément pour les coliformes (500 UFC/100 mL), *Escherichia coli* (300 UFC/100 mL), les entérocoques (63 UFC/100 mL) et les bactéries sulfito-réductrices (9 UFC/20 mL) confirme une contamination fécale majeure, récente et persistante. Cette convergence des résultats souligne l'urgence d'une protection accrue du captage et l'obligation d'un traitement de désinfection permanent pour garantir la sécurité sanitaire des consommateurs.

III.3.3 Conclusion :

L'étude globale de la qualité des eaux « basée sur le suivi de paramètres physico-chimiques et microbiologiques entre 2013 et 2025 » permet de dégager des conclusions fondamentales sur l'état de la ressource.

Sur le plan physico-chimique, la ressource présente une minéralisation globale stable, comme en témoignent les valeurs de la conductivité et du pH qui restent conformes aux normes CMA. La majorité des éléments ioniques, notamment le magnésium, le calcium et les sulfates, ne présentent pas de dépassements réglementaires. Cependant, l'apparition soudaine d'une forte concentration en ammonium en octobre 2025 (3.95 mg/L) constitue un signal d'alarme majeur, indiquant une pollution organique ponctuelle et importante.

Sur le plan microbiologique « la situation est plus critique. Alors que la ressource affichait une certaine résilience par le passé », les analyses d'octobre 2025 révèlent une dégradation brutale

et simultanée de tous les indicateurs : les bactéries coliformes (500 UFC/100 mL) , *Escherichia coli* (300 UFC/100 mL) ,les entérocoques (63 UFC/100 mL) et les bactéries sulfito-réductrices (9 UFC/20 mL). Cette corrélation entre le pic d'ammonium et l'explosion de la charge bactérienne globale confirme l'existence d'une contamination fécale directe et récente.

En conclusion ,bien que les caractéristiques minérales naturelles de l'eau soient satisfaisantes , la présence récurrente et massive de germes pathogènes (incluant les spores résistantes des clostridiiums) et de polluants organiques rend cette eau impropre à la consommation humaine en l'état actuel. Il est impératif de renforcer la protection du périmètre de captage et d'instaurer un système de traitement de désinfection rigoureux afin de prévenir tout risque sanitaire pour la population.

III.4 Vérification In-Situ et Diagnostic des Sources de Pollution (Investigation du Mai 2026) :

Afin d'apporter une interprétation rigoureuse aux résultats alarmants de notre campagne d'octobre 2025, caractérisée par une dégradation brutale de la qualité microbiologique et un pic d'Ammonium à 3.95 mg/l, une investigation approfondie a été menée sur le site de la source El-Ançor le 06 mai 2026. Cette démarche visait à confronter nos données de laboratoire à la réalité anthropique du terrain.



Figure 37 : point du captage la source El-Ançor.

III.4.1 Identification des foyers de pollution (Preuves visuelles) :

L'examen direct du périmètre de la source a révélé l'existence d'infrastructures d'assainissement à ciel ouvert dans un état de délabrement avancé. Ces canaux, destinés à l'évacuation des eaux usées domestiques, longent de manière critique le point de captage. L'absence d'étanchéité de ces installations favorise une infiltration directe de la charge organique et ammoniacale vers l'aquifère, transformant nos hypothèses de laboratoire en une certitude de terrain : la source subit un impact anthropique permanent.



Figure 38 : Rejets observés à proximité de la source.

III.4.2 Enquête sociale et témoignages des riverains :

Les échanges directs avec la population locale ont permis de confirmer que les nuisances liées à ces infrastructures sont récurrentes. Les habitants ont exprimé leurs vives inquiétudes face à l'absence d'un réseau d'assainissement conforme, obligeant chaque foyer à recourir à des fosses septiques individuelles. Une fuite suspectée sur l'une de ces fosses, située en amont immédiat, semble être le vecteur principal de la contamination fécale détectée lors de nos analyses.



Figure 39 : collecte des témoignages de terrain.

III.4.3 Mesures correctives et perspectives de protection :

Les témoignages recueillis confirment que les autorités locales, conscientes de la vulnérabilité du site après la période de pollution signalée, ont procédé en février 2026 à l'installation d'une nouvelle conduite de captage. Ce dispositif technique vise à isoler le flux hydrique des infiltrations superficielles. Toutefois, bien que cet aménagement constitue un progrès structurel, la sécurité sanitaire des consommateurs ne pourra être pleinement garantie sans la mise en place d'un réseau d'égouts moderne et d'un périmètre de protection réglementé. La pérennité de cette ressource vitale dépend désormais d'une gestion intégrée alliant surveillance technique et protection environnementale



Figure 40 : Nouvelle conduite de captage

CONCLUSION

L'eau est essentielle pour la vie, cependant elle peut être aussi une source de maladie, il est impératif de bénéficier d'une attention particulière. En effet, l'eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir ni substances chimiques dangereuses, ni germes nocifs pour la santé.

Cette étude, consacrée à l'évaluation de la qualité des eaux de la source d'El Ançor (Kristel), nous permet d'aboutir à des conclusions fondamentales sur l'état hydrochimique et microbiologique de cette ressource à travers différentes périodes.

Sur le plan hydrochimique, nos travaux confirment une résilience remarquable du faciès chimique naturel de la source. Les données historiques (1999-2000) ainsi que le suivi pluriannuel (2013-2024) révèlent une signature minérale stable, dominée par les ions Chlorures et Calcium. La minéralisation globale est restée conforme aux normes de potabilité durant plus de deux décennies, témoignant d'un aquifère homogène et bien protégé par son contexte géologique.

Cependant, l'analyse approfondie de la campagne d'octobre 2025 constitue une rupture alarmante dans cette stabilité historique. L'apparition d'un pic massif d'ammonium (3,95 mg/L), corrélé à une contamination bactérienne sévère (Coliformes, E. coli, Entérocoques), confirme l'existence d'infiltrations anthropiques massives.

Notre enquête de terrain du 06 mai 2026 a formellement identifié l'origine de cette dégradation : l'état délabré des égouts à ciel ouvert et l'absence d'un réseau d'assainissement conforme obligeant les riverains à recourir à des fosses septiques non étanches.

En définitive, bien que la source conserve une aptitude théorique à l'irrigation grâce à la stabilité de sa charge minérale globale, elle est désormais classée comme impropre à la consommation humaine en l'état actuel.

Face à ce constat sans appel, il devient impératif d'agir sur deux axes majeurs :

1. **Raccordement impératif au réseau d'assainissement** : Supprimer les fosses septiques individuelles et raccorder toutes les habitations limitrophes à une canalisation étanche pour stopper les infiltrations directes vers la nappe.

2. **Sécurisation et étanchéité de l'ouvrage de captage :** Procéder à la réfection de la maçonnerie du captage et au remplacement du collecteur principal pour isoler totalement l'eau de la source des eaux de ruissellement et des infiltrations de surface.
3. **Automatisation de la désinfection :** Installer une unité de chloration permanente au niveau du réservoir pour neutraliser la charge bactériologique et assurer une sécurité sanitaire constante aux consommateurs.
4. **Matérialisation du périmètre de protection :** Délimiter physiquement (par clôture) une zone de protection immédiate autour de la source pour empêcher les rejets de déchets et les activités anthropiques à proximité.
5. **Renforcement du suivi analytique :** Établir un calendrier de prélèvements périodiques (au moins deux fois par mois) axé sur les indicateurs de pollution fécale (Ammonium et Germes) pour une détection précoce de toute anomalie.



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie:

A

- **ABDELSADEK, Y.** (2022). *L'eau potable et usages urbains dans la wilaya d'Oran* (Mémoire de Master 2). Université d'Oran 2, Algérie.
- **AOUISSI, L., & MERABTI, W.** (2019). *Eau : Étude physico-chimique et bactériologique* (Mémoire de PFE). Université de Guelma.
- **ATTEIA, O.** (2014). *Chimie et pollution des eaux souterraines*. Lavoisier.
- **AYAD, W., & KAHOU, M.** (2016). Evaluation de la qualité physico chimique. *Journal of Materials and Environmental Science*.

B

- **BAKRETI, A.** (2000). *Fonctionnement du système karstique de la source d'El-Ancor (Région de Kristel)* (Mémoire d'Ingénieur d'Etat). Université d'Oran Es-Senia.
- **BEN ABDALLAH, S., & BOURENANE, A.** (2013). *Analyses physico-chimiques de l'eau de Generale Emballage* (Mémoire de Master). Université de Béjaïa.
- **BENKHELIFA, I.** (2021). *Les compositions physicochimiques des eaux minérales naturelles* (Mémoire de Master). Université de Ouargla.
- **BOUCENNA, F.** (2009). *Cartographie de vulnérabilité à la pollution d'une nappe côtière* (Mémoire de Magister). Université d'Annaba.

D

- **DESJARDINS, R.** (1997). *Le traitement des eaux*. École polytechnique de Montréal.
- **DIB, I.** (2009). *L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines* (Mémoire de Magister). Université de Batna.
- **DUPONT, A.** (1981). *Hydraulique urbaine : Hydrologie, captage et traitement des eaux*. Paris.

K

- 
- **KIKULU KILUNDWILA, G.** (2013). *Caractérisation hydrochimique de la qualité des eaux souterraines de Kipushi* (Mémoire). Université de Lubumbashi.
 - **KIRKPATRICK, K., & FLEMING, E.** (2008). *La qualité de l'eau*. Ross Tech.

L

- **LARPENT, J. P.** (1997). *Microbiologie alimentaire : Technique de laboratoire*. Lavoisier.
- **LEBLEU, N.** (2007). *Désinfection des eaux par procédés membranaires* (Thèse de Doctorat). Université de Toulouse.

M

- **MAIGA, A.** (2005). *Qualité organoleptique de l'eau de consommation* (Thèse de Doctorat). Université de Bamako.
- **MEDEREGNAROU, I.** (2024). *Etude et suivi de la qualité physico-chimique de l'eau potable في Guelma* (Mémoire de Master). Université 8 Mai 1945, Guelma.
- **MOLINIE, L.** (2009). *Dispositifs rustiques d'alimentation et de traitement de l'eau potable*. Agro Paris Tech.

R

- **REJSEK, F.** (2002). *Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques*. CRDP Aquitaine.
- **REMINI, B.** (2010). La problématique de l'eau en Algérie. *Revue des Sciences de l'Eau et de l'Environnement*.
- **RODIER, J.** (2005). *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer* (9e éd.). Dunod.

S

- **SEOR (Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Oran).** (2025). *Rapports d'analyses et données techniques de la source Aïn El Ancer*. Laboratoire Central, Oran.



T

- **TILOOM.** (2020). *Comment lire un diagramme de Piper*. tiloom.com.
- **TOUAHRIA, K.** (2013). *Evaluation de la qualité des eaux de forages* (Thèse de Doctorat). University of Souk Ahras.
- **TOURAB, H.** (2013). *Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique* (Thèse de Doctorat). Université Cadi Ayyad.

Z

- **ZOUAG, B., & ETBELHADJ, Y.** (S.D). *Analyse physico-chimique 3 bactériologique de l'eau de mer* (Thèse).



ANNEXES

Annexe 1 : Tableau des Analyses Source Kristel 1999-2000 (Mémoire-BAKRETI 2000) :

Date	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	Cl-	SO4 2-	CO3H-	NO3-	NO2-	NH4+	PO4 2-	MOA	MOB	MES	SiO2	Cond	Min	Rs	PH	T°
14/06/1999	84	62	83	4	184	72	302	4	0	0,02	0,04	0,6	0	16	16,6	1120	694	760	7,5	23,5
21/06/1999	64	46	92	4	171	96	309	6	0,01	0	0,37	0,2	0,3	8	17,2	1190	738	760	8,1	23,2
28/06/1999	84	44	87	4	168	72	289	5	0	0	0	1,4	0,3	0	16	1220	756	780	7,9	23,8
05/07/1999	69	45	83	4	168	67	305	16	0	0,02	0,03	0,7	0,3	6	16,4	1220	756	760	7,8	23,9
12/07/1999	49	67	85	4	176	67	302	4	0	0,04	0	0,2	0,1	8	16	1250	775	800	7,9	23,8
19/07/1999	65	46	85	4	176	62	302	6	0,01	0,04	0,08	1,6	0,1	7	17	1200	744	840	8,2	24
26/08/1999	60	49	85	3	163	62	309	12	0,03	0,01	0	1,3	0,6	6	18	1230	763	840	8,1	24
02/08/1999	86	33	78	3	155	48	305	5	0,02	0	0,08	2,6	0,4	10	14,6	1210	750	820	7,9	24
09/08/1999	54	54	81	4	194	72	271	12	0	0,16	0,05	0,2	0,6	0	17,6	1040	645	820	8,1	24
16/08/1999	81	46	78	4	181	60	302	5	0,01	0,05	0,02	0,1	0,3	0	15	1150	713	800	7,7	23,9
23/08/1999	64	47	92	2	165	96	302	12	0	0	0,05	1,5	0	8	18	1100	713	820	7,9	23,9
30/08/1999	74	47	92	3	155	77	309	10	0	0,01	0,06	7,4	0,2	0	16,2	1220	756	840	8,1	23,9
06/09/1999	52	61	92	3	163	72	302	5	0,01	0	0,03	1,8	0,1	12	16,4	1160	719	780	8	24
13/09/1999	71	54	104	3	159	106	309	12	0,06	0	0,15	1,6	0	0	18	1170	725	840	8	23,9
20/09/1999	74	48	97	3	159	134	315	12	0,01	0,01	0,02	2,4	0,6	0	15,4	1420	880	1000	7,9	24
27/09/1999	75	34	104	4	165	84	315	12	0,01	0,06	0,15	0,1	0	8	14	1320	818	820	8,1	23,9
04/10/1999	64	53	99	4	163	108	295	6	0,06	0	0	1,2	0	0	13	1250	775	780	8,2	23,9
11/10/1999	73	45	104	4	154	72	309	5	0	0,02	0,02	0,9	0,1	0	18,8	1160	719	740	8	24
18/10/1999	99	38	104	4	169	108	305	6	0,01	0	0,22	0,1	0	0	16,8	1290	800	820	7,9	24
25/10/1999	59	59	104	4	189	96	302	13	0,05	0,05	0,05	0,1	0	0	16	1060	657	820	8,2	23
01/11/1999	55	58	104	3	176	67	333	15	0,11	0,01	0	1	0,1	0	16,6	1130	701	640	8,2	23,9
08/11/1999	79	52	92	5	180	67	365	5	0,02	0,05	0,05	0,5	0,4	0	15,6	1080	670	680	7,5	23,1
15/11/1999	89	60	92	3	169	86	352	9	0	0,08	0,13	1,1	0	0	15,4	954	591	840	7,7	23
22/11/1999	111	39	101	3	175	67	349	5	0	0	0	1,7	0	0	17	963	597	760	7,8	23
29/11/1999	86	46	104	4	190	96	255	6	0	0	0	0,8	0,1	0	18,2	1260	781	840	7,9	23
06/12/1999	91	54	115	4	192	96	336	10	0,04	0	0	0,8	0,4	0	16	1240	769	840	7,7	23,5
13/12/1999	91	35	104	4	180	77	342	2	0,01	0,04	0,1	1,8	0,8	10	20	1120	694	840	7,9	23,8
20/12/1999	89	52	99	4	171	72	365	4	0	0,01	0,04	0,7	0	10	16	1070	663	840	7,9	23,8
27/12/1999	84	52	104	4	186	96	342	10	0,02	0,09	0,03	0,1	0,5	8	18,6	1200	744	840	7,8	23,2
03/01/2000	99	56	104	3	192	96	345	7	0,02	0	0,04	0,1	0	12	14,2	1280	794	820	7,9	23,2
10/01/2000	105	44	101	3	201	96	338	8	0,01	0,05	0	1,5	0	0	19,4	1160	719	840	7,2	23
17/01/2000	91	60	87	6	201	96	366	4	0,01	0,04	0	0,8	0	0	10	1070	736	840	7,6	23,9
24/01/2000	86	51	104	3	197	144	345	19	0	0,04	0,05	1,5	0	0	17,2	1450	899	1030	7,8	23
31/01/2000	91	41	115	3	184	106	342	7	0	0,03	0,08	1,4	0	0	18,4	1170	725	920	7,9	23,5
07/02/2000	86	51	104	4	197	96	351	10	0,01	0,02	0	1,3	0	0	17,8	1320	818	940	7,8	23,5
14/02/2000	108	32	104	3	197	48	336	2	0,01	0,1	0,03	0,6	0	0	13,4	1140	707	880	7,4	23,2
21/02/2000	84	40	127	4	205	43	339	12	0,02	0,02	0	1,9	0	0	19,2	1140	707	860	7,4	23,5
28/02/2000	76	57	9	4	198	72	336	6	0	0,02	0	1,7	0	0	14,2	1150	713	900	7,7	23,2
06/03/2000	95	54	106	4	213	82	345	10	0,02	0,01	0	1,5	0	0	13,6	1200	744	880	7,8	23,8
13/03/2000	89	64	99	4	195	82	342	11	0	0,15	0,06	1,4	0,1	0	12	1060	657	780	7,7	23,2
20/03/2000	89	59	99	4	230	82	394	7	0,03	0,03	0	1,4	0	0	15,4	1460	905	730	7,5	23,5
27/03/2000	95	52	92	1	219	82	334	5	0	0,04	0,08	1,5	1	0	15,8	1210	750	760	7,4	23,2
03/04/2000	79	58	92	4	190	91	338	7	0	0	0,03	3,3	0,4	14	15	1150	713	780	7,7	23,2
10/04/2000	61	63	97	2	194	96	338	11	0	0,05	0	0,8	0	0	7,8	1220	756	860	7,7	23,8
17/04/2000	89	46	92	4	192	53	376	10	0	0,01	0,09	1	0	0	8,2	1360	843	730	7,4	23,9
24/04/2000	91	45	92	4	190	72	0	6	0,01	0,02	0	1	0	17,4	9,3	1210	750	860	7,4	23,9
01/05/2000	86	48	97	4	189	67	0	6	0,01	0,05	0,9	0,2	0	15	7	1310	812	880	7,4	23,9

Annexe 2 : Tableau des Analyses Source Kristel 2013-2025 : (La Direction SEOR) :

	mai-13	juil-18	mars-19	mai-23	avr-24	oct-25	Unité	CMA (Concentration maximal admissible) selon le Decret 14-96 (Eau de consommation humaine)	methode d'analyse
Bactéries coliformes	11	87	37	59	42	500	U.F.C./100 mL	/	Filtration sur membrane
Escherichia coli	8	87	37	0	10	300	U.F.C./100 mL	0	Filtration sur membrane
Entérocoques	0	0	0	0	0	63	U.F.C./100 mL	0	Filtration sur membrane
Bactéries Sulfitoréductrices (Clostridi	0	0	0	0	0	9	U.F.C./20 mL	0	Filtration sur membrane
Conductivité 20°C	1117	981	977	994	990	1062	µS/cm	2800	Méthode potentiométrique
pH à 20°C	7,69	7.67	7.53	7.62	7.82	7.61	UPH	6,5-9	Méthode potentiométrique
Turbidité	0,183	0	0,12	0,31	0.88	0,26	NTU	NTU	Méthode nephelométrique
Couleur	0	0	0	0	0	0	mg/L Pt/Co	15	Méthode spectrométrique
Odeur	1	1	1	1	1	1	Taux dilution	4	indice de dilution
Saveur	1	1	1	1	1	1	Taux dilution	4	indice de dilution
Residu sec	614	531	537	530	558	596	mg/L	1500	Méthode gravimétrique
Aluminium	0	0	0	0	0	0	mg/L	0,2	Méthode spectrométrique
Ammonium	0	0	0	0	0	3.95	mg/L	0,5	Méthode spectrométrique
Calcium	80,16	106.6	91,3	94,6	88.2	109.0	mg/L	200	titrage colorimétrique
Chlore résiduel in situ	0,1	0,1	0	0	0	0	mg/L	/	titrage colorimétrique
Chlorures	148,89	158,2	157.8	143.6	175.5	159.5	mg/L	500	Méthode potentiométrique
Dureté Totale	342,1	382.4	353,3	361.2	383.4	388.2	mg/L	/	titrage colorimétrique
Magnesium	32	27	37	59	40	22	mg/L	150	par calcul
Nitrates	11,53	11.33	13.68	12.57	12.04	16.04	mg/L	50	Méthode spectrométrique
Nitrites	0	0	0	0	0	0	mg/L	0,2	Méthode spectrométrique
Ortho-Phosphate	0	0	0	0	0	0	mgPO ₄ /L	0,5	Méthode spectrométrique
Oxidabilité	0,96	0	0,82	0.93	0,66	0.96	mg/L	5	titrage colorimétrique
Sulfates	27,1	29,31	68.30	21.66	30.21	15.35	mg/L	400	Méthode spectrométrique
Titre Alcalimétrique Complet	270,16	311,9	341,9	350.9	335.9	44.7	mgCaCO ₃ /L	500	Méthode potentiométrique
Fluorures	0,78	1,12	1,01	0,95	0,87	0,98	mg/L	1,5	Méthode spectrométrique

Annexe 3 : Concentrations maximales admissibles dans l'eau destinée à la consommation humaine selon l'OMS (2017) et le journal algérien.

Paramètres	Unités	Norme Algérienne (CMA)	Directives de (OMS)
<i>Paramètres Physico-chimiques</i>			
pH	Unité pH	6,5 – 9	6,5 – 8,5
Température	°C	25	N/A
Turbidité	NTU	5	5
Conductivité électrique	μS/cm	2800	N/A
Résidu sec	mg/l	1500	1000
<i>Substances Indésirables</i>			
Nitrates	mg/l	50	50
Nitrites	mg/l	0,2	0,2
Ammonium	mg/l	0,5	N/A
Chlorures	mg/l	500	250
Sulfates	mg/l	400	250 - 500
Ortho-Phosphate	mg/l	0,5	N/A
Oxidabilité	mg/l	5	N/A
<i>Paramètres d'Équilibre et Métaux</i>			
Calcium	mg/l	200	N/A
Magnésium	mg/l	150	N/A
Aluminium	mg/l	0,2	0,2
Fluorures	mg/l	1,5	1,5
Dureté Totale (TH)	°f	50	N/A
Titre Alcalimétrique (TA)	°f	0	N/A
Chlore résiduel (in situ)	mg/l	0,1 – 0,5	5
<i>Paramètres Microbiologiques</i>			
Bactéries coliformes	UFC/100ml	0	0
Escherichia coli	UFC/100ml	0	0
Entérocoques	UFC/100ml	0	0
Clostridium sulfite-réducteurs	UFC/20ml	0	0