REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université 20 Août 1955 Skikda

Faculté des Sciences

Département des Sciences Agronomiques

Filière : Sciences Agronomiques

Option : Aménagement Hydro-Agricole

Mémoire de fin d'études :

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Agronomiques

Thème

Caractérisation qualitative des eaux souterraines de la plaine de Télezza, usage agricole et AEP.

Présenté par :

- **TAGHANE Lina**

Membres de Jury :

SADOUNE Abdelaziz	(MAA)	**Président**	Université du 20 Août 1955 - Skikda
DAIF Noureddine	(MAB)	**Examinateur**	Université du 20 Août 1955 - Skikda
KHELFAOUI Hakim	(MCA)	**Promoteur**	Université du 20 Août 1955 - Skikda

Année universitaire : 2025-2026

Résumé

Cette étude porte sur la caractérisation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe phréatique de la plaine de Télezza (Collo, Algérie). Les résultats montrent que cet aquifère stratégique est soumis à de fortes pressions anthropiques et naturelles, sur le plan hydrochimique la minéralisation est contrôlée par la lithologie locale et les variations saisonnières, le pH et la conductivité électrique restent globalement conformes aux normes de potabilité, la quasi-totalité des puits dépasse le seuil critique de 50 mg/L en nitrates, témoignant d'une pollution agricole diffuse, la contamination bactériologique est sévère et généralisée, rendant l'eau impropre à la consommation humaine sans traitement préalable. En revanche, l'aptitude à l'irrigation est jugée bonne à excellente : les faibles valeurs du SAR et du sodium soluble et les diagrammes de classification utilisés écartent les risques d'alcalinisation. Les diagrammes hydrochimiques confirment une prédominance du faciès chloruré calcique et magnésien, localement anthropisé en faciès chloruré-nitraté calcique et magnésien. La nappe apparaît ainsi en situation de vulnérabilité écologique critique (invasion des eaux marines et surpompage), nécessitant une gestion intégrée et adoption de pratiques agricoles durables.

Mots-clés : *Faciès, Qualité des Eaux, Nappe, Eau souterraine, Irrigation, Potabilité, Télezza.*

Abstract

This study focuses on the physicochemical and bacteriological characterization of groundwater from the unconfined aquifer of the Télezza plain (Collo, Algeria). The results show that this strategic aquifer is subject to strong anthropogenic and natural pressures. Hydrochemically, mineralization is controlled by local lithology and seasonal variations. While pH and electrical conductivity generally comply with drinking water standards, almost all wells exceed the critical nitrate threshold of 50 mg/L, reflecting diffuse agricultural pollution. Bacteriological contamination is severe and widespread, making the water unfit for human consumption without prior treatment. On the other hand, suitability for irrigation is deemed good to excellent: low SAR (Sodium Adsorption Ratio) and soluble sodium values, along with the classification diagrams used, rule out alkalinization risks. Hydrochemical diagrams confirm a predominance of the calcium and magnesium chloride facies, which is locally altered by human activity into a calcium and magnesium chloride-nitrate facies. The aquifer thus appears to be in a situation of critical ecological vulnerability (seawater intrusion and over-pumping), requiring integrated management and the adoption of sustainable agricultural practices.

Keywords: *Facies, Water Quality, Aquifer, Groundwater, Irrigation, Potability, Télezza."*

ملخص

تمحور هذه الدراسة حول تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية للمياه الجوفية للطبقة المائية السطحية في سهل تلزة (القل، الجزائر). وتظهر النتائج أن هذا الخزان الجوفي الاستراتيجي يخضع لضغوط بشرية وطبيعية قوية. ومن المنظور الهيدروكيميائي، يتم التحكم في التمعدن بواسطة الليثولوجيا المحلية (طبيعة الصخور) والتقلبات الموسمية؛ وبينما يظل الأس الهيدروجيني (pH) والموصلية الكهربائية متوافقين عموماً مع معايير صلاحية الشرب، فإن جميع الآبار تقريباً تتجاوز الحد الحرج للنيتزات المحدد بـ 50 ملغ/لتر، مما يمثل مؤشراً على تلوث فلاحي منتشر. بالإضافة إلى ذلك، فإن التلوث البكتريولوجي حاد وواسع النطاق، مما يجعل المياه غير صالحة للاستهلاك البشري دون معالجة مسبقة. في المقابل، تُصنف صلاحية المياه للري بأنها جيدة إلى ممتازة، حيث إن القيم المنخفضة لنسبة امتزاز الصوديوم (SAR) والصوديوم الذائب، بالإضافة إلى مخططات التصنيف المستخدمة، تستبعد مخاطر القلوية. وتؤكد المخططات الهيدروكيميائية هيمنة السحنة الكلوريدية الكالسيومية والمغنيزيومية، والتي تأثرت محلياً بالأنشطة البشرية متحولة إلى سحنة كلوريدية-نيتراتية كالسيومية ومغنيزيومية. وبناءً على ذلك، يظهر الخزان الجوفي في حالة هشاشة بيئية حرجة (تداخل المياه البحرية والضخ الجائر)، مما يستلزم إدارة متكاملة وتبني ممارسات فلاحية مستدامة.

الكلمات المفتاحية : *سحنة، جودة المياه، الطبقة المائية، المياه الجوفية، الري، صلاحية الشرب، تلزة.*

DEDICACE

Je remercie en premier Dieu le tout puissant de m'avoir accordé la force et le courage de mener à terme ce travail .je présente fièrement et joyeusement cet humble travail :

Je décide ce travail a :

Mes très, très, très chaire parents

Ma mer qui toujours su me montrer le droit chemin et mon courager sans jamais perdre espoir un seul instant

Mon père qui ma donné tout et ma tend soutenu moralement et matériellement, qui ma aidée à poursuivre mes études dans les bonnes conditions

A ma sœur Hiba el Rahman

A mon ami le plus cher Mouat Chaima

À la mémoire de ma chère grand-mère, Halima Bourfis, qui m'a élevée avec amour et tendresse. Bien qu'elle nous ait quittés il y a trois ans, son souvenir demeure à jamais gravé dans mon cœur. Qu'Allah lui accorde Sa miséricorde et l'accueille dans Son vaste paradis.

Un immense merci à mes fidèles chats, Papous et Gucci, pour leur tendresse quotidienne durant ce travail. Leur présence affectueuse a été une source constante de joie, de réconfort et de sérénité face au stress.

Lina

REMERCIEMENTS

Je remercie avant tout Allah, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la force, la patience et la détermination nécessaires pour mener à bien ce travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements à mon encadreur, **Dr. KHELFAOUI Hakim**, pour ses précieux conseils, son accompagnement, sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ses orientations et ses encouragements ont été d'une aide précieuse dans l'aboutissement de ce travail.

J'exprime également ma profonde gratitude aux membres du jury d'avoir accepté d'examiner et évaluer au bien notre travail, monsieur **SADOUNE Abdelaziz** président de jury et **Dr. DAIF Noureddine** notre examinateur. Je les remercie pour le temps consacré à la lecture de ce mémoire, ainsi que pour leurs remarques et suggestions qui contribueront à l'amélioration de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble de mes enseignants qui ont contribué à ma formation universitaire en me transmettant leurs connaissances et leur savoir tout au long de mon parcours académique.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à mon soutien et à mon encouragement durant mon cursus universitaire.

LISTE DES FIGURES

N° de Figure	*Titre*	*Page*
Fig.1	-Situation géographique de la zone d'étude (plaine de Télezza)……	4
Fig.2	- Carte d'altitudes de la zone d'étude ……..	6
Fig.3	- Variations des températures moyennes mensuelles (°C) et des précipitations moyennes mensuelles pour la station du barrage de Beni Zid (2001-2002/2019-2020),(Ouar et al., 2022)……	6
Fig.4	- Digramme Ombrothermique pour la station du barrage de Beni Zid (2001 2002/2019-2020), (Ouar et al., 2022)……	7
Fig.5	- Réseau hydrographique du bassin versant Côtier Constantinois Centre est sessous-bassins, (ANRH, 2000)……	8
Fig.6	- Carte géologique de la plaine de Télezza (d'après CGG, 1965, Modifèe)……	11
Fig.7	- Coupe géologique 1-1 dans la plaine de Télezza (CGG, 1965)……	12
Fig.8	- Coupe géologique 2-2 dans la plaine de Télezza (CGG, 1965)……	13
Fig.9	- Carte d'inventaire des échantillons utilisés pour les différentes analyses……	14
Fig.10	- pH-mètre……	15
Fig.11	- Multimètre Hach SL1000……	16
Fig.12	- Turbidimètre TL2300……	17
Fig.13	- Dosage du TAC……	18
Fig.14	- Dosage de chlorure……	18
Fig.15	- Dosage de THt……	19
Fig.16	- Spectrophotomètre ODYSEY HACH……	20
Fig.17	- Dosage de Calcium……	21
Fig.18	- Spectrophotomètre JENWAY PFP7……	22
Fig.19	- Spectrophotomètre ODYSEY HACH……	23
Fig.20	- Incubateur……	24
Fig.21	- Rampe de filtration……	25
Fig.22	- Mise en boîte de Pétri……	26
Fig.23	- Confirmation d'E. Coli……	27
Fig.24	- Colonies roses des Streptocoques fécaux……	28
Fig.25	- Carte piézométrique de la nappe de la plaine de Télezza, période des hautes eaux avril 2026 (Khelfaoui, 2026)……	30
Fig.26	- Carte des perméabilités de la nappe de Collo (Mecibah, 2016)……	31
Fig.27	- Variation du Ph. ……	33
Fig.28	- Variation de la conductivité électrique……	34
Fig.29	- Distribution spatiale de la conductivité électrique de la 1ère campagne……	35
Fig.30	- Variation de la turbidité……	36
Fig.31	- Variation des teneurs en calcium……	36
Fig.32	- Variation des teneurs en magnésium……	37
Fig.33	- Variation de la dureté de l'eau……	38
Fig34	- Variation des teneurs en sodium……	39
Fig.35	- Variation des teneurs en potassium……	40
Fig.36	- Variation du TAC……	41

Fig.37 - Distribution spatiale du TAC de la 2ème campagne…… 41
Fig.38 - Variation des teneurs en chlorure…… 42
Fig.39 - Distribution spatiale du chlorure de la 2ème campagne…… 43
Fig.40 - Variation des teneurs en nitrate…… 44
Fig.41 - Distribution spatiale du nitrate de la 2ème campagne…… 44
Fig.42 - Variation des teneurs en nitrite…… 45
Fig.43 - Variation des teneurs en phosphate…… 46
Fig.44 - Classification des eaux de la nappe superficielle du sable et gravier de la plaine de Télezza de la 1ère campagne par la méthode de Richards (Riverside)…… 53
Fig.45 - Classification des eaux de la nappe superficielle du sable et gravier de la plaine de Télezza (1ère campagne) par la méthode de Wilcox…… 54
Fig.46 - Faciès chimique des eaux souterraines de la 1ère campagne d'après le diagramme de Piper dans la nappe su sable et gravier de la plaine de Télezza…… 55
Fig.47 -Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la Plaine de Télezza de la1ère campagne d'après le diagramme de Stiff…… 56
Fig.48 -Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la Plaine de Télezza de la1ère campagne d'après le diagramme de Stiff…… 57
Fig.49 -Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la Plaine de Télezza de la1ère campagne d'après le diagramme de Stabler…… 58
Fig.50 -Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de La plaine de Télezza pour la 2ème campagne d'après le diagramme de Schoeller Berkaloff…… 60
Fig.51 -Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la Plaine de Télezza de la 2ème campagne d'après le diagramme de Stabler…… 61

LISTE DES TABLEAUX

N°	*Titre*	*Page*
1	- Caractéristique Morphométriques du bassin versant d'Oued Guebli (Mesibah,2017)……	10
2	- Normes Algériennes (JORA, 2011 et 2014) et de l'OMS (2017) des eaux potables……..	32
3	- Teneurs en DBO5……..	47
4	- Résultats des analyses bactériologiques des puits étudiées……..	48
5	-Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation……..	50
6	-Résultats du SAR des eaux de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza pour la1ère campagne……	50
7	- Classification des eaux d'irrigation selon le pourcentage de sodium……..	51
8	- Pourcentage de sodium soluble dans les eaux de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza……..	51
9	- Classification des eaux d'irrigation par le diagramme de Richards……..	52

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviation	*Synonyme*
A.N.R.H.	Agence Nationale des Ressources hydriques
PH	Potentielle Hydrogène
ADE	Algérienne Des Eaux
ms/m	Mili siémens par centimètre
µS/cm	Micro siemens par centimètre
EDTA	Ethylène diamine tétra acétique
V	Volume
TH	La dureté totale
Mg/l	Milligramme par litre
E	Est
N	Nord
NTU	Unité de Turbidité Néphélométrie
TA	Titre alcalimétrique simples
TAC	Titre alcalimétrique complet
Camp	Campagne
PE	Prise d'échantillon
MES	Les matières en suspension
mm3	Millimètre cube
g/L	Gramme par litre
ml	Millilitre
OMS	Organisation Mondial de la Santé
CE	Conductivité Électrique
EDTA	Ethylène Diaminet et racetraacetique
PK13	Point kilométrique 13
THT	Titre hydrotimétrique total

SOMMAIRE **Page**

Résumé
Abstract
الملخص
Remerciements
Sommaire
Liste des figures
Liste des tableaux
Liste des abréviations
INTRODUCTION GENERALE

Partie 01
Généralités sur la zone d'étude /Récapitulation bibliographique

1 Situation géographique…… 4
2 Aspect socioéconomique de la plaine de Télezza…… 5
3 Agriculture…… 5
4 Topographie et pentes…… 5
5 Etude climatique…… 6
6 Caractéristiques hydrologiques de la zone d'étude…… 7
6.1 Propriétés morphométriques du sous bassin versant de Cap Bougaroun…… 7
6.2 Propriétés morphométriques du sous bassin versant de l'Oued Guebli…… 9
7 Géologie locale de la zone d'étude…… 10
8 Caractéristiques Hydrogéologiques…… 11

Partie 02 : Pratique
Chapitre 01 : Matériel et Méthodes

1 Méthodologie générale…… 14
2 Echantillonnage…… 14
3 Méthodes d'analyse…… 15
3.1 Détermination du potentiel d'hydrogène (pH)…… 15
3.2 Détermination de la conductivité électrique (CE) et NO3- …… 16
3.3 Détermination de la turbidité…… 16
3.4 Détermination du Ta et TAC…… 17
3.5 Détermination du chlorure (Cl-)…… 18
3.6 Détermination de la dureté totale (THt)…… 19
3.7 Déterminations du nitrite Déterminations du nitrite (NO2-)…… 20
3.8 Détermination du calcium (Ca2+)…… 20
3.9 Détermination de magnésium (Mg2+)…… 21
3.10 Détermination du sodium (Na+)…… 21
3.11 Détermination du potassium (K+)…… 22
3.12 Détermination de ((PO4-)…… 23
3.13. Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO5)…… 24
3.14. Les analyses bactériologiques…… 24
3.14.1 Principe…… 24
3.14.2 Mode opératoire…… 25
3.14.3 Ensemencement et incubation…… 26
3.14.4 Lecture des résultats et confirmation…… 26
a. Coliformes et Escherichia coli…… 26
b. Streptocoques fécaux (Streptocoques)…… 27
3.14.5 Résultat final de l'analyse de l'eau potable…… 28

Chapitre 02 : Résultat et Discussion

1 Caractérisation hydrogéologique…… 29
1.1 Cartes piézométriques…… 29

1.2 Alimentation de la nappe de la plaine de Collo…….. 31
2 Etude hydrochimique…….. 31
2.1 Etudedela potabilité des eaux souterraines de la nappe du sable et gravie de la plaine de Télezza…… 33
2.1.1 Le Ph…….. 33
2.1.2 La conductivité électrique…….. 34
2.1.3 La turbidité…… 35
2.1.4 Le calcium…….. 36
2.1.5 Le magnésium…… 37
2.1.6 Le Titre Hydrotimétrique total (THt)…….. 37
2.1.7 Le sodium…….. 38
2.1.8 Le potassium…… 39
2.1.9 Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC)…….. 40
2.1.10 Le chlorure…….. 42
2.1.11 Nitrate…….. 43
2.1.13 Phosphate…….. 45
2.1.14 La demande biochimique en oxygène (DBO5)…… 46
2.1.15 Les analyses bactériologiques…….. 47
2.2 Aptitude des eaux de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza à l'utilisation en irrigation des cultures…… 49
2.2.1 Éléments régissant l'emploi de l'eau en milieu agricole…… 49
2.2.1.1 Le Rapport d'Adsorption du Sodium « Sodium Adsorption Ratio » (SAR)…….. 49
2.2.1.2 Pourcentage de Sodium(Na%)…… 49
2.2.1.3 La méthode de Richards (Riverside)…….. 51
2.2.1.4 La méthode de Wilcox…….. 53
3 Détermination des faciès chimiques…… 55
3.1 Faciès chimique de la 1ère campagne…… 55
3.1.1 Faciès chimiques par le diagramme de Piper…… 55
3.1.2 Faciès chimiques par le diagramme de Stiff…….. 56
3.1.3 Faciès chimiques par le diagramme de Schoeller-Berkaloff…… 57
3.1.4 Faciès chimiques par le diagramme de Stabler…….. 58
3.2 Faciès chimiques de la 2ème campagne…….. 60
3.2.1 Faciès chimiques par le diagramme de Schoeller-Berkaloff…….. 60
3.2.2 Faciès chimiques par le diagramme de Stabler…… 61
CONCLUSION GÉNÉRALE…….. 62
RÉFÉRENCE…… 64

INTRODUCTION GENERALE

L’eau est une ressource vitale, mais sa répartition mondiale est très inégale en termes de quantité et d’accès. Bien que son volume total soit important (1,4 milliard de km³), environ 97% est salée (OCI, 2025). L’eau douce ne représente qu’une faible part, en grande parie inaccessible car stockée sous forme de glace ou dans les nappes souterraines. L'utilisation de l'eau dans le monde est principalement agricole, représentant environ 70% des prélèvements totaux. Les secteurs industriel et domestique suivent avec respectivement 20% et 10%, mais ces proportions varient fortement selon les régions (FAO, 2002). La qualité de l'eau continue à se dégrader globalement, principalement à cause des actions humaines (Qasim, 2022).

L’Algérie compte 17 bassins versants, dont les ressources hydriques s'alimentent à la fois des eaux de surface et des eaux souterraines, renouvelables et non renouvelables. (Kadi, 1997). Cependant, ces ressources ne sont pas réparties de manière homogène sur le territoire national. L’Algérie présente une distribution géographique très inégale de ses ressources en eau, concentrées au Nord tandis que le Sahara domine par sa rareté. Les régions du Nord captent la quasi-totalité des écoulements superficiels, alors que le Sud repose principalement sur des nappes fossiles limitées, (Boudjadja et al., 2003). Cette disparité apparaît clairement lorsqu’on compare les régions du Nord et celles du Sahara. Au Nord (13 % du territoire), les ressources totalisent 12 milliards de m³/an : 10 milliards en écoulements superficiels (rivières, barrages) et 2 milliards souterrains, grâce à des précipitations de 300 à 1400 mm/an. La qualité des eaux superficielles connaissent un état de dégradation avancé dans des bassins d’importance vitale, surtout sous l’effet des rejets de déchets urbains et industriels, les barrages réservoirs s’envasent et perdent de la capacité utile et le rejet de la vase dans les cours d’eau pose d’énormes problèmes écologiques et environnementales. Les eaux souterraines des nappes phréatiques sont vulnérables à la pollution à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l’intrusion d’eau saline (Boulabeiz, 2017), la surexploitation des couches aquifères entame la capacité de celle-ci à retenir l’eau, ce qui provoque l’enfoncement des couches sous-jacentes. (Herrera et al., 2020)

En Algérie, 80 % de l'eau potable provient de sources souterraines. L'irrigation a été une voie privilégiée pour le développement de l'agriculture et a reçu une attention spéciale de la part des autorités publiques (Kettab, 2001). Par conséquent, d'importantes infrastructures hydrauliques et hydroagricoles ont été déployées au

cours des trois dernières décennies (Mezzar, 2015). La gestion des ressources aquatiques en Algérie est essentiellement régie par la loi n°05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau, qui sert de base juridique primordiale pour la politique nationale de préservation des eaux souterraines. Cette législation traite l'eau comme une ressource collective nationale et exige une gestion durable, judicieuse et cohérente, y compris la sauvegarde des eaux souterraines contre toute sorte de contamination ou d'exploitation excessive. Elle institue aussi le concept du domaine public hydraulique, où la protection juridique des eaux souterraines commence dès leur exploitation, (Journal Officiel de la République Algérienne, 2005).

Située dans le nord-est de l'Algérie, la région de Skikda a toujours eu des difficultés liées à la qualité de ses eaux superficielles suite aux divers sources de pollution reparties a travers le territoire de la wilaya (rejets des eaux usées évacuées sans traitement, rejets liquides industriels et hydrocarbures, rejets dues aux lessivage des vastes terrains agricoles) , les nappes phréatiques étant largement restreintes en raison de la superficie plutôt réduite de la majorité des aquifères. (Ben Rabah, 2006). On trouve essentiellement les ressources en eaux souterraines (forages et puits) dans les nappes alluviales des Oueds de la Wilaya, tels que Oued El Kébir, Oued Saf-Saf, Oued Guebli, entre autres.

Parmi les horizons aquifères localisés dans la plaine de Télèza, on rencontre la nappe phréatique du sable et gravier, qui s'étale sur une large surface plane sur les deux rives de l'Oued Guebli et Oued Cherka, (Chabour, 2004). La zone d'étude qui appartient aux deux sous-bassins versants de Cap Bougaroun et de l’Oued Guebli, constitue une ressource hydrique importante pour la région (Bouchema et Toutaou, 2025). L’étude de la qualité des eaux souterraines et de l’évolution des teneurs en paramètres physico-chimiques, ainsi que de leurs qualité bactériologique est donc cruciale pour comprendre les mécanismes de l'interaction eau-roche-apport superficiel, suite au large exploitation des ses eaux pour l’alimentation en eau potable des habitants de la région et de leurs vaste utilisation pour l'irrigation des grandes cultures exercées (Belksier, 2019).

L'objectif de cette étude est d'identifier et de mettre en évidence les divers critères des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télèza par l’analyses de différents paramètres de la qualité des eaux et voir leur distribution spatio-temporelle, d’identifier les différents faciès chimiques qui lès caractérisent pour

cerner leur origine, afin de déceler leur aptitude à l'alimentation en eau potable et leur utilisation en irrigation par les habitants de la région.

Pour ce fait, notre travail a été structuré comme suite :

Partie 1 : Généralités sur la zone d'étude/récapitulation bibliographique: Présentation de la zone d'étude (plaine de Teleza), l'aspect socio-économique, caractéristiques climatiques, hydrologiques, hydrogéologiques et géologiques.

Partie II : Pratique ; divisée en :

- *Chapitre 1 : Matériels et méthodes*, on a décrit toutes les méthodes de traitement des données, procédures expérimentales d'échantillonnage et d'analyses.
- *Chapitre 2 : Résultats et discussion*, les résultats obtenus sont représentés sous formes d'histogrammes, cartes et diagrammes, ainsi interprétés.

Conclusion générale : récapitulant l'essentiel des résultats de ce travail de mémoire.

Partie : I

GÉNÉRALITÉS SUR LA ZONE D'ÉTUDE/RÉCAPITULATION BIBLIOGRAPHIQUE

1 Situation géographique

La plaine de Télezza est située au Nord-Est de l'Algérie, dans la wilaya de Skikda, commune de Collo. Elle s'inscrit dans la région littorale méditerranéenne.

Cette plaine occupe une position stratégique :

- Elle est ouverte au nord sur la mer Méditerranée ;
- Elle est limitée au sud par les massifs montagneux de Collo ;
- Elle constitue une zone de transition entre le domaine marin et le domaine continental, (Fig. 1).

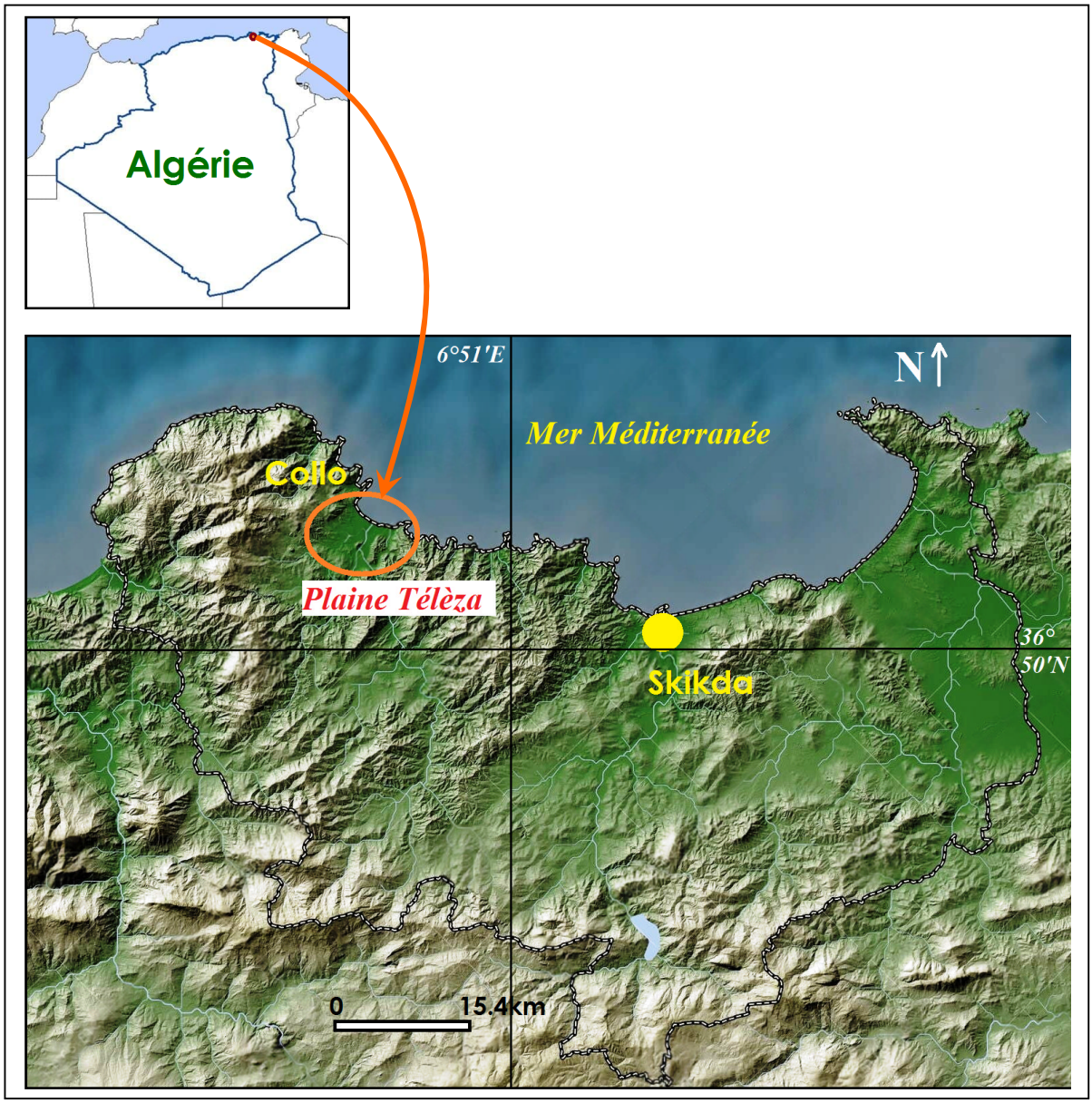


Fig. 1- *Situation géographique de la zone d'étude (plaine de Télezza).*

Sur le plan régional, la plaine de Télezza fait partie des petites plaines côtières du Nord Algérien, généralement étroites mais très fertiles. Sa proximité avec la mer et les reliefs influence fortement son climat, son hydrologie et ses caractéristiques environnementales.

Elle se situe approximativement entre les coordonnées :

- 36°55’ à 37° de latitude Nord ;
- 6°32’ à 6°36’ de longitude Est

2 Aspect socioéconomique de la plaine de Télezza

La plaine de Télezza, bénéficie d'une dynamique socio-économique principalement stimulée par l'agriculture irriguée et les possibilités balnéaires. Toutefois, son développement est conditionné par la pression démographique et une utilisation soigneuse de ses ressources en eau, (Chabour, 2004).

Zone d'Expansion Touristique (ZET) : La baie de Collo et la plage de Télezza constituent des atouts majeurs pour l'attractivité de la région. La ZET de Télezza s'étend sur 400 hectares et est bordée par la mer Méditerranée.

3 Agriculture

Principale vocation : La plaine offre d'importantes possibilités dans les domaines du maraîchage, de l'arboriculture (en particulier les agrumes et l'olivier), des cultures stratégiques telles que les légumes et fraises, ainsi que l’élevage des bovins, ovins et avicoles. Aujourd'hui, la région est renommée pour son importante activité agricole qui approvisionne plusieurs wilayas grâce à une variété de légumes cultivés tout au long de l'année. Cela est dû à l'installation massive de centaines de grandes serres et à la pérennité de cette activité qui repose sur une vaste réserve d'eau souterraine dans sa nappe phréatique.

4 Topographie et pentes

L'analyse morphologique indique que le village est réparti sur trois niveaux d'altitude : de 0 à 5 mètres près de la plage, de 5 à 10 mètres dans la plupart des zones, et de 3 à 5 mètres à ses extrémités, avec quelques petites élévations éparpillées.

La zone d’étude possède une topographie plutôt plane, avec une variation altimétrique minime, allant de 0 à 4 %. Les molasses qui se trouvent au-delà du massif de Ben

Zouiṭ, dotées d'une texture plus fine et argileuse, présentent une résistance réduite aux attaques climatiques, (Fig. 2).

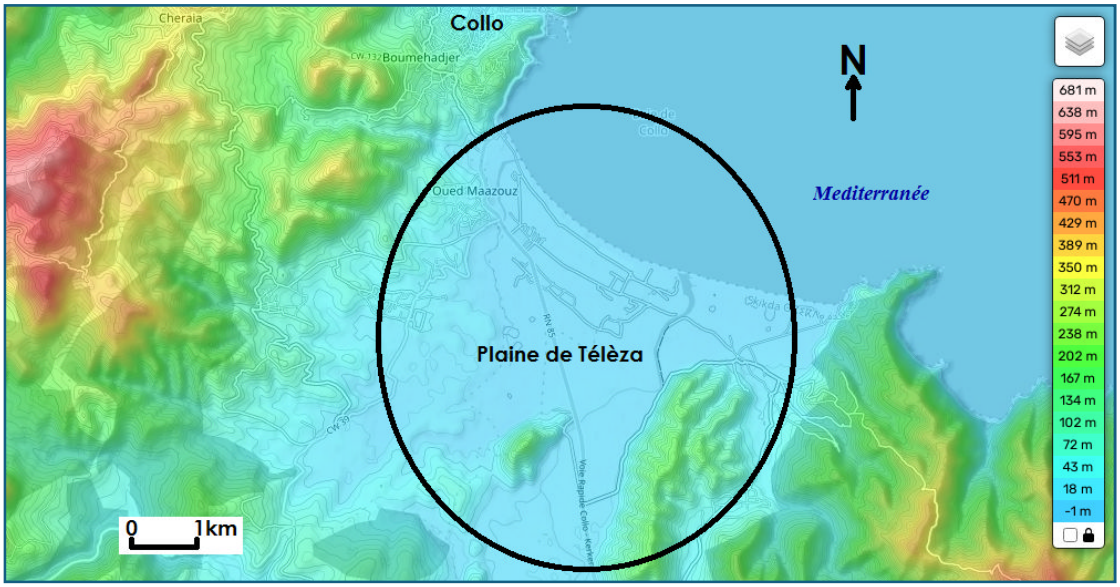


Fig. 2- *Carte d'altitudes de la zone d'étude.*

5 Etude climatique

L'étude climatique est basée essentiellement sur l'analyse des précipitations et des températures de la station météorologique la plus proche du barrage de Beni Zid réalisée par Ouar et al. (2022) sur une période de suivie de 19 ans (2001-2002/2019-2020). D'après les résultats obtenus la région possède les caractéristiques suivantes :

- Le mois le plu chaud est celui de juillet avec une température de 32,27 °C.
- Le mois le plus froid est celui de janvier avec une température de 16,56 °C.
- Le mois le plus pluvieux est celui de Novembre avec 203,74mm.
- Le mois le plus sec est celui de juillet, dont on a enregistré 2,76 mm, (Fig. 3).

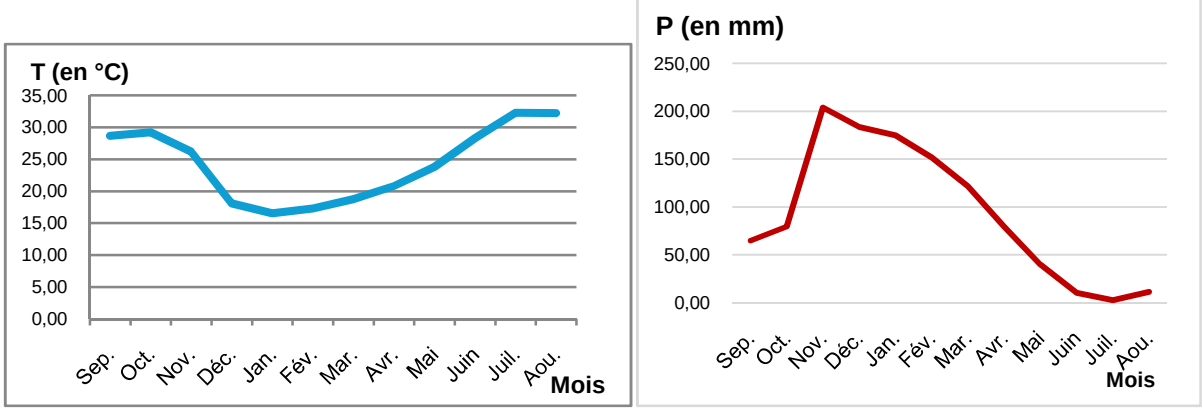


Fig. 3- *Variations des températures moyennes mensuelles (°C) et des précipitations moyennes mensuelles pour la station du barrage de Beni Zid (2001-2002/2019-2020), (Ouar et al., 2022).*

L'analyse du diagramme ombrothermique à montré l'existence de deux saisons : Une période sèche et chaude qui dure quatre mois, de début mai à début septembre et une autre humide et fraîche qui s'étire sur huit mois, de septembre à avril, (Fig. 4).

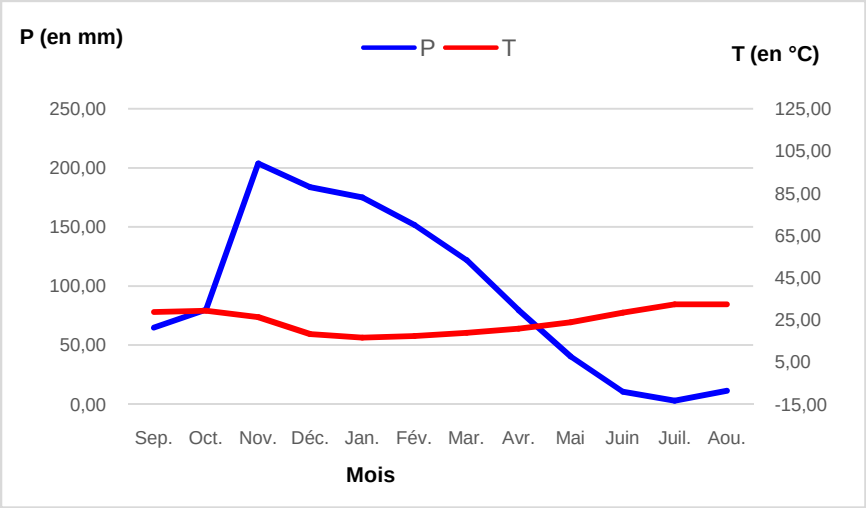


***Fig. 4**- Digramme Ombrothermique pour la station du barrage de Beni Zid (2001-2002/2019-2020), (Ouar et al., 2022).*

6 Caractéristiques hydrologiques de la zone d'étude

Le réseau d'eau local de la plaine débute son parcours, à l'Ouest, dans les monts de Kodiat Tahra, et à l'Est, dans les monts de Douar Tokla. De nombreux sous-bassins se suivent d'Est en Ouest. Les Oueds majeurs qui traversent la plaine de Téléza comprennent :

- l'Oued Cherka, situé au Nord-Ouest ;
- l'Oued Guebli, localisé au Sud de la plaine.

La zone étudiée de la plaine de Télezza se situe dans une unité hydrologique qui est majoritairement intégrée au sous-bassin versant de cap Bougaroun, et comprend également une petite partie qui appartient au sous-bassin versant de l'Oued Guebli. Ces deux derniers se trouvent dans le Nord-Ouest de la Wilaya de Skikda, qui appartient au bassin Côtier Constantinois Centre (Fig. 5). Les ressources en eaux de surface se restreignent au flux concentré de ces Oueds et au flux diffus, omniprésent sur les pentes des piémonts. Ces eaux sont finalement déversées dans la mer Méditerranée.

6.1 Propriétés morphométriques du sous bassin versant de Cap Bougaroun

Porte le numéro de code (03-06), drainé par plusieurs Oueds (Oued Attia, Oued Damous, Oued Zhor, Oued Kebi, Oued Tamanart, Oued Hadaich).

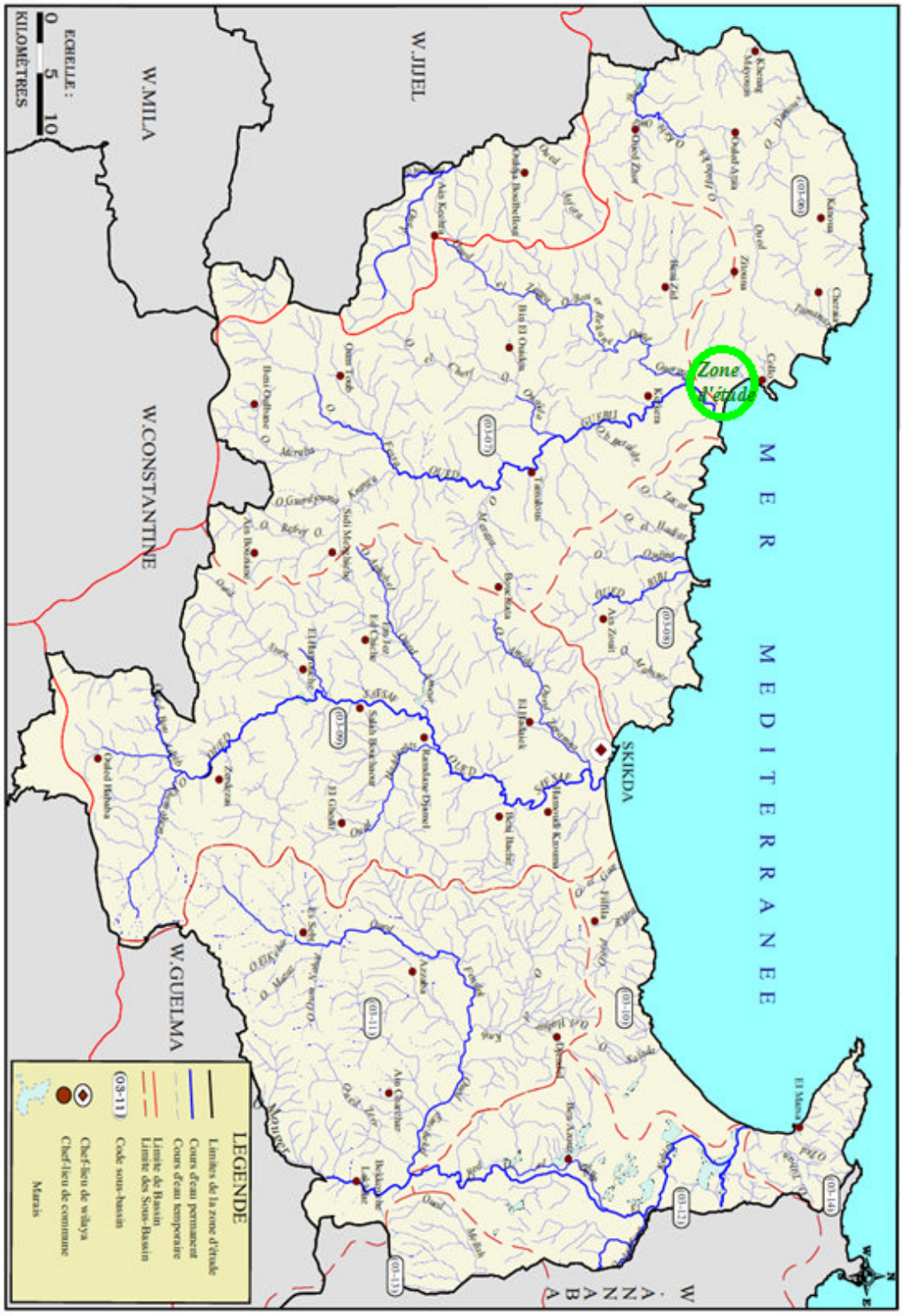


Fig. 5- *Réseau hydrographique du bassin versant* Côtier Constantinois Centre est ses sous-bassins, *(ANRH, 2000).*

Il couvre une superficie de 484.2 Km² et un périmètre de 141.6 Km ; Il est limité : Au Nord, l'Est et l'Ouest ; par la mer Méditerranée, au Sud et Sud- Ouest par le sous bassin versant de l'Oued Guebli.

Le sous-bassin versant côtier du Cap Bougaroun, se caractérise par une morphologie accidentée et une structure hydrographique ramifiée. Il est formé de plusieurs petits bassins élémentaires drainés directement vers la Méditerranée, plutôt que par un seul grand oued principal.

- *Réseau hydrographique :* très ramifié et dense, typique des bassins versants côtiers méditerranéens.
- *Zone de fortes pentes* avec une topographie accidentée influençant la vitesse de concentration des eaux.
- *Forme du bassin :* les petits sous-bassins côtiers dans cette zone sont généralement étroits et allongés, ce qui influence leur temps de réponse aux précipitations.
- *Dynamique :* les précipitations intenses sur ce relief accidenté induisent une forte dynamique de crue.
- *Densité de drainage :* le réseau est très ramifié, ce qui implique une réponse hydrologique rapide aux précipitations.

L'analyse de ces caractéristiques est essentielle pour la gestion des risques inondations dans ces zones côtières.

6.2 Propriétés morphométriques du sous bassin versant de l'Oued Guebli

Porte le numéro de code (03-07). Il couvre une superficie de 993 Km² et se trouve presque totalement inclus dans le territoire administratif de la Wilaya de Skikda (ANRH, 2000), (Tableau 1). Il est limité:

- Au Nord, par la mer Méditerranée.
- Au Sud et Sud- Ouest par le bassin versant de Oued Rhumel.
- A l'Est par les bassins versants de l'Oued Safsaf et de l'Oued Bibi.
- Au Nord- Ouest par le bassin versant de Cap Bougaroun.

Ses principaux cours d'eau sont : *Oued Fessa* – affluent majeur formant une partie de la naissance de l'Oued Guebli. *Oued Khênga / Khanga* – autre grand affluent qui rejoint l'Oued Fessa pour former l'Oued Guebli et *Oued Guebli* (cours principal), né de la confluence de l'Oued Fessa et de l'Oued Khênga, traversant les bassins de Sidi Mezghiche, Oum Toub, Tamalous et la plaine de Collo avant de se jeter en mer.

Tableau 1- *Caractéristique Morphométriques du bassin versant d'Oued Guebli (Mesibah, 2017).*

Paramètre	**Valeur**
Superficie (km²)	993.3
Périmètre (Km)	163.3
Dénivelé spécifique (m)	329.64
Vitesse d'écoulement (m/s)	0.97
Indice de compacité de Gravelus	1.45
Longueur du rectangle équivalent (Km)	65.9
La vitesse d'écoulement de l'eau (m/s)	0.85
Altitude moyenne (m)	320
Altitude médiane (m)	380
Densité de drainage (Km/ Km²)	4.15
Indice de pente globale (m/km)	10.45
L'altitude médiane (m)	380
Largeur du rectangle équivalent (km)	15
L'altitude moyenne (m)	320
Temps de concentration (h)	13.88

7 Géologie locale de la zone d'étude

La plaine de Télezza présente une structure géologique assez simple ; la vallée (d'origine tectonique qui remonte au Pliocène) est creusée dans un ensemble de roches métamorphiques (micaschistes et gneiss du socle kabyle), sur le flanc duquel repose la ville de Collo (Fig. 6).

Des dépôts de sédiments marins presque entièrement argileux se sont accumulés sur cette base, on peut rencontrer :

- Le Socle de Base : la ville repose sur un massif constitué de roches métamorphiques (micaschistes et gneiss) appartenant au socle kabyle.
- La Couverture Sédimentaire : ce socle, principalement argileux et marin, est recouvert par des sédiments d'âges variés : Miocène (caractérisé par l'alternance de marnes et de grès, ainsi que la présence de granites intrusifs) et Pliocène (composé de marnes bleues et de calcaires). Ces strates (Miocène et Pliocène) constituent une fondation étanche sous la plaine.

- Le Remplissage Alluvial (Quaternaire) : l'accumulation de sédiments récents fluctue en fonction de la localisation géographique par rapport à Koudiat Télezza ; des alluvions fines (limons) au sud, de faible épaisseur et peu perméables. Au nord, les dépôts alluviaux sont plus grossiers (sables et graviers) et beaucoup plus épais (de 15 à 25 m).

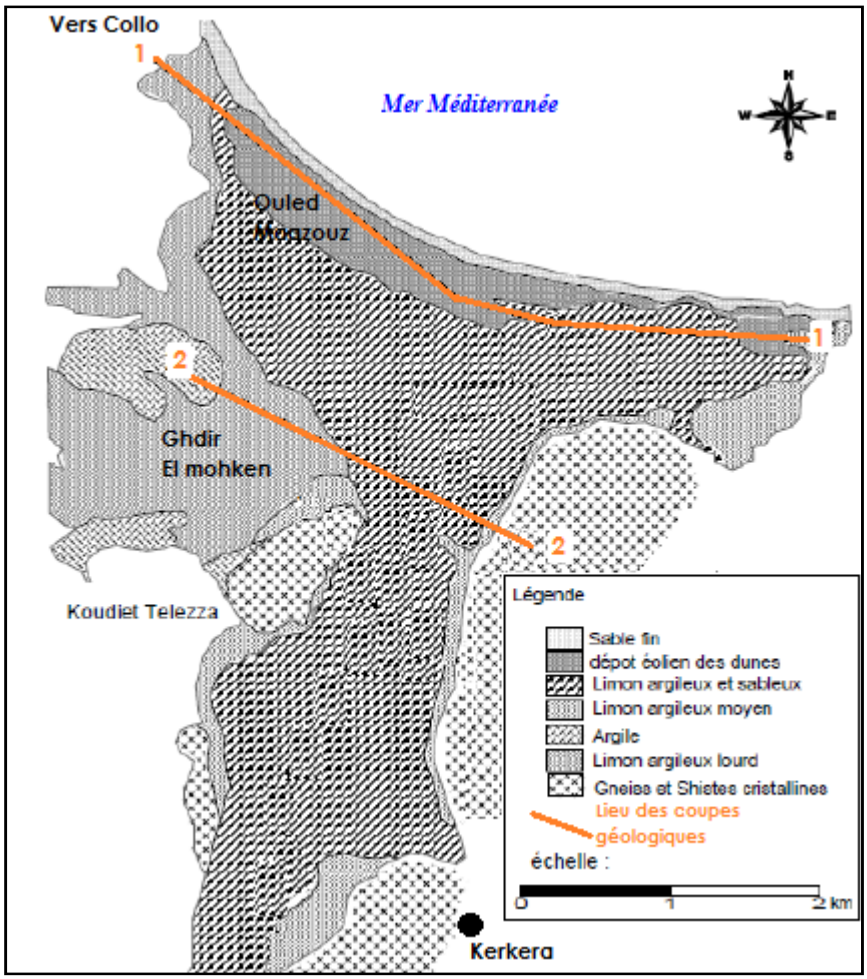


Fig. 6- *Carte géologique de la plaine de Télezza (d'après CGG, 1965, Modifèe).*

8 Caractéristiques Hydrogéologiques

Pour la délimitation des horizons aquifères de la plaine de Télezza on se sert des coupes géologiques tracées par la Compagnie Générale de Géophysique Russe (CGG, 1965) sur deux profiles parallèles ; le premier noté (1-1) et le deuxième (2-2). Ces coupes démontrent bien l'extension des aquifères du Nord vers le Sud et de l'Est vers l'Ouest (Fig. 6).

D'après ces coupes, on a pu définir ***l'horizon aquifère du sable et gravier de la nappe phréatique d'âge Quaternaire de notre étude***, capté par centaines de puits domestiques creusés par les habitants largement reparties sur la plaine de Télezza qui

servent à l'alimentation en eau potable, l'irrigation et l'alimentation du bétail. Cet horizon est caractérisé par :

- *Coupe géologique 1-1 :* avec un profil Est-Ouest, en parallèle avec la bande du littoral (loin de quelques dizaines de mètres de la mer), sur une longueur de plus de *4 km*, montre que la nappe du sable et gravier possèdent une épaisseur allant de *3 m* à l'Ouest jusqu'à *20 m* à l'Est, elle a un aspect d'une nappe libre avec un substratum imperméable d'argile, (Fig. 7).

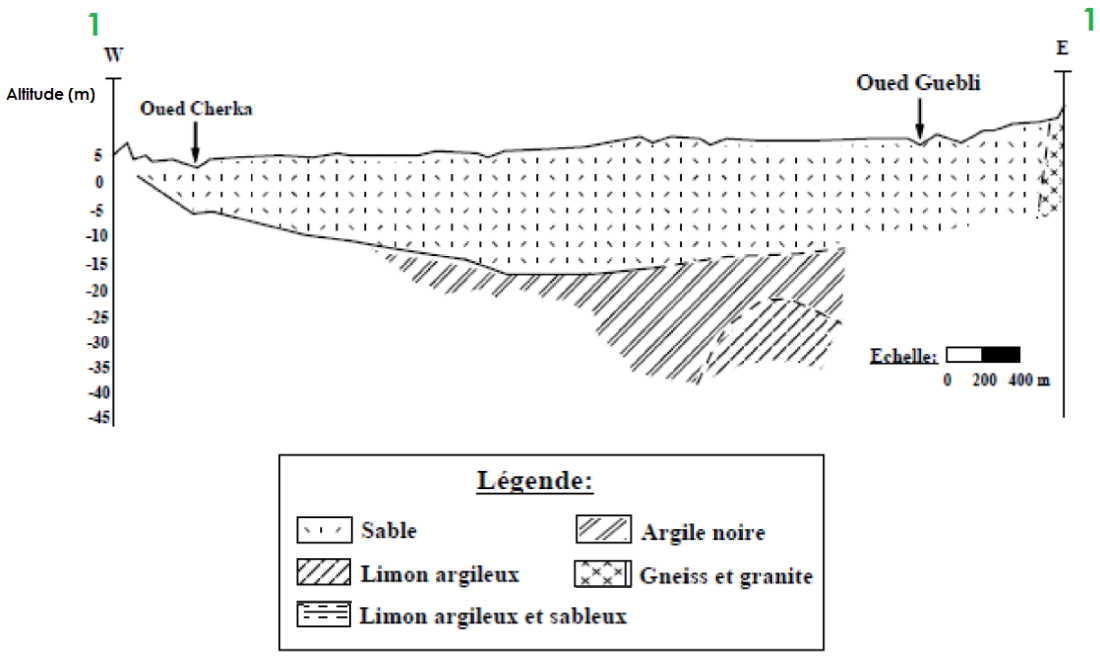


Fig. 7- *Coupe géologique 1-1 dans la plaine de Télezza (CGG, 1965).*

- *Coupe géologique 2-2 :* d'une direction Est-Ouest, la même nappe du sable et gravier possède à ce niveau un aspect semi-libre ; sont toit est semi-perméable formé par une mince couche de *2 à 5 m* de limons argileux et sableux et argile, alors que son substratum imperméable est constitué massivement d'une épaisse couche d'argile. La nappe à une épaisseur moyenne de *15 m*, à l'exception de sa partie Est où cette épaisseur est réduite, cette deuxième coupe est un peu loin de la première, elle s'est exécutée à *2 km* du littoral en parallèle avec la précédente, (Fig. 8).

Cette nappe est largement exploitée par des centaines de puits artisanaux qui sert à l'irrigation des vastes parcelles agricole, élevage et même en alimentation d'eau potable de la population de la région.

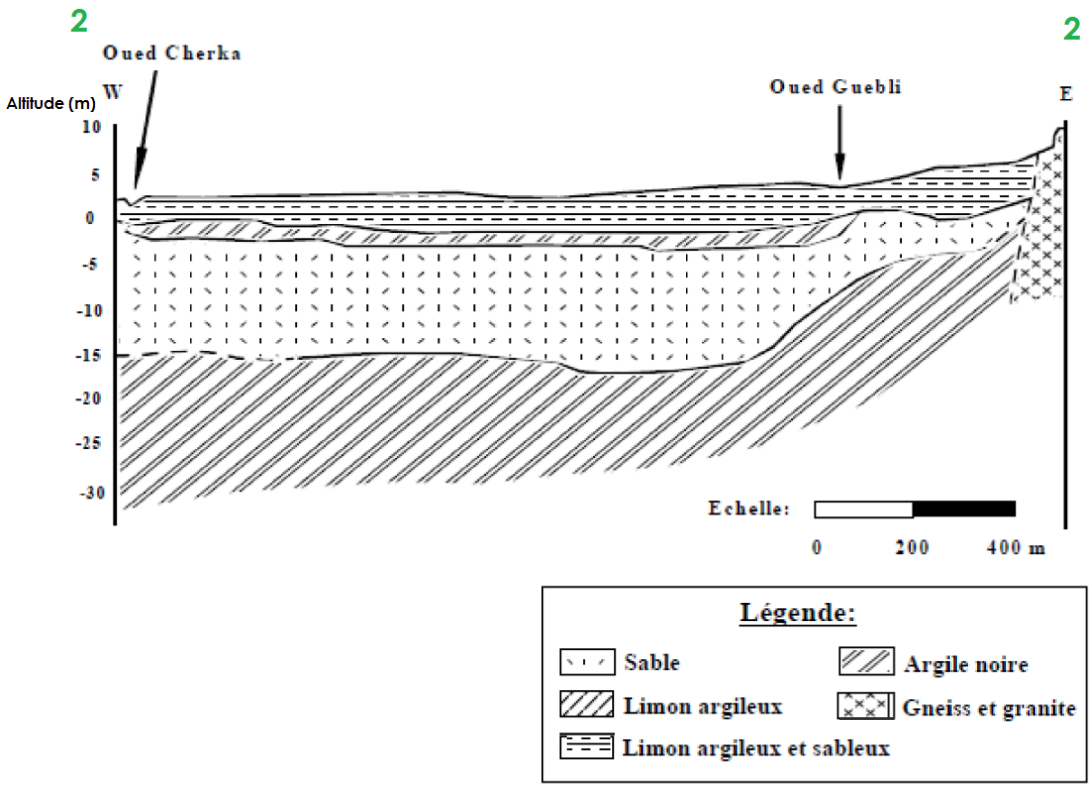


Fig. 8- *Coupe géologique 2-2 dans la plaine de Télezza (CGG, 1965).*

Partie : II

PARTIE PRATIQUE

Chapitre 1

Matériels et méthodes

1 Méthodologie générale

Afin de déterminer les différents facies chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier d'âge Quaternaire de la plaine de Télezza, de leur qualité en ce qui concerne l'utilisation de ses eaux en alimentation en eau potable, ainsi qu'en irrigation des cultures, nous avons procédés à la méthodologie suivantes :

2 Echantillonnage

Deux campagnes de prélèvement pour les analyses physicochimiques ont été réalisées :

- La première effectuée le 16 Février 2026 ;
- La deuxième effectuée le 26 Avril 2026.

L'étude consiste à prélever huit **(08)** échantillons dans huit **(08) puits** repartis dans la nappe alluviale du sable et gravier de la plaine de Télezza : **P1**, **P2**, **P3**, **P4**, **P5**, **P6**, **P7** et **P8**, (Fig. 9) :

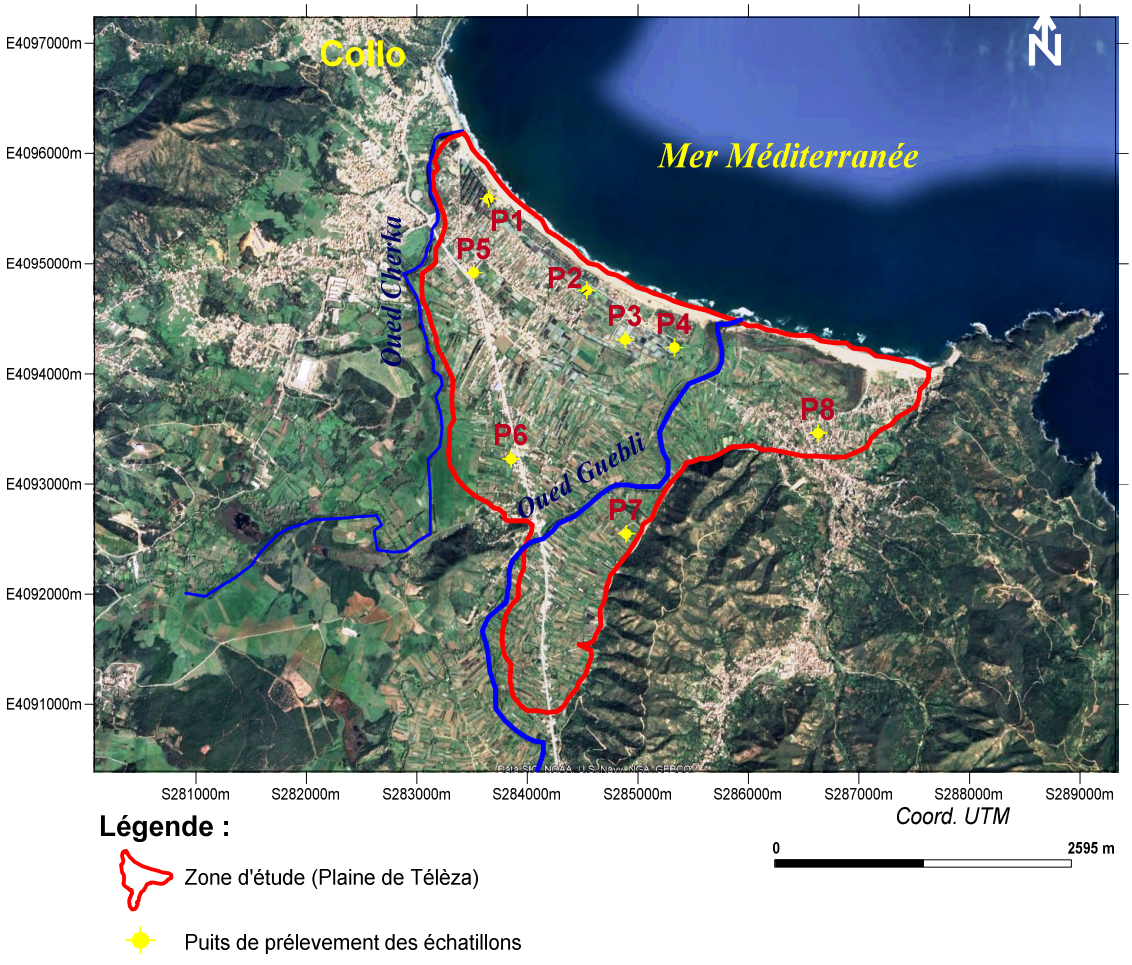


***Fig. 9**- Carte d'inventaire des échantillons utilisés pour les différentes analyses.*

Les échantillons en été prélevées dans des flacons en polyéthylènes rincé avec de l'eau distillé et l'eau à échantillonner, ensuite remplis jusqu'à débordement sous l'eau et mis immédiatement dans une glacière, puis transporter directement vers le laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE) de Skikda et ainsi quelques paramètres ont été dosés au niveau du laboratoire de la Direction de l'Environnent de Skikda.

Pour les analyses bactériologiques les échantillons d'eau sont recueillis dans des flacons en verre stérilisés, les flacons ont été rempli sous l'eau jusqu'a débordement en évitant la pénétration de l'air, ensuite fermés et mis immédiatement dans une glacière à 4°C et transportés au laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE) de Skikda.

Les analyses sont portées sur les éléments suivants : *Le pH, la conductivité électrique (CE), la turbidité, le titre hydrotimétrique total (THt), le titre alcalimétrique complet (TAC), Chlorure (Cl-), Nitrite (NO_2^-), nitrate (NO_3^-), calcium (Ca^{++}), phosphate (PO_4^{3-}), Magnésium (Mg^{++}), Sodium (Na^+) et Potassium (K^+), demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours (DBO5), et les analyses Bactériologiques* .

Les résultats sont représentés sous forme d'histogrammes tracés par Excel, de cartes de distribution spatiotemporelles tracées par le logiciel Surfer (Surfer, 2011), ainsi avec des diagrammes des faciès chimiques et qualité des eaux en irrigation tracés par l'application DIAGRAMMES (2023).

3 Méthodes d'analyse

3.1 Détermination du potentiel d'hydrogène (pH)

Effectuée à l'aide d'un pH-mètre (Fig. 10).



Fig. 10*- pH-mètre.*

Établir les connexions électriques nécessaire de pH mètre, on lave l'électrode avec l'eau distillée, et on verse l'échantillon d'eau dans le bêcher et puis y prolonger les électrodes et lire la valeur du PH indiquée sur l'écran de l'appareille.

3.2 Détermination de la conductivité électrique (CE) et NO_3^-

Effectuée à l'aide d'un multimètre (Fig. 11).

Mode opératoire : établir les connexions nécessaires de la sonde de conductivité, puis rincer cette dernière à l'eau distillée. L'échantillon d'eau est ensuite versé dans un bécher propre, dans lequel la sonde est immergée en veillant à éliminer les bulles d'air. Après stabilisation de la valeur affichée, la conductivité électrique est lue directement sur l'écran de l'appareil et exprimée en µS/cm (conductivité) et mg/l pour *(NO_3^-).* Enfin, la sonde est rincée à l'eau distillée afin d'éviter toute contamination entre les mesures.



Fig. 11- *Multimètre Hach SL1000.*

3.3 Détermination de la turbidité

Effectuée par un turbidimètre TL2300, (Fig. 12).

Mode opératoire :

- Allumer l'appareil de turbidimètre.
- Remplir les cuves en verre bien nettoyées et bien séchées de l'eau à analyser.
- Mettre ces cuves en verre dans le turbidimètre.

– Puis noter le résultat directement.



Fig. 12- *Turbidimètre TL2300.*

3.4 Détermination du TA et TAC

Dosés par titrage volumétrique, (Fig.13).

Mode opératoire :

– 03 gouttes de phénolphtaléine (C20H14O4) S'il y a un changement vers couleur rose pâle présence de TA
– Si la couleur reste transparent TA =0 (ph ≤ 8,50)
– On ajoute sur la solution précédente 02 gouttes de Méthylorange (C14H14N3NaO3S)
– Titration avec l'acide sulfurique H2SO4 jusqu'a virage du couleur orange brique

TA = V * 10 en mg/l et TAC = (VTA + VTAC) * 10 en mg/l (TA ≤ 10 mg/l) et: (TAC ≤ 120 mg/).

Principe : C'est pour déterminer les bicarbonates HCO, et les carbonates CO,2 et les hydroxydes OH-

TA= $[OH^-]$ +½$[CO_3^{2-}]$

TAC=$[OH^-]$ + $[CO_3^{2-}]$ + $[HCO_3^-]^{-2}$] 100 ml prise à essai



***Fig. 13**- Dosage du TAC.*

Réactif :

- Phénolphtaléine (C20H14O4)
- Méthylorange (C14H14N3NaO3S)
- Acide sulfurique (H2SO4)

3.5 Détermination du chlorure (Cl^-)

Principe : méthode volumétrique, titrage des chlorures aux nitrates d'argent en présence de chlorure de potassium, (Fig.14).



Fig. 14- Dosage de chlorure

Réactif :

-Chromate de potassium K

Mode opératoire :

- 05 ml prise à essai

- 02 gouttes de chromate de potassium (K2CrO4)

- Titration avec nitrate d'argent (AgNO3) jusqu'à virage du couleur rouge brique

Calcul :

Cl^-= V*71en mg/lV : volume titré (cl≤500 mg/l)

3.6 Détermination de la dureté totale (THt)

Dosés par titre hydrotimétrique, (Fig. 15).

Mode opératoire :

-50 ml prise à essai

- 04 ml de solution tampon k 10

-03 gouttes de mordant noire (indicateur net)

-Titrage avec l'EDTA Na2 qui est un sel disodique (acide éthylène diamine tetracétique) jusqu'au virage du couleur bleu,



Fig. 15- *Dosage de THt.*

Calcul :

THT=V*2*10 en mg/L (THT THT=V*2*10 en mg/L (THT≤ 500 mg/l)

3.7 Déterminations du nitrite Déterminations du nitrite (NO_2^-)

Appareil : spectrophotomètre ODYSEY HACH, (Fig. 16).



Fig. 16- *Spectrophotomètre ODYSEY HACH.*

Réactif :

-Réactif coloré (NO_2^-)

Mode opératoire :

- Prendre 40 ml d'eau à analysé
- Ajouter 01 ml réactifs coloré
- Compléter avec de l'eau distillé jusqu'à 50 ml
- Temps de repos 20 min
- Longueur d'onde 540 nm

Calcul :

-Après 20 min, le couleur devient rose

- On met ces solutions des échantillons dans les petites cuvettes en verre de spectrophotométrie
- premièrement, on met le blanc pour régler à 0. Après on met les autres.
- on noter les résultats directement.

3.8 Détermination du calcium (Ca^{2+})

Dosés par titre hydrotimétrique, (Fig. 17).

Réactif :

- Hydroxyde de sodium NaOH
- Murexide HSN indicateur

-EDTA Na2-disodique

Mode opératoire :

- 50 ml prise à essai
- 02 ml de solution hydroxyde de sodium NaOH
- Petite quantité de murexide HSN indicateur
- Titration avec l'EDTA Na2(C10H14N2O8Na2 ; 2H2O)
- Disodique (acide éthylène diaminetitracétique) jusqu'à virage du couleur mauve foncé.



Fig. 17- *Dosage de Calcium.*

Calcul : $Ca^{2+}2$ = V*10 en mg/l (Ca^{2+}< 200 mg/l,v : le volume titrer)

3.9 Détermination de magnésium (Mg^{2+})

Détermination de Mg : connaissant la dureté totale d'une part et la dureté calcique d'autre part, le calcul de la teneur en magnésium est estimé par la différence entre la dureté et le calcium exprimés en ppm de CaCO3.

Calcul : Mg =TH- Ca^{2+}

3.10 Détermination du sodium (Na^{+})

Effectuée à l'aide d'un spectrophotomètre JENWAY PFP7, Flame Photometer, (Fig. 18).

Réactifs :

Peser 2.54 g de chlorure de sodium, ayant séché pendant une heure, dans une étuve à 105°C.

Dissoudre cette même quantité dans de l'eau distillée et compléter à 11. Cette solution a une concentration de 1.000 mg/l de sodium,Conserver cette solution dans une bouteille en plastique.

Par dilution, préparer quotidiennement une solution de 10 mg/l en prélevant 1 ml de la solution Précédente dans 100 ml d'eau distillée.



Fig. 18- *Spectrophotomètre JENWAY PFP7.*

Mesure :

Faire passer au photomètre à flamme la solution d'étalonnage de 10 mg/l, trois fois. Faire passer les échantillons. Si la concentration en Na est supérieure à 10 mg/1; Procéder à La dilution de l'échantillon.

Les concentrations correspondent aux extinctions x Facteur de dilution.

3.11 Détermination du potassium (K^+)

Appareil : Spectrophotomètre JENWAY PFP7, (Fig. 18).

Réactifs :

Dissoudre 1.907 g de KCI (ayant été séché à 105°C pendant une heure de temps) dans un litre d'eau distillée. Cette solution a, ainsi, une concentration égale à 1000 mg/l de potassium (K).

Soit C, =1000 mg/l. La solution doit être stockée dans une bouteille en plastique. Apartir de C, préparer quotidiennement une solution de 10 mg/l, en prélevant 1 ml q.s.p. 100ml.

Mesure :

Faire passer la solution de 10 mg/l trois fois, et ça doit afficher 10 Faire passer ensuite les échantillons. Si la concentration en potassium dépasse 10 mg/l, Procéder à la dilution de l'échantillon.

Les concentrations correspondent aux extinctions x Facteur de dilution.

3.12 Détermination de (PO_4^{3-})

Appareil : spectrophotomètre ODYSEY HACH, (Fig. 19).

Méthode iso 6878, 2004

Réactif :

- Acide ascorbique 10g – 100ml H2O
- Acide sulfurique 150ml- 150ml H2O (3 mol/l)
- Réactifs PO_4^3 :

Ammonium hepta molybdate tétrahydaré : 13g-100ml

Tartrate de potassium et d'antimoine hémihydraté : 0,35g-100ml

$H_2SO_4^{6-}$ 300ml/l

Dans une fiole de 1l avec H_2O



Fig. 19- *Spectrophotomètre ODYSEY HACH.*

Mode opératoire :

- Introduire 40ml d'échantillon dans un bécher
- Ajouter 2ml du réactif phosphates
- Laisser réagir pendant 25minutes
- Mesurer l'absorbance à 880nm à l'aide d'un spectrophotomètre

3.13 Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO5)

Appareil : Incubateur



Fig. 20*- Incubateur.*

Mode opératoire :

-Prendre un volume d'échantillon selon la pollution et l'origine de l'eau.

-Mettre l'échantillon dans la bouteille DBO.

-Ajouter 2 à 3 grains (pastilles) de KOH pour absorber le CO_3.

-Fermer et régler la tête de mesure.

-Mettre la bouteille dans l'incubateur pendant 5 jours à 20°C.

-Lire le résultat et le multiplier par le facteur correspondant au volume utilisé pour obtenir la DBO5 en mg/L d'O_2.

3.14 Les analyses bactériologiques

3.14.1 Principe

Filtration d'une prise d'essai de l'échantillon homogénéisé sur une membrane stérile qui retient les organismes ; transfert de la membrane soit sur le milieu de

culture sélectif de gélose lactosé, soit sur un tampon absorbant saturé d'un milieu liquide sélectif contenant du lactose.

3.15 Mode opératoire

Stérilisation du poste de travail : la paillasse est désinfectée à l'aide d'alcool à 70 %, puis un bec Bunsen est allumé afin de créer une zone stérile par convection thermique d'environ 20 cm de diamètre.

Préparation du matériel : les tubes, les flacons de bouillon nutritif et les pinces stériles sont placés à l'intérieur de la zone de stérilité créée par la flamme du bec Bunsen.



Fig. 21- *Rampe de filtration.*

Filtration de l'échantillon :

- Mise en place de la membrane : à l'aide d'une pince stérile (passée rapidement à la flamme puis laissée refroidir), une membrane filtrante stérile (porosité de 0,45 µm, face quadrillée vers le haut) est placée sur la base métallique du dispositif de filtration.

-Montage de l'entonnoir : l'entonnoir de filtration stérile est fixé solidement sur la base du dispositif.

- Versement de l'échantillon : le flacon d'eau potable est agité soigneusement, puis un volume de 100 mL d'eau est versé dans l'entonnoir.

-Filtration sous vide : la pompe à vide (pompe à vide) est mise en marche afin de faire passer l'eau à travers la membrane. Les bactéries présentes dans l'échantillon sont retenues à la surface de celle-ci.

- Rinçage (facultatif) : l'entonnoir peut être rincé avec 20 à 30 mL d'eau distillée stérile afin de garantir le transfert complet des bactéries vers la membrane.

3.15.1 Ensemencement et incubation

-Transfert de la membrane : l'entonnoir est retiré, puis la membrane est prélevée avec précaution à l'aide d'une pince stérile.

- Mise en boîte de Pétri : la membrane est déposée sur la surface du milieu de culture solide (gélose) contenu dans une boîte de Pétri, en veillant à éviter la formation de bulles d'air sous la membrane.

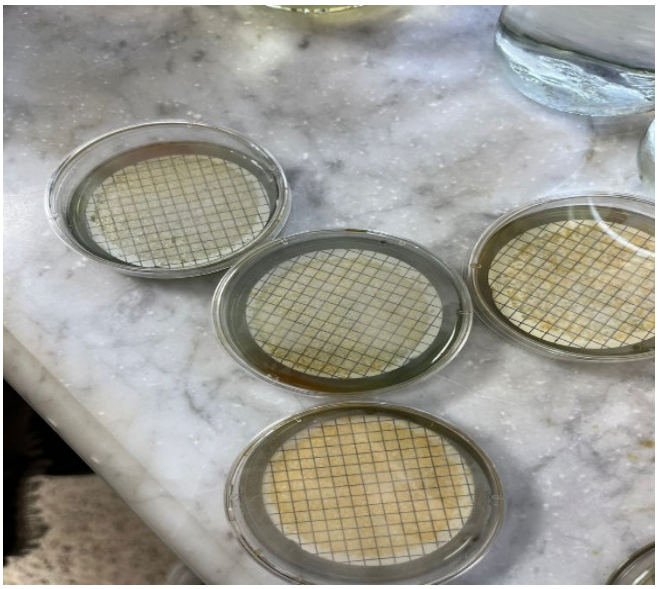


Fig. 22- *Mise en boîte de Pétri.*

- Incubation : les boîtes de Pétri sont retournées (couvercle en bas et fond en haut) afin d'éviter que les gouttelettes de condensation ne tombent sur la membrane. Elles sont ensuite placées dans l'incubateur selon le germe recherché :

* Coliformes totaux et E. coli : incubation sur un milieu approprié à 36 ± 2 °C pendant 24 heures.

* Coliformes fécaux : incubation sur le milieu mFC à 44 ± 0,5 °C pendant 24 heures.

* Streptocoques fécaux (entérocoques) : incubation sur le milieu Slanetz et Bartley à 37 °C pendant 48 heures.

3.15.2 Lecture des résultats et confirmation

Après la période d'incubation, les membranes sont examinées et les colonies développées sont dénombrées.

3.15.2.1 Coliformes et Escherichia coli

Résultats préliminaires :

* Colonies roses à rouges : présence de coliformes totaux.

* Colonies violettes à bleues : présence probable d'Escherichia coli (E. coli).

Confirmation d'E. Coli (test de Kovacs) :



Fig. 23- *Confirmation d'E. Coli.*

* Une colonie violette est prélevée puis ensemencée dans de l'eau peptonée enrichie en tryptophane.

* Le milieu est incubé à 44 °C pendant 24 heures.

* Quelques gouttes du réactif de Kovacs sont ensuite ajoutées.

* L'apparition d'un anneau rouge à la surface indique une production d'indole, ce qui confirme la présence d'Escherichia coli.

3.15.2.2 Streptocoques fécaux (Streptocoques)

Résultats préliminaires :

* Apparition de colonies rouges, roses ou brunes (Fig. 24), caractéristiques des streptocoques fécaux sur le milieu de culture approprié.

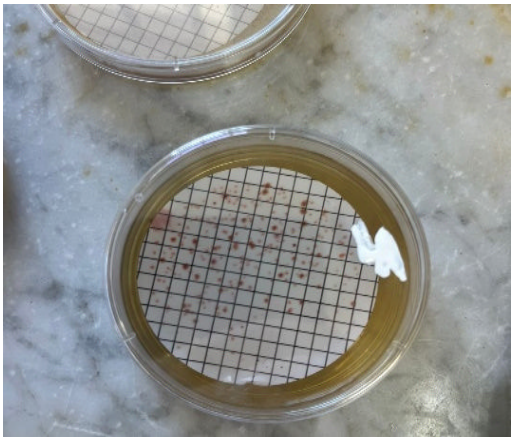


Fig. 24*- Colonies roses des Streptocoques fécaux.*

Confirmation des streptocoques fécaux :

Test de confirmation :

* La membrane est transférée entièrement sur un milieu Gélose à l'esculine et à l'azide de sodium, préalablement préparé et maintenu à 44 °C.

* Elle est ensuite incubée pendant 2 heures.

* Si le milieu entourant les colonies prend une coloration brun-noir, le résultat est considéré comme positif et confirme la présence de streptocoques fécaux.

3.15.3 Résultat final de l'analyse de l'eau potable

* Le nombre de colonies est exprimé en UFC/100 mL (Unités Formant Colonies pour 100 mL d'eau).

* Les résultats obtenus sont comparés aux normes de qualité microbiologique de l'eau potable.

Critère de conformité :

* Pour les coliformes totaux, Escherichia coli et les streptocoques fécaux (entérocoques), la norme exige une valeur de 0 UFC/100 mL.

* La présence d'une seule colonie dans 100 mL d'eau indique une contamination microbiologique et rend l'eau non conforme à la consommation humaine.

Chapitre 2

Résultats et Discussions

1 Caractérisation hydrogéologique

La délimitation des aquifères, ainsi que de la structure lithologique qui caractérise la plaine de Télezza a été bien détaillée par la synthèse des études antérieures dans la partie I (Généralités sur la zone d'étude) de ce mémoire. Ces études ont montrées à travers des coupes géologiques et hydrogéologiques (Fig. 7 et 8) l'existence d'une grande ***nappe phréatique d'âge Quaternaire de sable et gravier*** sur toute l'étendue de cette plaine connue sous le nom *de La nappe phréatique de la plaine de Collo*, (Mecibah, 2017).

D'après ces coupes cette nappe possède ***deux aspects*** distincts :

- Le premier ; elle a la structure d'une ***nappe libre*** avec substratum imperméable argileux sur toute la frange littorale jusqu'à environ 2 km vers l'intérieur du continent (Fig. 7), sur une longueur de plus de 4 km et d'une épaisseur allant jusqu'à 20 m.
- Le deuxième ; elle a la structure d'une ***nappe semi-libre***, avec toit semi-perméable mince limono-argilo-sableux et un substratum imperméable argileux et une épaisseur allant jusqu'à 15 m, localisé plus au Sud-Ouest de la plaine à l'intérieur du continent (Fig. 8)

1.1 Cartes piézométriques

L'analyse de la carte piézométrique effectuée en période des hautes eaux (Khelfaoui, 2026) au mois d'avril 2026 révèle les informations suivantes, (Fig. 25) :

- Le sens global de l'écoulement des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza se fait selon les directions suivantes :
  - Du Sud vers le Nord (vers la mer) et vers la partie centrale de la plaine provenant du ruisselement puis d'infiltration des eaux pluviales issues du massif montagneux d'El-Ghedir au Sud en période hivernale.
  - Du Nord vers le Sud pour s'accumuler à la dépression de la partie centrale-Ouest de la plaine, ce qui a engendré une avancée du biseau salée des eaux de mer suite aux pompages excessifs et l'arrêt du remplissage de la nappe à la fin de cette saison.
  - De l'Est vers l'Ouest depuis la partie littorale jusqu'à la partie centrale de la plaine, qui constitue une zone d'accumulation principale de l'écoulement des eaux souterraines (couleur bleue sur la carte) avec un

niveau piézométrique au delà du niveau de la mer (inférieur à zéro), ce qui favorise l'avancée des eaux de mer provenant du Nord vers l'intérieur du continent.

- Le gradient hydraulique est fort dans la partie Sud et Est de la plaine, ce qui indique une grande vitesse d'écoulement souterrain à cet endroit par une forte pente. Il est moyen au centre et au Nord.

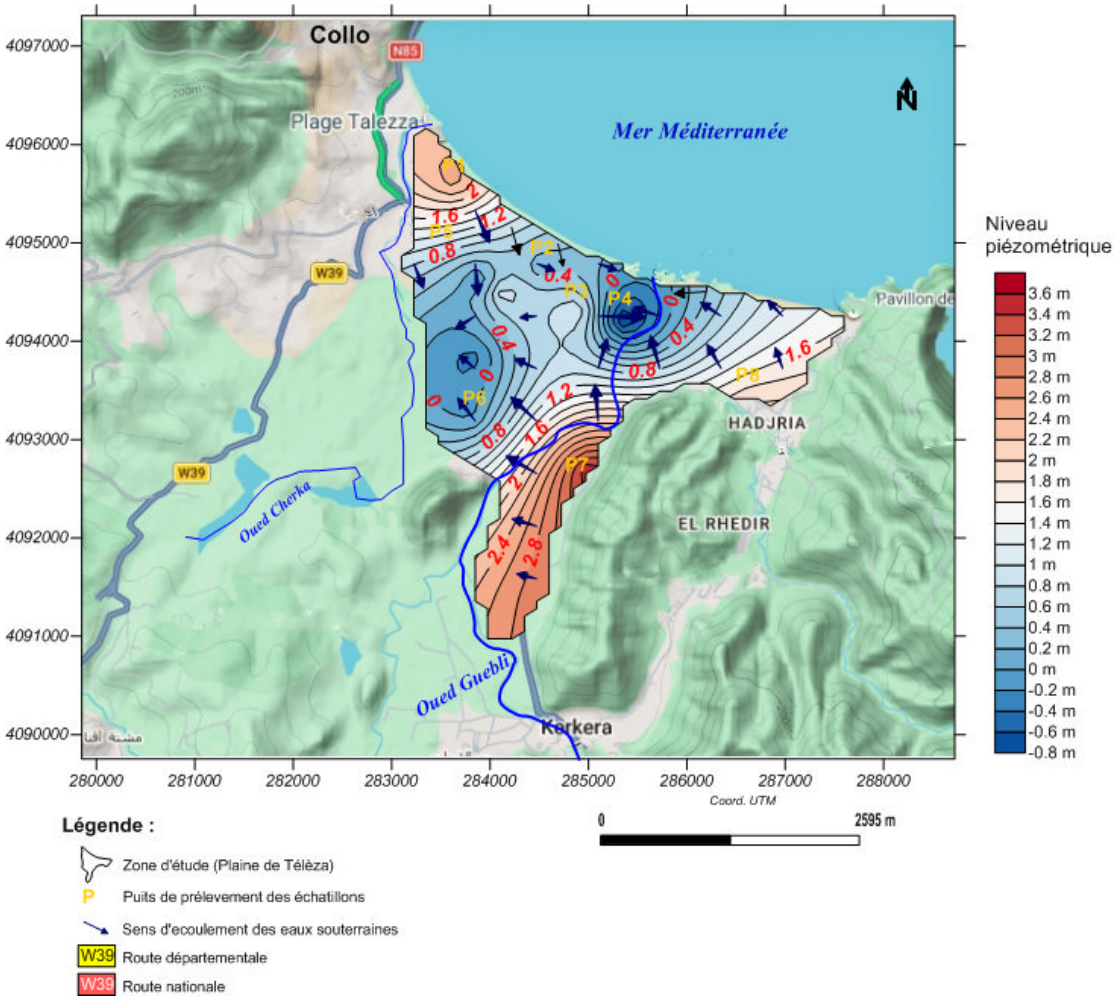


Fig. 25*- Carte piézométrique de la nappe de la plaine de Télezza, période des hautes eaux avril 2026 (Khelfaoui, 2026).*

Selon Mecibah (2017), la *réserve totale* (WT) de cette nappe, basée sur une porosité efficace moyenne de 20%, est : WT = 226106 m^3. Dans ce sens, sa carte de perméabilité indique que le secteur du nord dans la plaine de Télezza se distingue par sa perméabilité élevée, avec une vitesse d'écoulement des eaux souterraines oscillant entre $1.2x10^{-3}$ m/s et $2.6x10^{-3}$ m/s, (Fig. 26).

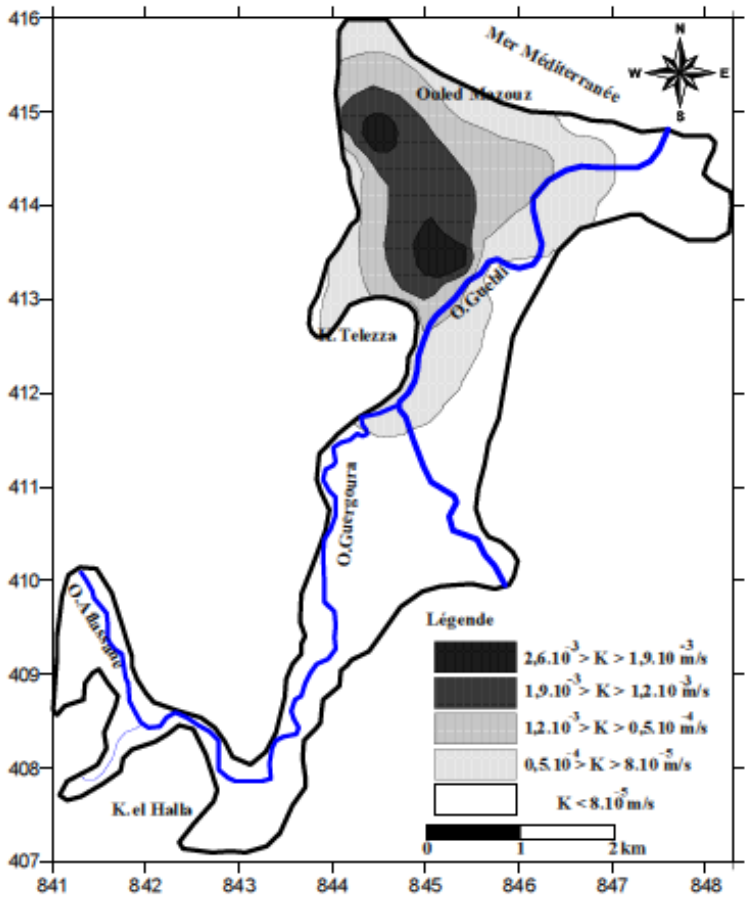


Fig. 26*- Carte des perméabilités de la nappe de Collo (Mecibah, 2016).*

1.2 Alimentation de la nappe de la plaine de Collo

Cette région est principalement alimentée par les eaux pluviales de ruissellement issues du drainage de ce massif montagneux très accidenté. Une grande partie de la recharge s'effectue directement sur la nappe grâce aux précipitations. Par conséquent, une abondante provision est fournie par les montagnes situées à l'Ouest, l'Est et au Sud-Ouest. Selon Chabour (2004), les bordures à l'Ouest et au Sud-Ouest sont constituées de terrasses fluviales et de dépôts venant de cônes de déjection qui dominent la plaine.

2 Etude hydrochimique

Les paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau sont fréquemment sujets à des fluctuations spatiotemporelles résultant des actions humaines et du contexte géologique qui altèrent les propriétés de l'eau et influencent sa qualité. Ainsi, les résultats issus des études sur les eaux souterraines de la nappe de sable et de gravier

de la plaine de Télezza sont mis en comparaison en fonction de leur application, selon deux types de normes :

- Pour évaluer leur potabilité, ces eaux sont comparées aux standards Algériens des eaux souterraines destinées à l'approvisionnement en eau potable des citoyens, comme indiqué dans le Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire (JORA, 2011), ainsi qu'aux critères de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine (JORA, 2014). Ensuite, les normes manquantes sont ajoutées en se basant sur les normes et lignes directrices de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2017), comme le montre le Tableau 2.
- En ce qui concerne leur utilisation pour l'irrigation des cultures, la qualité de ces eaux est évaluée en fonction du rapport d'adsorption de sodium (SAR), du pourcentage de sodium, ainsi que des diagrammes de Richards (Riverside ou Wilcox log) et de Wilcox.

***Tableau 2**- Normes Algériennes (JORA, 2011 et 2014) et de l'OMS (2017) des eaux potables.*

Paramètre	**Teneur maximale admissible dans l'eau potable**
pH	6.5< pH <9
Température (T°)	25°C
Conductivité électrique (CE)	2800 µS/cm
Salinité (ou TDS)	1500 mg/L
Turbidité	5 NTU
Calcium	200 mg/L
Dureté (THt)	500 mg/L de $CaCO_3$
Nitrates (NO_3^-)	50 mg/L
Chlorure (Cl^-)	500 mg/L
Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)	3 mg/L
Magnésium (Mg^{2+})	50 mg/L *
Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	Pas de valeur guide reposant sur des arguments sanitaires, mais conseillé entre 80 < TAC < 140 mg/L *
Nitrite (NO_2^-)	0.2 mg/L *
Sodium (Na^+)	200 mg/L
Potassium (K^+)	12 mg/L
Phosphate	5 mg/L
Fer total	0.3 mg/L
Escherichia coli	20 n/100 ml
Streptocoques fécaux	20 n/100 ml
Coliformes totaux	0 n/100 ml *
Coliformes fécaux	0 n/100 ml *

(*) Normes OMS (2017).

Remarque :

- *la norme de potabilité dans les histogrammes est tracée par **la ligne rouge**.*
- *La **ligne jaune** marque la ligne directive à conseiller pour les paramètres physicochimiques qui n'ont pas de norme adéquate.*

2.1 Etude de la potabilité des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza

2.1.1 Le pH

Les valeurs de pH dans les huit puits sont acceptables et ne dépassent pas la norme, les eaux souterraines de la nappe alluviale du sable et gravier de la plaine de Télezza sont de bonne qualité de pH, elles sont légèrement alcalines pour les tout les puits étudiés, (Fig. 27). Les eaux souterraines des puits de la bande littorale à coté de la mer (P1, P2, P3, P4 et P8) sont les plus alcalines avec un pH maximal de 8.18 au puits 2 de la 1ère campagne, ce qui confirme une clairement l'impact de l'invasion marine du biseau salé caractérisé par des pH basiques, tandis que l'eau de mer possède un pH alcalin d'environ 8.1

Les eaux de la partie centrale P5 et P7 possèdent les pH les moins alcalins avec une valeur minimale de 7.3 au puits 7 de la 2ème campagne. Une légère diminution du pH est observable depuis la 1ère jusqu'à la 2ème campagne suite à la diminution des concentrations des minéraux alcalins durant la fin du printemps.

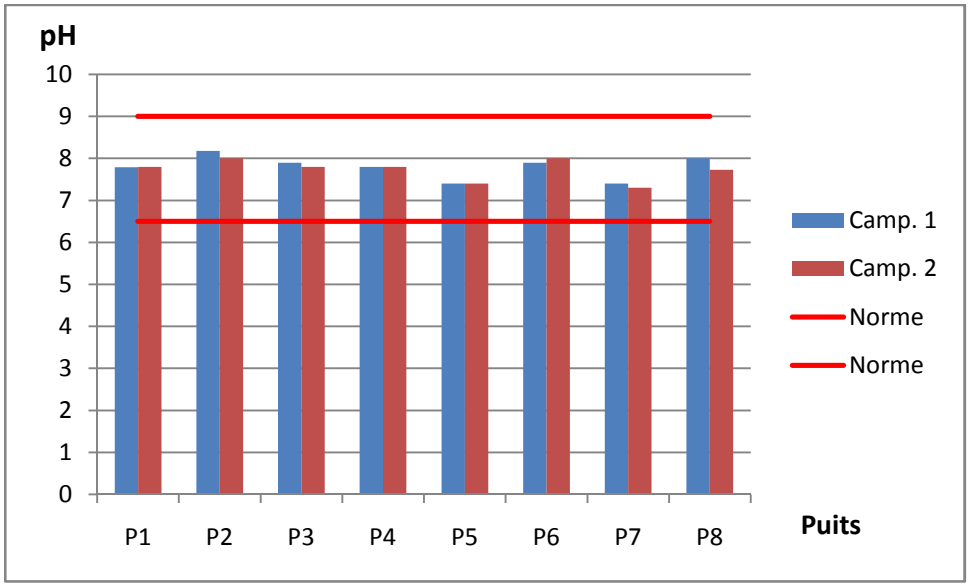


***Fig. 27-** Variation du pH.*

2.1.2 La conductivité électrique

D'après la Figure 27, on constate que les eaux de la nappe du sable et gravier de la de la plaine de Télezza ont ainsi une très bonne conductivité, elles ne dépassent pas les normes dans tous les puits pour les deux campagnes. Ainsi, un cas significatif est observé au niveau du puits P1 plus au Nord (conductivité maximale de 1685 de la 2ème campagne), où la conductivité est remarquable par rapport au autres puits, ce dernier ce trouve à coté de la mer Méditerranée sur quelques dizaines de mètres du littoral, ce qui confirme l'impact de l'invasion des eaux de mer à cet endroit (Fig. 28 et 29).

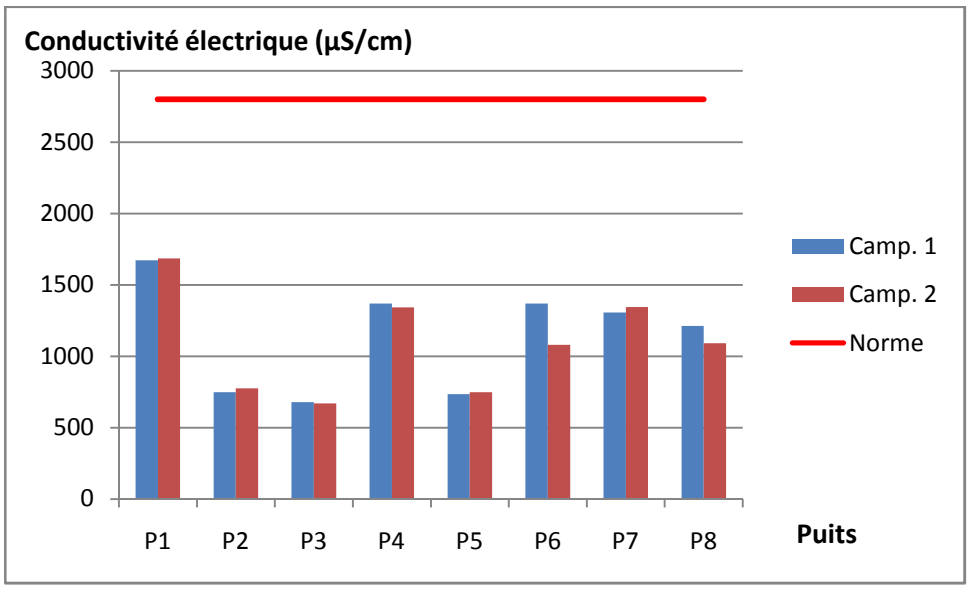


***Fig. 28**- Variation de la conductivité électrique.*

Les eaux de la 2ème campagne sont plus conductrices que celles de la 1ère, cela est dû au lessivage des formations du toit et du réservoir aquifère issues de l'infiltration d'une importante antécédente hauteur des eaux pluviales avec une dissolution remarquable de sels minéraux. Les eaux les plus conductrices sont celles du puits P1 (1102µS/cm) de la 2ème campagne, alors que la conductivité la plus faible est de 654µS/cm au puits P3 de Kerkera de la 1ère campagne. Ainsi, la conductivité diminue on allant du Sud vers le Nord.

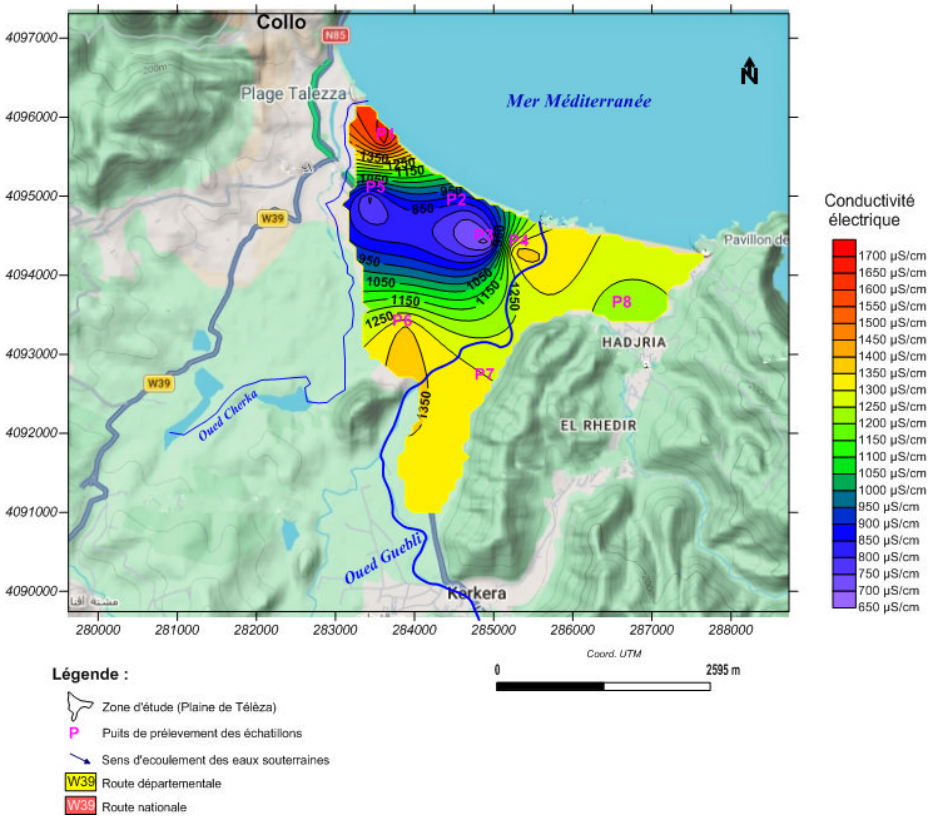


Fig. 29*- Distribution spatiale de la conductivité électrique de la 1ère campagne.*

2.1.3 La turbidité

La turbidité désigne la mesure de la clarté d'un liquide, ou plus précisément, son aspect trouble provoqué par une multitude de particules microscopiques qui ne se déposent pas immédiatement au fond et qui diffusent la lumière. Ces particules peuvent être : minérales, organiques ou vivantes :

Les eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza sont de bonne turbidité à l'exception des puits P7 et P8 (teneur maximale de 34.9 NTU à P7) situés à la partie Sud et Est de la zone d'étude, cela est due à l'effet du pompage appliqué dans ces puits par les habitants. Les eaux e la 2ème campagne sont légèrement turbides que celles de la 1ère par la même raison du pompage durant la 2ème période après un arrêt des précipitations fin du printemps ce qui conduit les utilisateurs à pomper pour irriguer leurs cultures largement réparties dans cette zone à vocation agricole. La teneur minimale est de 0.33 NTU au puits P5 de la 1ère campagne à l'Est, (Fig. 30).

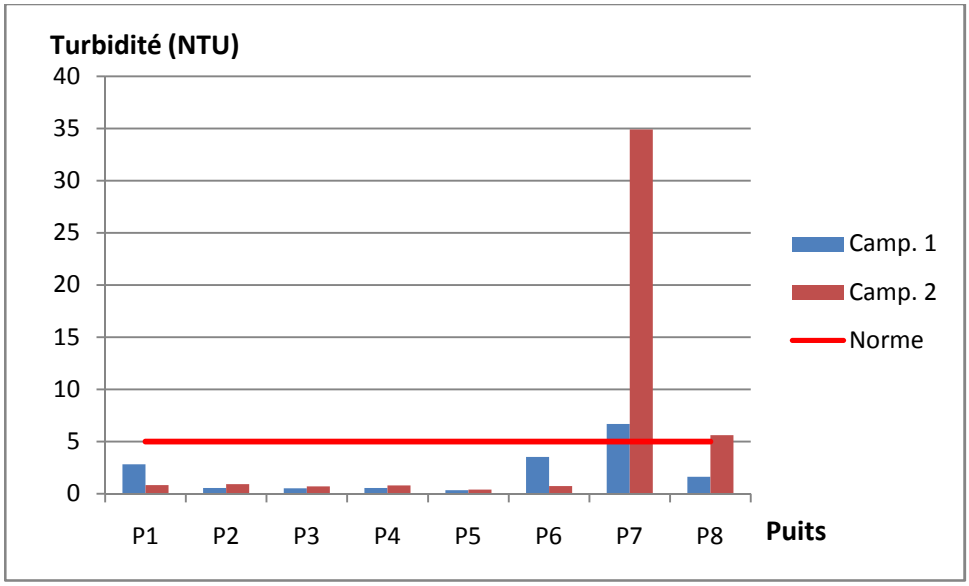


Fig. 30- *Variation de la turbidité.*

2.1.4 Le calcium

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potable et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux) (Rodier et *al*. 2009).

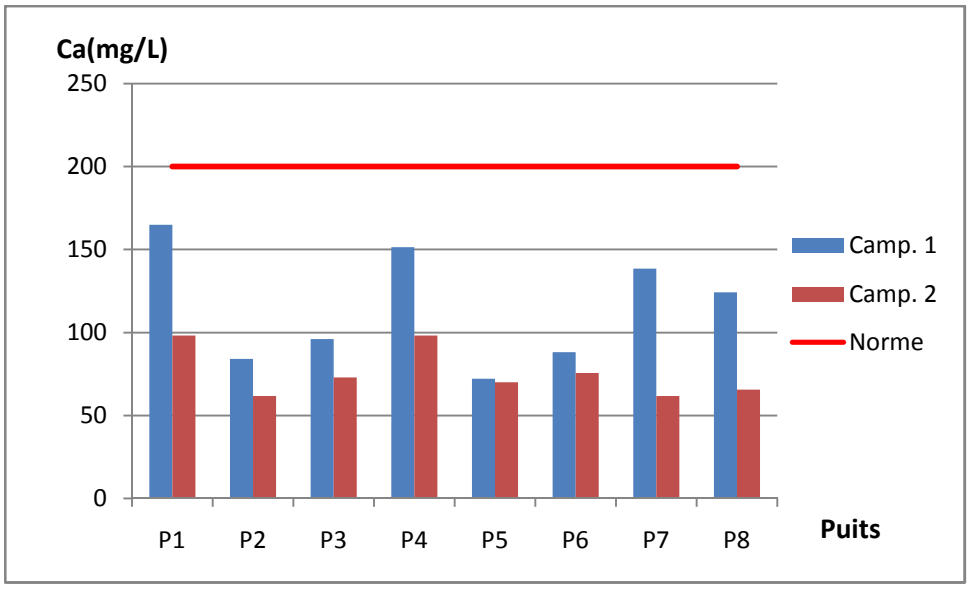


Fig. 31- *Variation des teneurs en calcium.*

Les eaux souterraines de la nappe étudiée possèdent des teneurs acceptables en calcium, les eaux de la 1ère campagne sont les plus riches en cet élément, ce qui marque une bonne solubilisation des minéraux carbonatées et dolomitiques facilement solubles par l'attaque même avec des acides faibles. La teneur maximale est de 165

mg/L au puits P1 plus au Nord de la 1ère campagne, alors que la concentration minimale est de 154 mg/L aux puits P2 au Nord et P7 plus au Sud, (Fig. 31).

2.1.5 Le magnésium

Autre élément qui constitue la dureté de l'eau, il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre, la plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau. La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires dolomitiques, dolomies,…). Pas de norme fixée pour cet élément, mais conseillée à ne pas plus que 50 mg/L.

Les concentrations sont bonnes, les eaux les plus riches en cet élément sont celles des puits P1 au Nord prés de la mer et P7 (47.6 mg/L) au Sud sur le piémont du massif montagneux. Le magnésium a la même origine avec le calcium (dissolution des roches carbonatées et dolomitiques), qui constituent tous les deux la dureté de l'eau, (Fig. 32). Vers le centre de la plaine de Télezza les teneurs en magnésium diminuent progressivement, ce qui traduit un faible lessivage de ces roches.

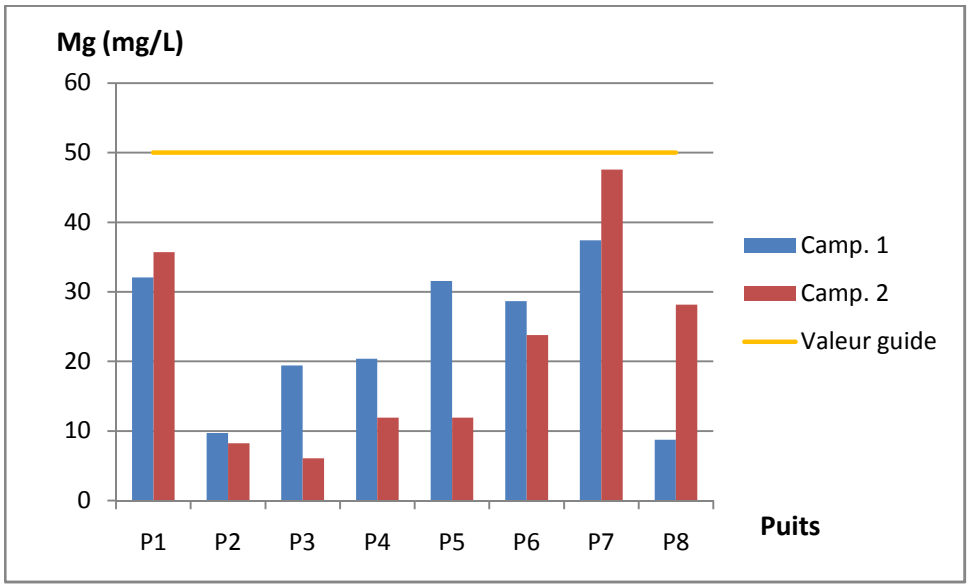


***Fig. 32**- Variation des teneurs en magnésium.*

2.1.6 Le Titre Hydrotimétrique total (THt)

La dureté de l'eau est un indicateur hydrochimique globalement confondu avec le Titre Hydrotimétrique total (TH). Elle reflète principalement la concentration en ions calcium et magnésium présents dans une eau.

Les eaux souterraines de la nappe du sable et gravier sont relativement dures, ce qui caractérise une forte concentration en minéraux de calcium en plus de magnésium due

au lessivage des roches carbonatées avoisinantes, mais leur teneur est acceptable et n'impact pas négativement leur qualité de potabilité. Les eaux de la 1ère campagne sont les plus dures que celles de la 2ème, suite à un hiver humide et précipitation abondante contribuant à la dissolution des roches carbonatées. Les eaux des puits à coté du littoral à l'Est (P1, P3, P4, P8) et du coté Sud de la plaine (P7) possèdent les duretés les plus remarquables avec une teneur maximale de 544 mg/L de $CaCO_3$ au puits P1 de la 1ère campagne, (Fig. 33).

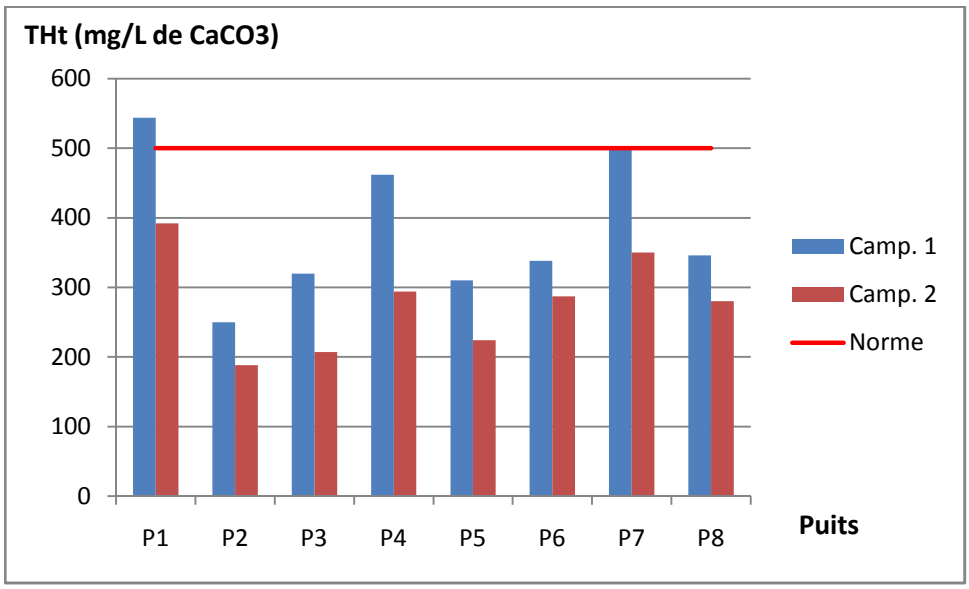


***Fig. 33**- Variation de la dureté de l'eau.*

2.1.7 Le sodium

Contrairement à d'autres ions, le sodium est extrêmement soluble et précipite rarement sous forme de sels secondaires dans les nappes, ce qui en fait un excellent traceur des processus géologiques et anthropiques.

Ses origines se classent principalement en trois grandes catégories :

- *Géologique (altération des silicates-Plagioclases-)* dans les aquifères cristallins (granites, gneiss), et la dissolution des Évaporites
- *hydrodynamique (marine) :* intrusion saline (Biseau salé) , les embruns marins et précipitations
- *Anthropique :* Les effluents agricoles et l'irrigation

Les teneurs de sodium sont acceptables dans tous les puits, les eaux souterraines de 2ème campagne sont plus concentrées en sodium que celles de la 1ère, après un hiver humides vers la fin du printemps durant la 2ème campagne les précipitations devient rares ce qui conduit à la concentration des sels dans les eaux. A noter que les eaux à

coté de littoral à l'Est (P1, P4, P8) et au Sud-Ouest (P6, P7) sont légèrement concentrées en cet élément du fait du voisinage de la mer et donc avancée du biseau salé pour les premiers et de la dissolution des minéraux silicatés de la couche argileuse riche en sels qui constitue le toit de la nappe du sable et gravier au Sud-Ouest pour les deuxièmes. La teneur maximale est de 35 mg/L au puits P1 de la 2ème campagne, alors que la concentration minimale est de 7 mg/L au puits P3 de la 1ère campagne, (Fig. 34).

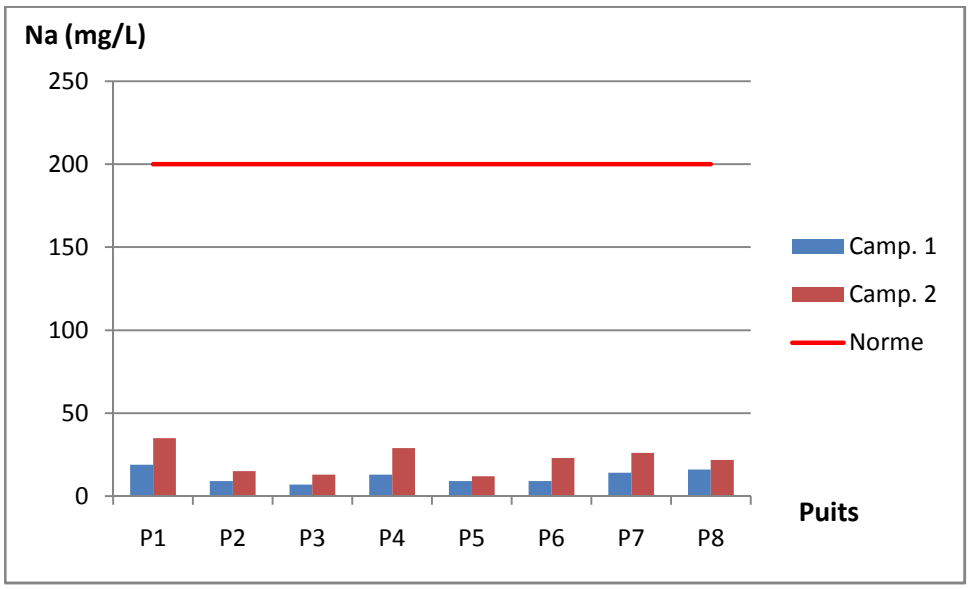


***Fig. 34**- Variation des teneurs en sodium.*

2.1.8 Le potassium

Il provient principalement de l'altération et de la dissolution de minéraux silicatés (comme les feldspaths et les micas) et de minéraux argileux présents dans les roches et les sols traversés, ainsi par l'usage intensif de fertilisants agricoles (engrais potassiques) et par les rejets d'eaux usées domestiques ou industrielle.

Les concentrations de potassium dans les eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza sont idéales dans tous les puits étudiés, la teneur maximale est de 2.8 mg/L au puits P1 au Nord de la 1ère campagne, alors que la minimale est de 0.6 mg/L à P7.

Les eaux de la deuxième campagne sont légèrement riches en cet élément que celles de la 2ème, (Fig. 35).

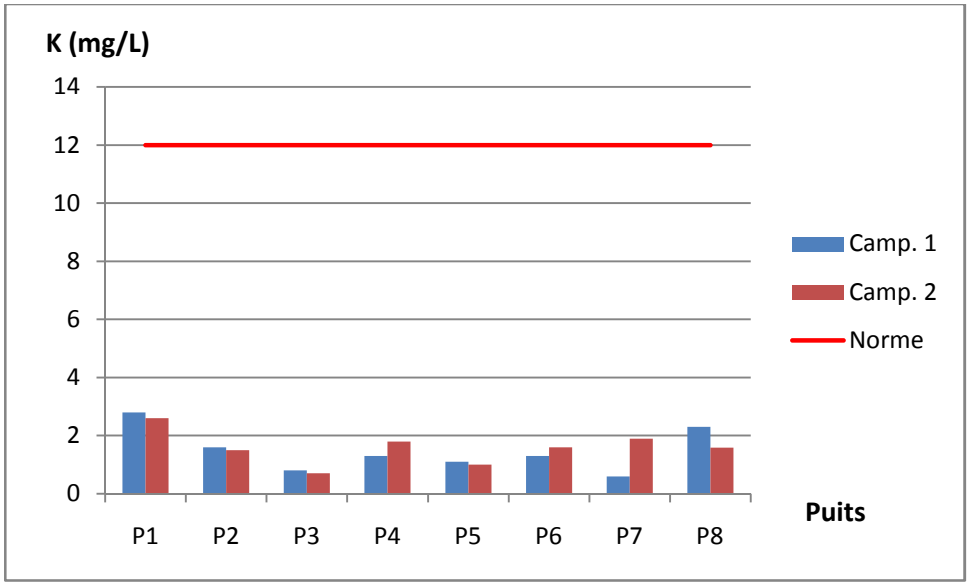


***Fig. 35**- Variation des teneurs en potassium.*

2.1.9 Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

L'analyse du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) dans les eaux souterraines de la nappe de la plaine de Télezza (Collo) met en évidence une variabilité spatiale des concentrations en bicarbonates (HCO_3^-), qui représentent les principales espèces alcalines mesurables par titrage dans les eaux naturelles lorsque le pH est compris entre 4,5 et 8,3, ce qui correspond aux conditions observées dans la région étudiée.

Les valeurs du TAC sont remarquablement stables et homogènes sur l'ensemble des puits (P1 à P8), se situant toutes légèrement en dessous de la valeur guide, aux alentours de 120 mg/L., Cette régularité indique un équilibre calcocarbonique stable au sein de l'aquifère et une minéralisation homogène liée à la nappe de sables et graviers durant la première campagne. Durant la 2ème campagne on observe une forte anomalie (P1, P2 et P8), les puits P1 et P2 affichent une augmentation spectaculaire, atteignant respectivement environ 320 mg/L et 290 mg/L, (Fig. 36 et 37) soit plus du double de la valeur guide qui peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs géologiques ou anthropiques :

- *Phénomène de recharge et lessivage (Effet saisonnier) :* si la Campagne 2 correspond à une période de hautes eaux (après de fortes pluies), l'infiltration de l'eau à travers une zone non saturée riche en matière organique ou en débris carbonatés peut enrichir l'eau en CO_2 biogénique qui dissout alors plus activement les minéraux carbonatés locaux.

- *Hétérogénéité lithologique locale :* pourrait être en contact plus direct avec des formations colluviales ou des lentilles plus riches en éléments calcaires.
- *Influences anthropiques :* des apports d'eaux usées domestiques ou d'effluents agricoles alcalins à proximité immédiate de ces puits spécifiques pourraient expliquer ces pics localisés en Campagne 2.

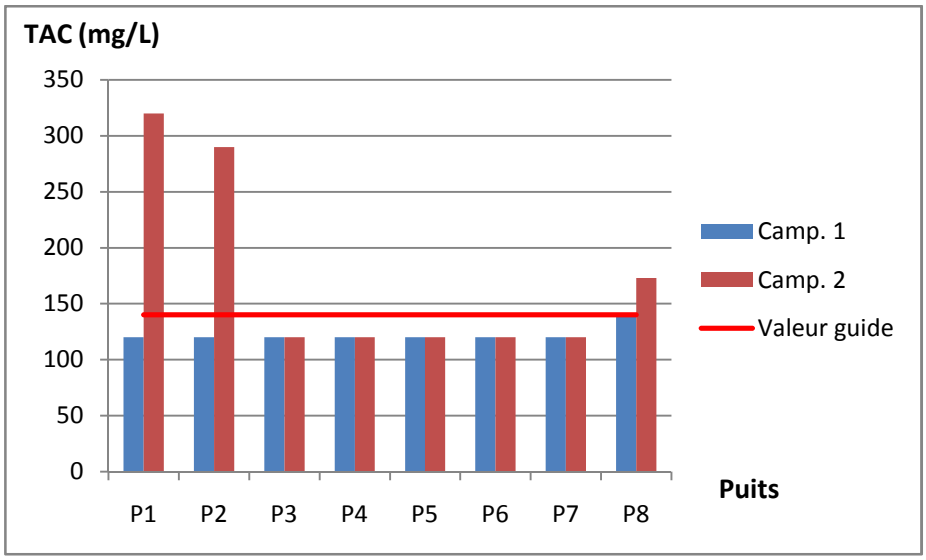


Fig. 36- *Variation du TAC.*

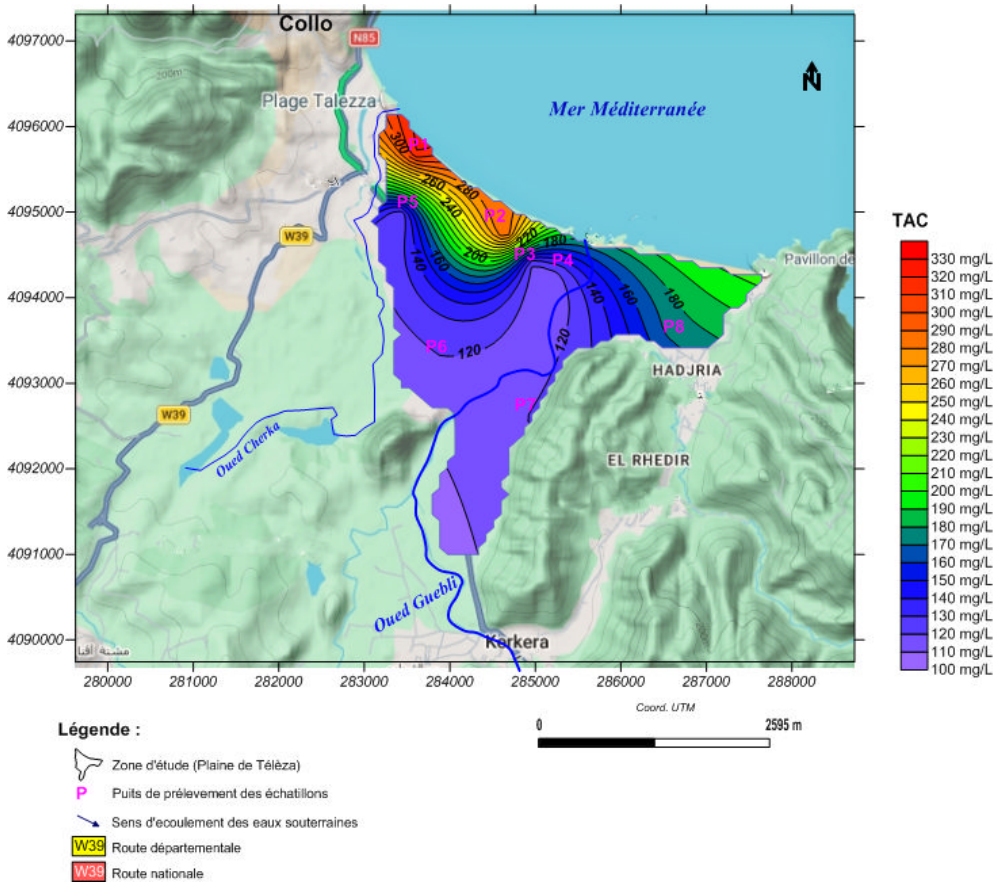


Fig. 37- *Distribution spatiale du TAC de la 2ème campagne.*

2.1.10 Le chlorure

Pour l'ensemble des puits et sur les deux campagnes, les concentrations en chlorures restent en dessous de la norme de 500 mg/L. L'eau reste donc réglementairement conforme vis-à-vis de ce paramètre. Durant la 1ère campagne les concentrations sont relativement basses et stables, oscillant entre environ 70 mg/L (P3, P5, P6) et 120 mg/L (P1, P4, P7, P8).

L'augmentation nette des chlorures lors de la Campagne 2 (Fig. 38) dans un environnement côtier et agricole s'explique par deux phénomènes majeurs bien connus :

- ***L'intrusion saline (Biseau salé) induite par le pompage :*** la plaine étant proche de la mer, la nappe de sable et gravier (très perméable) est particulièrement vulnérable à l'avancée de l'eau marine, les prélèvements intensifs d'eau pour l'irrigation agricole provoquent un rabattement de la nappe durant la fin de printemps et la rareté des précipitations qui crée un appel d'eau de mer (P1, P2, P4 et P8) situés au plus près du littoral. La partie littorale confirme cette avancée (Fig. 38).
- ***Le retour des eaux d'irrigation et l'impact agricole*** *suivant le sens d'écoulement des eaux souterraines (engrais comme le chlorure de potassium, KCl), marqué dans la partie Sud et centrale caractérisée par une vocation agricole et évacuation des eaux usées* (Fig. 39).

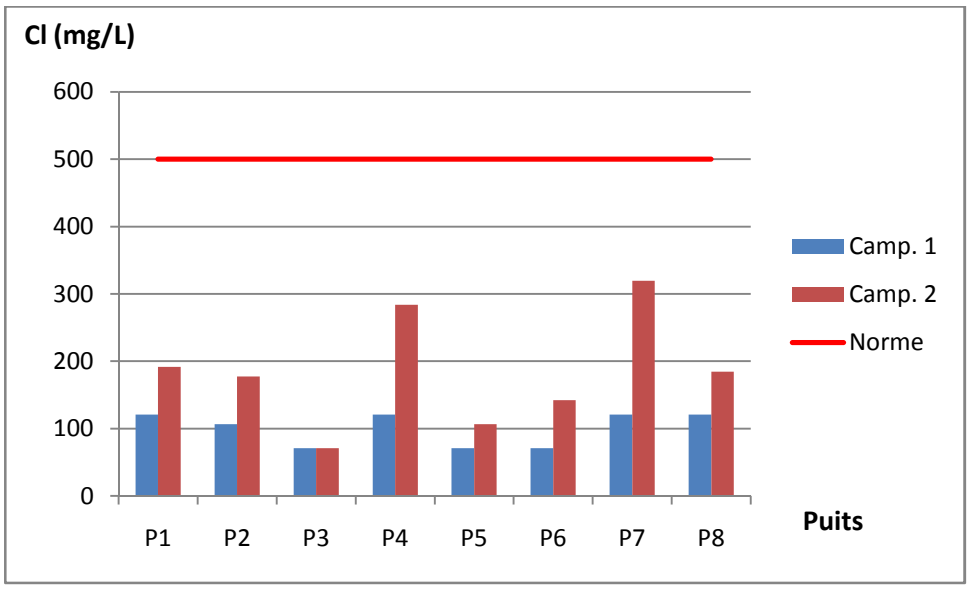


Fig. 38- *Variation des teneurs en chlorure.*

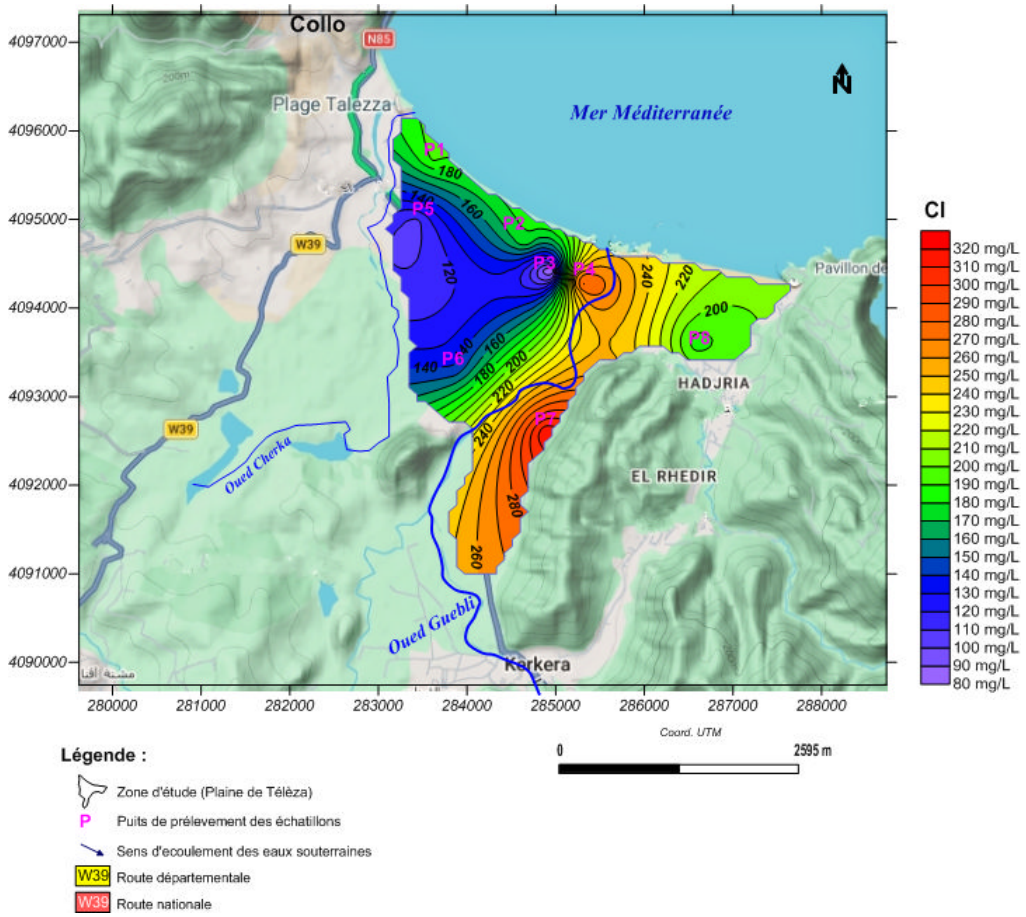


Fig. 39*- Distribution spatiale du chlorure de la 2ème campagne.*

2.1.11 Nitrate

Le contexte d'une plaine littorale à forte activité agricole s'avère ici déterminant pour décrypter ces données particulièrement alarmantes. À de rares exceptions près, la quasi-totalité des puits franchit le seuil critique des 50 mg/L, atteignant parfois des concentrations neurotoxiques ou hautement polluantes pour les écosystèmes, (Fig. 40).

La présence massive de nitrates dans une nappe sableuse et graveleuse (matrice très perméable, à forte conductivité hydraulique) est la signature typique d'une :

- ***pollution diffuse d'origine agricole :*** l'utilisation intensive d'engrais chimiques (urée, nitrate d'ammonium) ou organiques (lisiers, fumiers) conduit à un stock d'azote important dans le sol.
- ***Le rôle moteur du cycle hydrologique et du lessivage :*** l'augmentation drastique constatée en campagne 2 (notamment pour P1, P2, P3, P4, P8) de la partie Est de la plaine s'explique par un phénomène de lessivage qui succède une période de fortes précipitations ou à des cycles d'irrigation massifs et qui

suit le sens d'écoulement des eaux souterraines pour s'agglomérer à cet endroit (Fig. 41 et 25).

Ces eaux sont strictement impropres à la consommation humaine (risques de méthémoglobinémie chez les nourrissons et de toxicité générale).

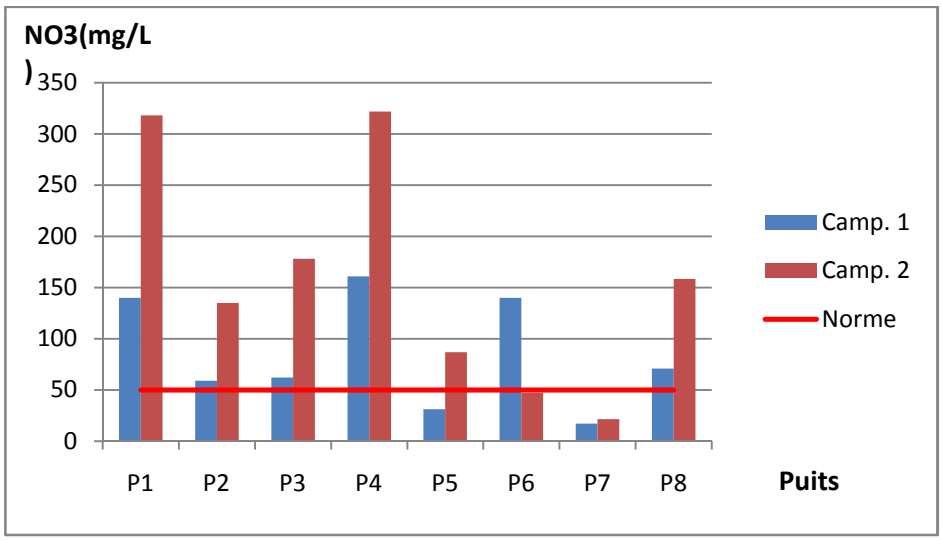


***Fig. 40**- Variation des teneurs en nitrate.*

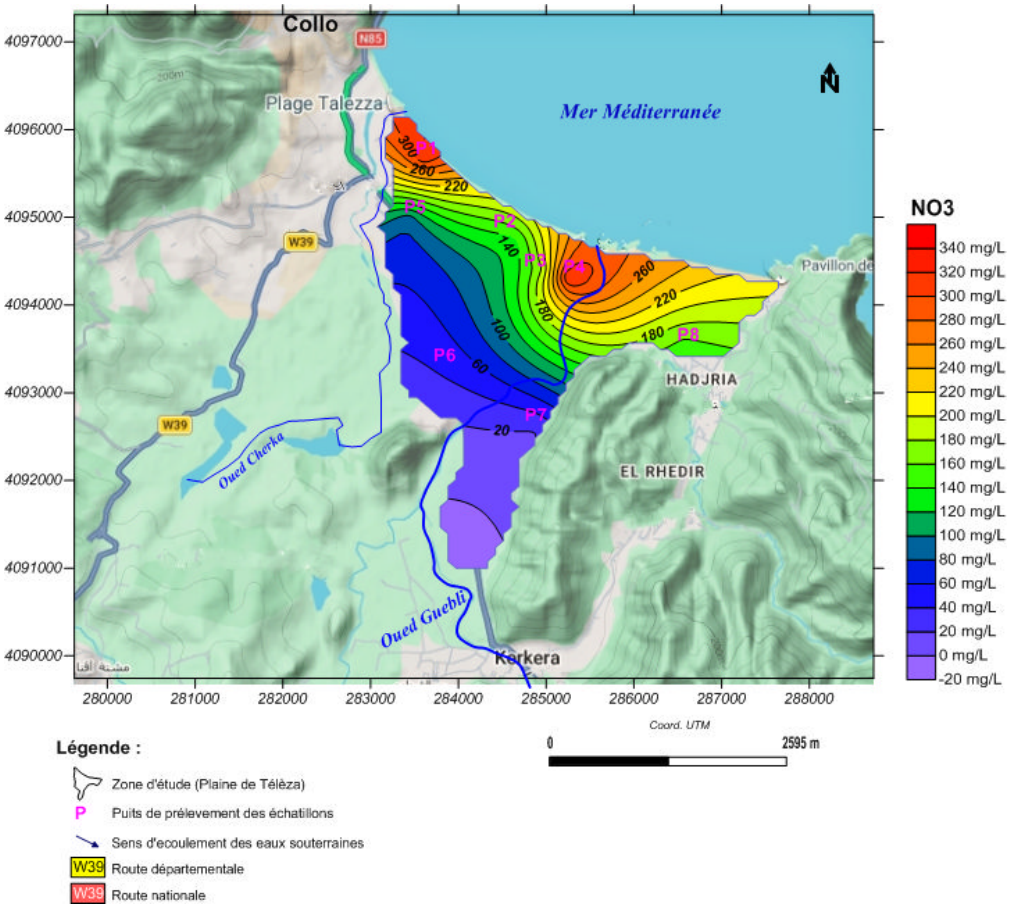


***Fig. 41**- Distribution spatiale du nitrate de la 2ème campagne.*

2.1.12 Nitrite

Le nitrite étant une forme intermédiaire et instable du cycle de l'azote, son comportement bimodal très marqué entre les deux campagnes livre des informations cruciales sur les conditions d'oxydoréduction (redox) au sein de l'aquifère.

Les concentrations des nitrites (Fig. 42) confirment que la plaine de Télezza subit une pression anthropique et agricole intense, mais que son expression chimique varie radicalement selon la saison :

- ***En période d'étiage ou de confinement (Campagne 1) :*** La pollution azotée stagne sous forme de nitrites (NO_2^-) hautement toxiques dans les secteurs à faible renouvellement d'oxygène (comme aux puits P1 avec 9.3 mg/L au Nord et P7 au Sud).
- ***En période de recharge/lessivage (Campagne 2) :*** L'oxygénation de l'aquifère balaie les nitrites (teneurs < 0.002 mg/L) en achevant leur oxydation, ce qui explique leur disparition au profit d'une pollution exclusive par les nitrates.

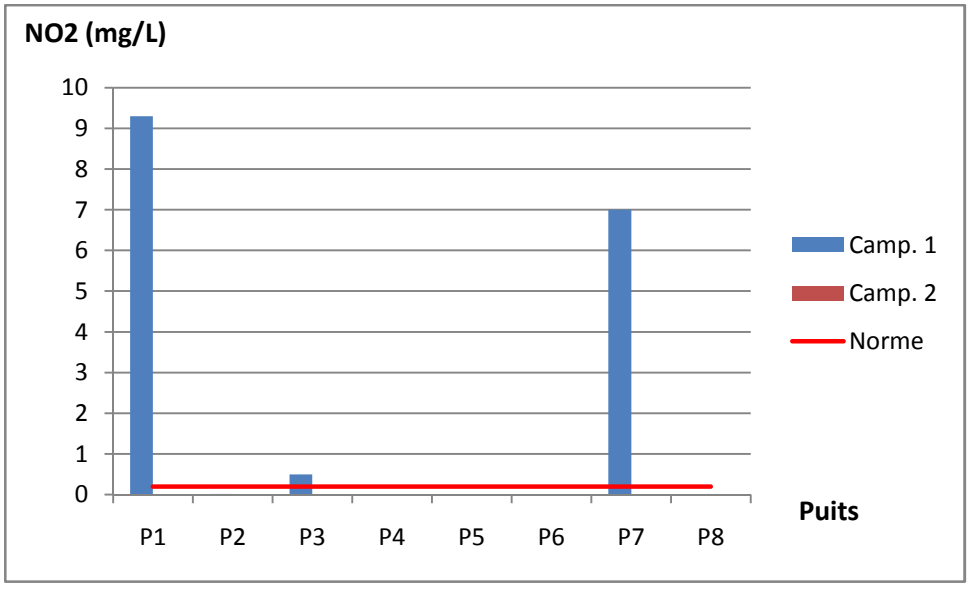


Fig. 42- *Variation des teneurs en nitrite.*

2.1.13 Phosphate

Dans la majorité des cas, on attribue la présence de phosphates dans les eaux aux rejets urbains et à la dissolution des fertilisants chimiques (NPK) (Bouakkaz, 2015).

On considère que les phosphates constituent l'un des nutriments contribuant de manière significative aux équilibres biologiques des eaux. Toutefois, un surcroît de

phosphates, lorsqu'il est combiné à l'azote des nitrates, les incite à devenir un élément déterminant dans l'eutrophisation. Effectivement, le phosphore sera relativement moins accessible que les autres éléments essentiels, quand il sera en état solubilisé et assimilable (Kerdoud, 2006).

Contrairement aux nitrates et aux nitrites analysés précédemment, les concentrations en phosphates sont extrêmement faibles et restent largement en dessous de la norme de 5 mg/L pour l'intégralité des puits et sur les deux campagnes (Fig. 43).

Le risque de non-conformité réglementaire pour ce paramètre est nul.

- ***Campagne 1 :*** les teneurs oscillent entre 0 mg/L (seuil de détection pour P4, P5, P6, P7) et un maximum très modeste de 0,04 mg/L au niveau des puits P3 et P8.
- ***Campagne 2 :*** Les valeurs demeurent au niveau de traces infimes, variant entre 0,001 mg/L (P1, P3, P4, P7) et un maximum de 0,009 mg/L (P2, P6).

On note une légère redistribution spatiale des concentrations entre les deux campagnes, mais celle-ci se fait à des échelles de valeurs tellement infimes (de l'ordre du millième de mg/L) qu'elle n'indique aucune tendance lourde de dégradation.

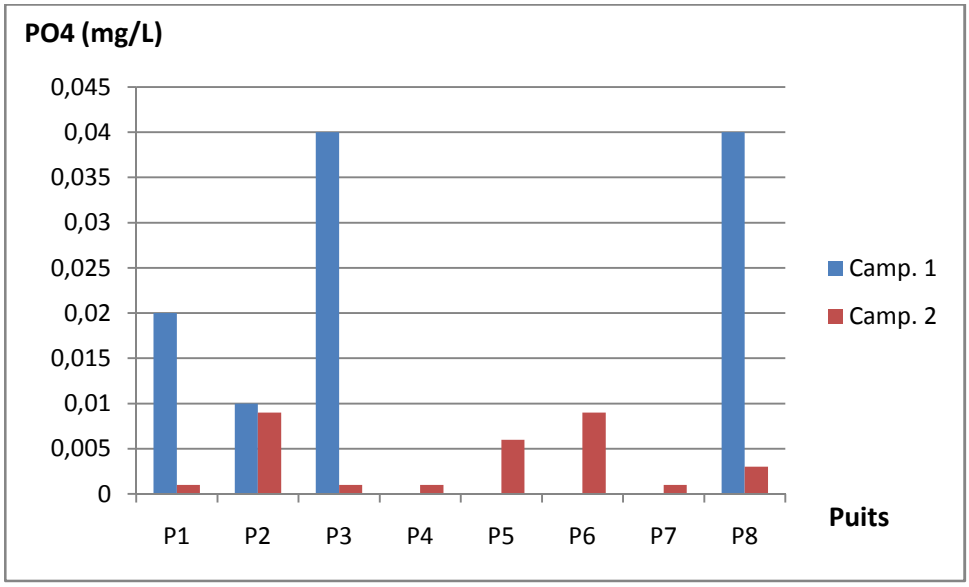


Fig. 43- *Variation des teneurs en phosphate.*

2.1.14 La demande biochimique en oxygène (DBO5)

L'oxydation des composés organiques biodégradables par des micro-organismes entraîne une consommation d'oxygène, donc la mesure de cette DBO permet d'évaluer la qualité d'une eau ou sont degré de pollution. La dégradation complète des matières organiques peut être relativement longue, d'autre part

l'oxydation des dérivées ammoniacaux et des nitrites en nitrates absorbe également de l'oxygène.

Les valeurs de la DBO varient selon les types d'eaux :

- de 0 à 10 mg/l : eau naturelle.
- de 10 à 50 mg /l : eau usée épurée.
- de 50 à 400 mg/l : eau usée domestique.
- > 400 mg/l : eau usée industrielle.

La matière organique particulaire ou les macromolécules carbonées issues des activités anthropiques (lisiers, eaux vannes) subissent un piégeage mécanique et une dégradation biologique intense lors de leur migration à travers le sol et la zone non saturée. La matrice de sable et gravier, bien que perméable, offre un parcours d'infiltration où l'activité microbienne aérobie consomme la matière organique avant qu'elle n'atteigne le niveau de la nappe piézométrique. Les teneurs sont bonnes pour la qualité des eaux potables à l'exception du puits P7 au Sud de la plaine où la concentration atteint 3 mg/L, ce puits est abandonné et n'est utilisé que rarement pour l'irrigation, (Tableau 3.

Tableau 3- *Teneurs en DBO5.*

Puits	Camp. 1	Camp. 2	Norme
P1	<1	<1	3
P2	<1	<1	3
P3	<1	<1	3
P4	<1	<1	3
P5	<1	<1	3
P6	<1	<1	3
P7	3	<1	3
P8	<1	<1	3

2.1.15 Les analyses bactériologiques

En matière de potabilité, les normes (comme celles de l'OMS ou les réglementations nationales) imposent une absence totale de germes témoins de contamination fécale (0 germe/100 ml pour les coliformes thermotolérants/fécaux, les streptocoques fécaux et surtout *E. coli*). Les coliformes totaux doivent également être absents ou respecter des seuils très stricts.

Tous les puits (P1 à P8) présentent des signes évidents de contamination bactériologique lors des deux campagnes de prélèvement (Camp. 1 et Camp. 2) :

- ***Coliformes totaux :*** Supérieurs à 100 (ou >>100) pour l'ensemble des puits.

- ***Coliformes fécaux :*** Présents (+) de manière quasi généralisée (seul le puits P6 affiche un zéro à la Camp. 1, mais devient positif à la Camp. 2).
- **E. coli / Streptocoques :** Plusieurs puits confirment une contamination fécale directe (notamment P2, P4, P5, P7 et P8).

L'eau de la totalité des puits (P1 à P8) est de mauvaise qualité pour la consommation humaine directe. Elle nécessite impérativement un traitement de désinfection (par chloration ou autre procédé) avant d'être considérée comme potable, (Tableau 4).

Tableau 4*- Résultats des analyses bactériologiques des puits étudiées.*

Puits	Coliformes totaux (n/100 ml)		Coliformes fécaux (n/100 ml)		Streptocoques fécaux (n/100 ml)		E. *Coli* (n/100 ml)		Justification principale	Qualité des eaux
	Camp. 1	Camp. 2	Camp. 1	Camp. 2	Camp. 1	Camp. 2	Camp. 1	Camp. 2		
P1	>100	>100	+	+	-	-	-	-	Coliformes totaux >100 et présence de coliformes fécaux (+).	***Mauvaise***
P2	>100	>100	+	+	-	-	+	+	Forte contamination fécale confirmée par la présence d'*E. coli* (+).	***Mauvaise***
P3	>100	>100	+	+	-	-	-	-	Coliformes totaux >100 et présence de coliformes fécaux (+).	***Mauvaise***
P4	>>100	>>100	+	+	-	1	+	+	Très forte charge bactérienne (>>100), présence d'*E. coli* (+) et de streptocoques (Camp. 2).	***Mauvaise***
P5	>100	>100	+	+	1	1	-	-	Coliformes totaux >100, coliformes fécaux (+) et présence de streptocoques fécaux.	***Mauvaise***
P6	>100	>100	0	+	-	1	-	-	Contamination par les coliformes totaux (>100) et dégradation à la Camp. 2 (apparition de coliformes et streptocoques fécaux).	***Mauvaise***
P7	>100	>100	+	+	-	-	+	+	Forte contamination fécale confirmée par la présence d'*E. coli* (+).	***Mauvaise***
P8	>100	>>100	+	+	-	1	+	+	Très forte charge bactérienne (>>100), présence d'*E. coli* (+) et de streptocoques (Camp. 2).	***Mauvaise***

2.2 Aptitude des eaux de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza à l'utilisation en irrigation des cultures

L'arrosage des plantations et des zones vertes, peu importe la source d'eau, nécessite une vigilance spécifique. La capacité de l'eau à véhiculer des éléments polluants soulève plusieurs difficultés majeures, y compris les questions de santé publique, de préservation des sols et de sauvegarde de l'environnement et des écosystèmes (Boudjebieur, 2022).

2.2.1 Éléments régissant l'emploi de l'eau en milieu agricole

Divers critères permettent d'évaluer la qualité de l'eau d'irrigation pour assurer une protection efficace et une croissance optimale des espèces végétales ainsi qu'une fertilité durable du sol. On peut citer parmi ces éléments :

2.2.1.1 Le Rapport d'Adsorption du Sodium « Sodium Adsorption Ratio » (SAR)

Un paramètre chimique essentiel pour évaluer la quantité d'eau suffisante pour l'irrigation, tel que le contenu en sodium ou le danger alcalin pour les cultures, s'exprime par le biais du taux d'adsorption de sodium (SAR). Il est essentiel de prendre en compte les ions calcium et magnésium car ils ont une propension à neutraliser l'effet du sodium.

Une plus grande concentration de SAR provoque une détérioration de la structure physique du sol (Tableau 7). Le sodium est adsorbé et se fixe aux particules du sol. Il devient donc dur et compact lorsqu'il est asséché et qu'il ne laisse pas passer l'eau (Wilcox, 1948).

Le rapport sodium sur calcium et magnésium permet le calcul du SAR, défini par la formule suivante :

$$\boldsymbol{SAR} = \frac{\boldsymbol{Na^{+}}}{\sqrt{\frac{\boldsymbol{Ca^{2+}} + \boldsymbol{Mg^{2+}}}{\boldsymbol{2}}}} \qquad (en\ \frac{méq}{l})$$

Toutes les concentrations sont exprimées en *milliéquivalents* de charge *par litre*. Les résultats sont représentés dans le Tableau 5.

***Tableau 5**- Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation.*

SAR		Notes
Nul	**< 3.0**	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau
Léger à modéré	**3.0 - 9.0**	Entre 3 et 6, une attention particulière doit être portée sur les récoltes sensibles. Entre 6 et 8 du gypse doit être utilisé. Récoltes non sensibles. Des échantillons de sol doivent être prélevés et examinés tous les 1 ou 2 jours pour déterminer s'il y a une augmentation des teneurs en Sodium.
Elevé	**> 9.0**	Dommage sévère.

***Tableau 6**- Résultats du SAR des eaux de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza pour la 1ère campagne.*

Points	SAR	Résultats
P1	0,14	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau
P2	0,10	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau
P3	0,07	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau
P4	0,11	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau
P5	0,08	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau
P6	0,08	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau
P7	0,11	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau
P8	0,16	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau

2.2.1.2 Pourcentage de sodium (Na %)

L'effet majeur qu'entraîne un excès de sodium sur la perméabilité du sol et l'infiltration de l'eau est indéniable. La substitution du calcium et du magnésium adsorbés sur les particules d'argile par le sodium entraîne la dispersion des particules du sol. Ainsi, lorsque le sol est sec, il devient dur et compact avec un éclatement des agrégats qui provoque une imperméabilité excessive à l'eau.

Le calcul du taux de sodium soluble tient compte des proportions relatives des cations présents dans l'eau, avec les concentrations d'ions exprimées en milliéquivalent par litre (méq/L) :

$$Na = \frac{Na^{+} + K^{+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+}} \times 100 \quad (en\ \%)$$

D'une manière générale, le pourcentage de Na ne devrait pas dépasser 60% (Peiyue et al., 2014) dans les eaux d'irrigation, (Tableau 7).

Tableau 7- *Classification des eaux d'irrigation selon le pourcentage de sodium.*

Classe	Très bonne	Bonne	Admissible	Médiocre	Mauvaise
% Na	< 20	20 - 40	40 -60	60 -80	> 80

Les valeurs calculées de Na% vont de 1,71 % au minimum à 3,92 % au maximum, avec une moyenne de 2.48 %, ce qui implique que les eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza sont de très bonne qualité en ce qui concerne leur teneur en sodium, (Tableau 8).

Tableau 8- *Pourcentage de sodium soluble dans les eaux de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza.*

Puits	**% Na**	**Conséquences de l'utilisation de l'eau pour l'irrigation**
P1	**2,77**	Pas de risque (Très bonne)
P2	**3,03**	Pas de risque (Très bonne)
P3	**1,71**	Pas de risque (Très bonne)
P4	**2,26**	Pas de risque (Très bonne)
P5	**2,08**	Pas de risque (Très bonne)
P6	**2,00**	Pas de risque (Très bonne)
P7	**2,03**	Pas de risque (Très bonne)
P8	**3,92**	Pas de risque (Très bonne)

2.2.1.3 La méthode de Richards (Riverside)

Il met en évidence différentes classes d'eau qui ont été définies sur la base du taux d'absorption de sodium (S.A.R) et sur la concentration de l'eau sous la forme de la conductivité électrique. On peut trouver les classes suivantes (Tableau 9) :

Tableau 9- *Classification des eaux d'irrigation par le diagramme de Richards.*

Degré	Qualité	Classe	L'état d'utilisation
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité.
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions. Sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

– ***Principes de lecture du diagramme***

Le diagramme de Riverside (Fig. 44) croise deux paramètres fondamentaux pour déterminer le risque de dégradation des sols et de toxicité pour les cultures :

L'axe des abscisses (X) : Le danger de salinisation (Conductivité Électrique - CE), divisé ici en classes d'intensité (de 0 à 5).

L'axe des ordonnées (Y) : Le danger d'alcalinisation (Pouvoir alcalinisant - SAR), représente le taux d'adsorption du sodium (*Sodium Adsorption Ratio*), divisé en trois classes majeures visibles sur ce graphique : Faible 1, Moyen 2, et Fort 3.

– ***Localisation et Classification des Échantillons***

Tous les points de prélèvement (P1 à P8) sont regroupés dans la partie inférieure droite du graphique. Ils présentent une caractéristique commune majeure : un *SAR très faible* associé à une conductivité élevée.

La répartition précise des échantillons selon les classes du diagramme sont deux :

- <u>*Groupe 1 :*</u> Échantillons P2, P3 et P5 (Classe C2-S1), puits de la partie Nord de la plaine de Télezza :

  Conductivité (CE) : Classe 3, Salinité élevée.

  SAR : Proche de 0, Classe Faible 1.

Conclusion : Ces eaux entrent dans la catégorie **C2-S1,** BONNE pour l'irrigation.

- *Groupe 2 :* Échantillons P1, P4, P6, P7 et P8, **Classe C3-S1**, puits de la partie Sud de la plaine de Télezza :

  Conductivité (CE) : Classe 3.

  SAR : Restant extrêmement faible, inférieur à 1 (Classe Faible 1).

  Conclusion : Ces eaux entrent majoritairement dans la catégorie **C3-S1**, ADMISSIBLE à l'irrigation.

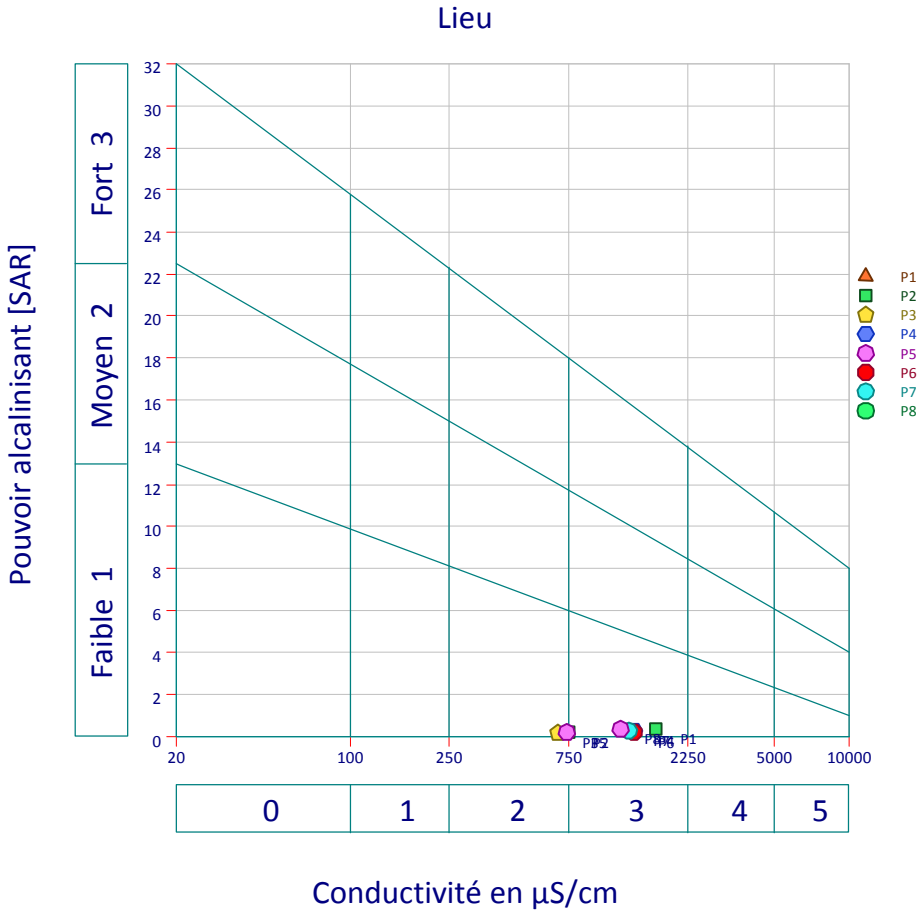


Fig. 44- *Classification des eaux de la nappe superficielle du sable et gravier de la plaine de Télezza de la 1ère campagne par la méthode de Richards (Riverside).*

2.2.1.4 La méthode de Wilcox

Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium. Ce diagramme permet d'évaluer l'adéquation d'une eau pour l'irrigation en fonction de sa conductivité électrique et du pourcentage de sodium, il est défini par la relation :

$$Na = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100 \quad (en\ \%)$$

Cette classification définit cinq classes d'eau qui sont : Excellente – Bonne – Admissible - Médiocre – Mauvaise.

Le diagramme de la classification de Wilcox (Fig. 45), montre que les eaux de la nappe *du sable et gravier de la plaine de Télezza* appartiennent à DEUX classes :

- ***Classe des eaux Excellente*** *à l'irrigation : puits P2, P3 et P5 au Nord de la région.*
- ***Classe Bonne*** *: puits P1, P4, P6, P7 et P8 situés centre et au Sud de la plaine de Télezza.*

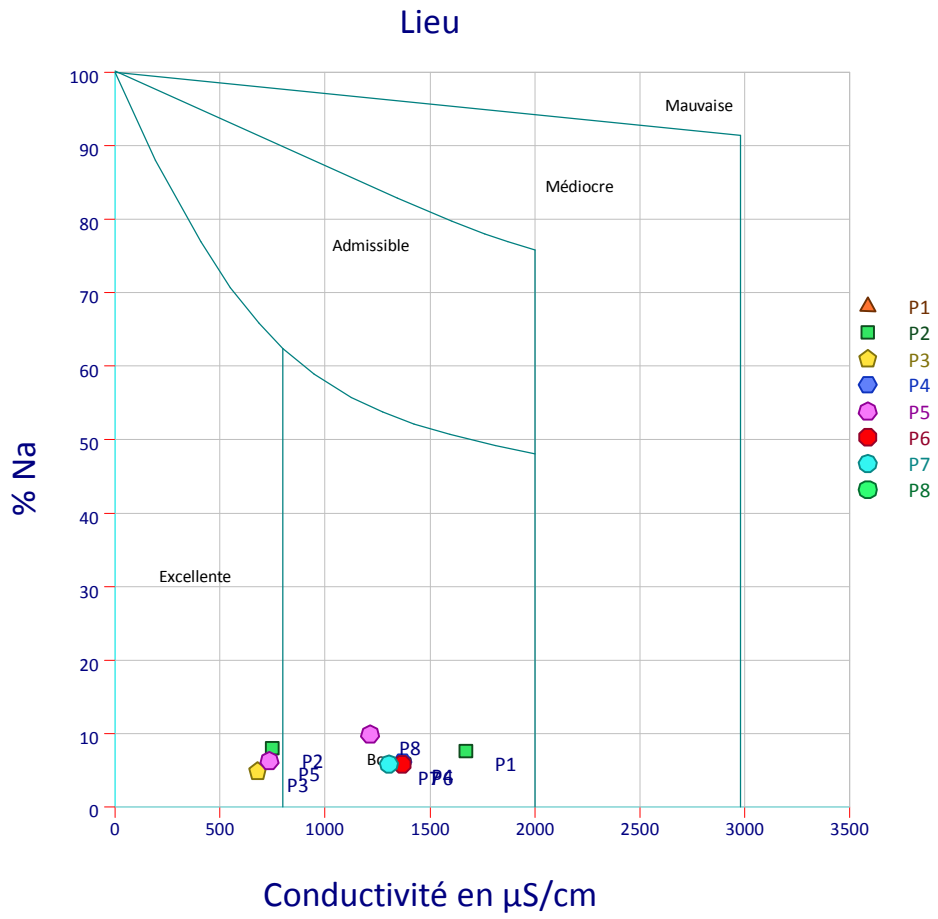


Fig. 45- *Classification des eaux de la nappe superficielle du sable et gravier de la plaine de Télezza (1ère campagne) par la méthode de Wilcox.*

Risque agricole : *Pour l'irrigation, des teneurs en chlorures supérieures à 140–200 mg/L déjà trouvées dans les eaux des puits P1, P2, P4, P7 et P8 du côté littorale et Sud de la plaine peuvent causer des problèmes de toxicité pour les cultures sensibles (brûlures des feuilles) et contribuer à la salinisation des sols à long terme, réduisant leur rendement.*

3 Détermination des faciès chimiques

Pour la caractérisation des faciès chimiques de la nappe d'eau souterraine composée de sable et gravier de la plaine de Télezza, on utilise diverses techniques et représentations graphiques.

3.1 Faciès chimique de la 1ère campagne

3.1.1 Faciès chimiques par le diagramme de Piper

D'après le diagramme de Piper (1944), toutes les eaux souterraines de la nappe du sable et gravier *de la plaine de Télezza* possèdent un faciès *hyper chlorurée calcique et hyper sulfatée calcique*, (Fig. 46).

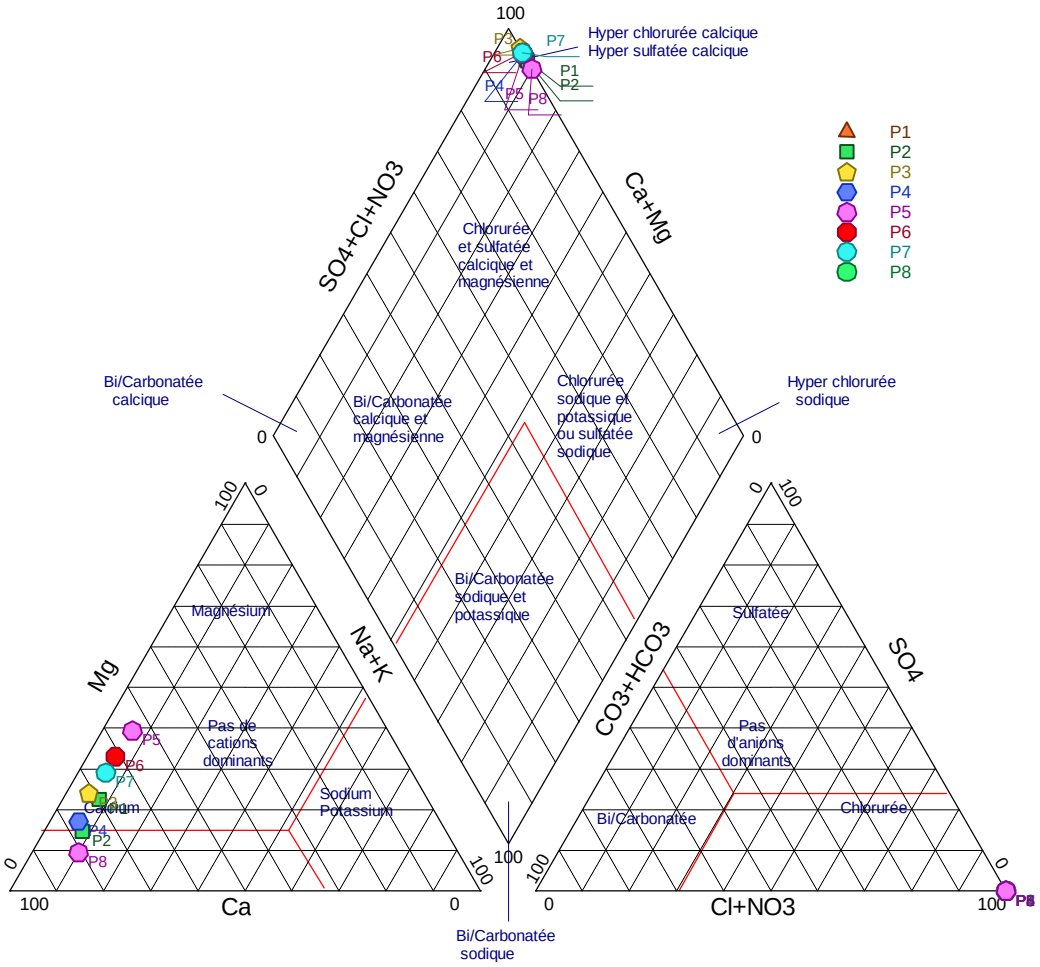


***Fig. 46**- Faciès chimique des eaux souterraines de la 1ère campagne d'après le diagramme de Piper dans la nappe su sable et gravier de la plaine de Télezza.*

Le faciès *Chloruré calcique* est un indicateur hydrogéologique classique dans les plaines côtières (comme celle de Collo/Télezza), ce qui indique que ces eaux résultent souvent d'une *minéralisation naturelle par dissolution des formations rocheuses*

(carbonates et évaporites), fortement marquée par des *processus hydrochimiques littoraux* (l'intrusion marine directe apporte des eaux chlorurées sodiques, le passage à un faciès chloruré calcique s'explique par un phénomène *d'échange de bases par les argiles qui adsorbe le Na et libèrent le Ca)*, à laquelle se superpose potentiellement *une vulnérabilité face aux activités de surface* (nitrates/pollutions).

3.1.2 Faciès chimiques par le diagramme de Stiff

Le diagramme de Stiff (1951) permet d'obtenir une figure géométrique polygonale caractéristique d'une famille d'eau donnée. Les données d'analyse des ions majeurs sont reportées sur des axes horizontaux de part et d'autre de l'axe vertical d'origine. Les cations sont représentés à gauche (Na^++ K^+, Ca^{2+} et Mg^{2+}) et les anions à droite (Cl^-, HCO_3^- + CO_3^{2-}, SO_4^{2-}+NO_3^-).

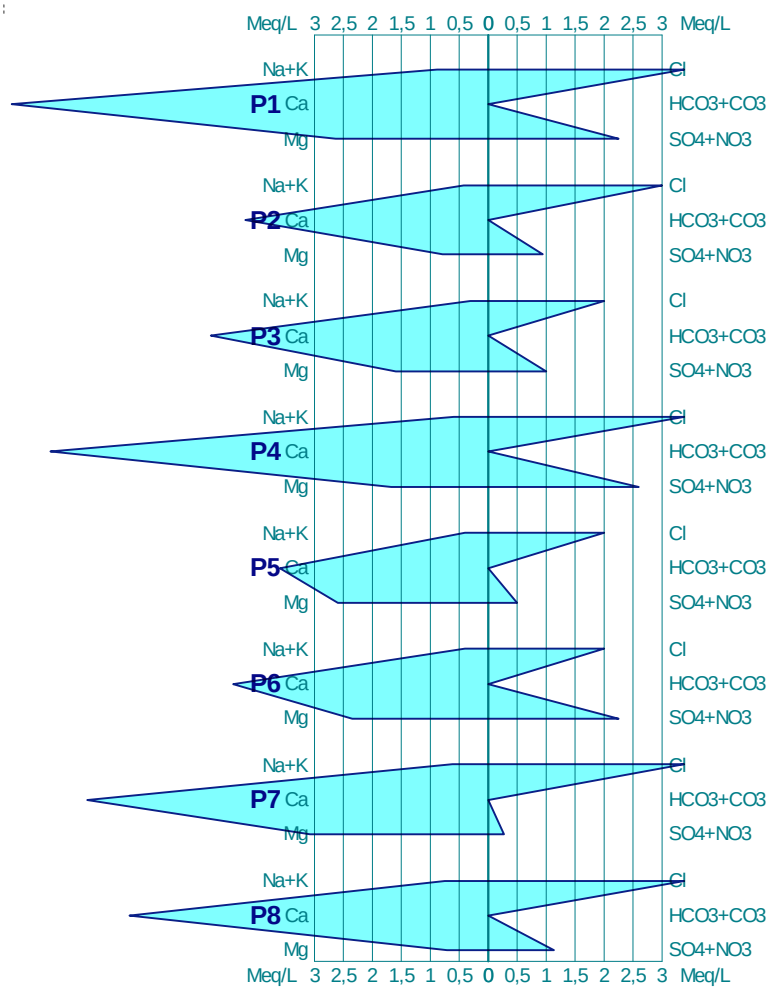


Fig. 47- *Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza de la 1ère campagne d'après le diagramme de Stiff.*

D'après la Figure 47 ; le faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza est *chloruré calcique* dans les sept puits de prélèvement P1, P2, P3, P4, P7 et P8 et d'un degré moindre un faciès *sulfatée calcique* au puits P6 à l'Ouest de la région.

- ***Homogénéité de la nappe :*** Le fait que tous les polygones adoptent exactement la même morphologie prouve que les eaux souterraines de la plaine de Télezza circulent au sein d'une *entité hydrogéologique unique*, régie par les mêmes interactions eau-roche (dissolution des carbonates pour le pôle calcique et les mêmes influences limitrophes (phénomènes d'échanges de bases inverses liés au contexte littoral pour le pôle chloruré, l'aquifère a fixé le sodium de l'eau en échange du calcium, qui lui, s'exprime par cette immense extension horizontale).

3.1.3 Faciès chimiques par le diagramme de Schoeller-Berkaloff

D'après ce diagramme (Schoeller, 1962), Le pôle calcique est largement prédominant, validant l'hypothèse d'une minéralisation fortement liée à l'environnement sédimentaire carbonaté de la plaine, ces eaux partagent une origine géochimique commune. Les concentrations en chlorure s'établissent de manière très resserrée, les chlorures représentent l'anion dominant pour l'essentiel des points ce qui prouve l'existence du phénomène *d'échange de bases inverse* où la couche argileuse du toit de l'aquifère semi-libre s'est approprié le Na^+ et a libéré le Ca^{2+} dans l'eau, bien que les sulfates maintiennent un niveau notable, (Fig. 48).

Les eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza présentent les faciès dominant : *Chloruré calcique et Chloruré et sulfaté calcique*.

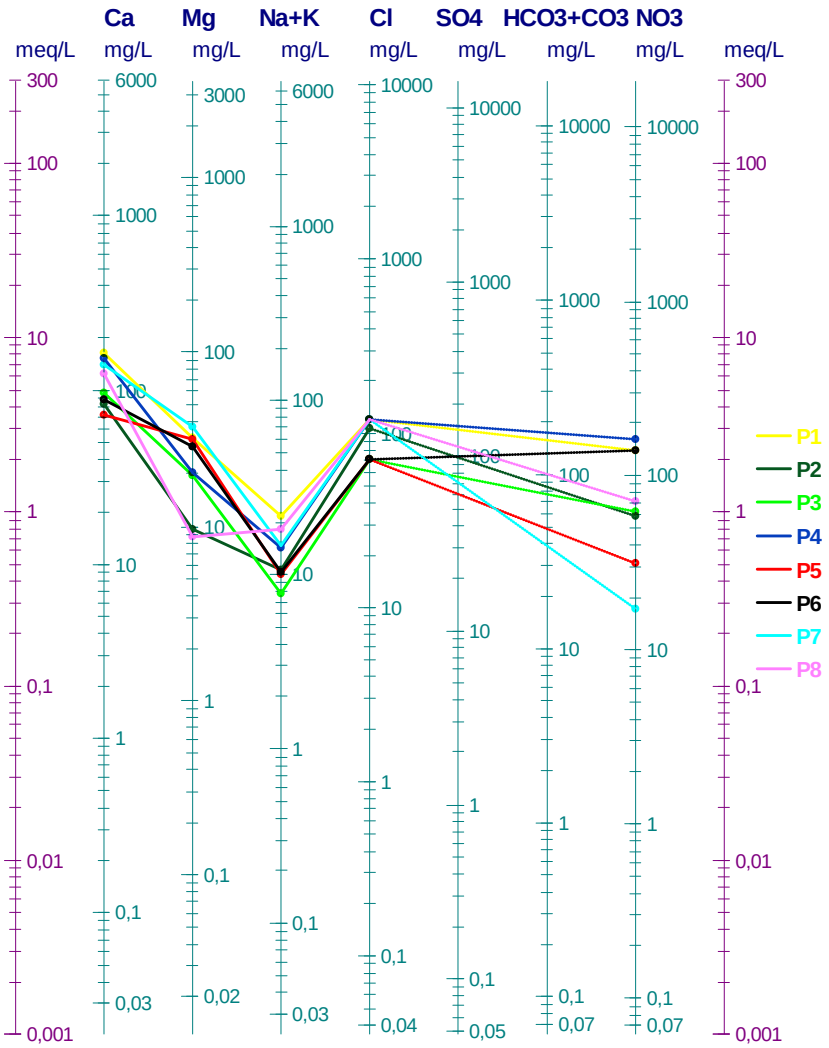


Fig. 48- *Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza pour la 1ère campagne d'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff.*

3.1.4 Faciès chimiques par le diagramme de Stabler

Le diagramme de Stabler est utilisé pour déterminer rapidement les différents titres d'une eau (titre d'alcalimétrie, titre en sels d'acides forts et titre d'hydrotimétrie). Pour cela les concentrations en méq/L des anions et des cations sont reportées sur deux barres ou colonnes distinctes de même longueur, les concentrations étant reportées en %. La détermination des différents titres est alors visuelle.

D'après la Figure 49, on remarque :

- *Prédominance massive du Calcium* qui occupe systématiquement la plus grande partie de la section des cations.

- *Dominance des Chlorures* qui occupent la majeure partie de l'espace anionique sur l'ensemble des points, confirmant l'importance de la salinité d'origine marine ou évaporitique.

On peut classer précisément les nuances de faciès pour chaque point de la plaine de Télezza :

– *Faciès dominant : <u>Chloruré calcique</u>* ***:*** Pour les eaux des puits P7, P8, P2, P3 et P5. C'est l'expression directe du phénomène d'échange de bases inverse en zone littorale (fixation du sodium sur les argiles, libération du calcium).

– *Faciès anthropisé : <u>Chloruré-Nitraté calcique</u>* aux puits P1, P4 et P6, la proportion de nitrates est si importante qu'elle modifie le faciès strict de l'eau.

Signification hydrogéologique : Cela met en évidence une vulnérabilité locale très marquée de la nappe face aux ***pollutions de surface*** (lessivage d'engrais agricoles azotés ou infiltrations d'eaux usées domestiques).

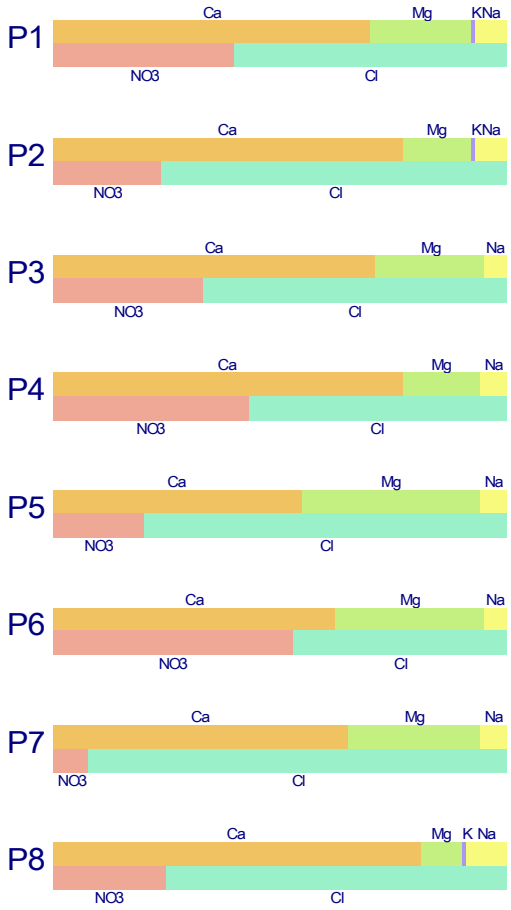


Fig. 49- *Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza de la 1ère campagne d'après le diagramme de Stabler.*

3.2 Faciès chimiques de la 2ème campagne

Suite aux ressemblances des différents diagrammes de la détermination des faciès chimique, on s'intéresse sur la présentation de deux digrammes uniquement :

3.2.1 Faciès chimiques par le diagramme de Schoeller-Berkaloff

Dominance des Cations : On note une forte présence de Calcium et de Magnésium.
Dominance des Anions : Les concentrations en chlorures et en bicarbonates + carbonates sont relativement élevées, tandis que les Sulfates affichent des valeurs plus faibles, (Fig. 50).

Le Faciès Principal : La majorité des profils indique un faciès de *type Chloruré calcique et magnésien à Bicarbonaté calcique.* C'est le reflet typique du lessivage des minéraux carbonatés. Néanmoins, l'aquifère subit une double pression anthropique bien visible : une contamination agricole par les nitrates et, sur certains points aval, les prémices d'une salinisation par intrusion marine due aux pompages.

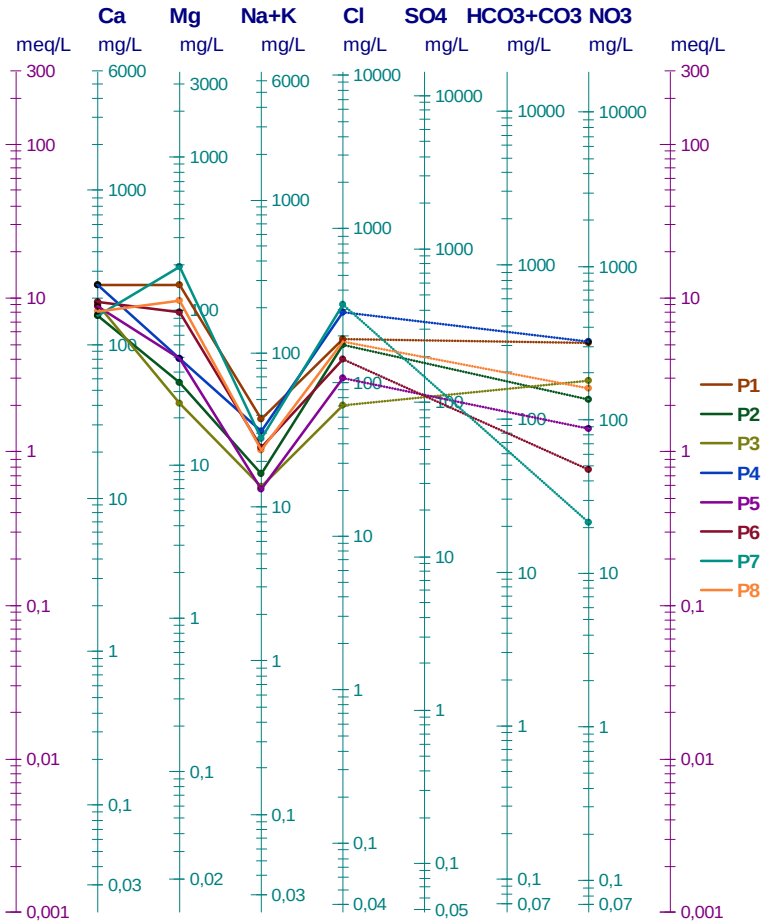


***Fig. 50**- Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza pour la 2ème campagne d'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff.*

3.2.2 Faciès chimiques par le diagramme de Stabler

- Le Faciès dominant est *Chloruré Calcique et Magnésien* C'est le faciès le plus représenté sur la majorité des points de prélèvement (notamment P1, P2, P6, P7 et P8 à l'extrême Nord et la partis plus au Sud de la plaine).
- Le Faciès *Nitraté Calcique et Magnésien* à une Dominance locale, Ce faciès s'individualise de façon flagrante sur les points P3, P4 et P5. Ce faciès anthropique met en évidence une forte pollution agricole, (Fig. 51)**.**

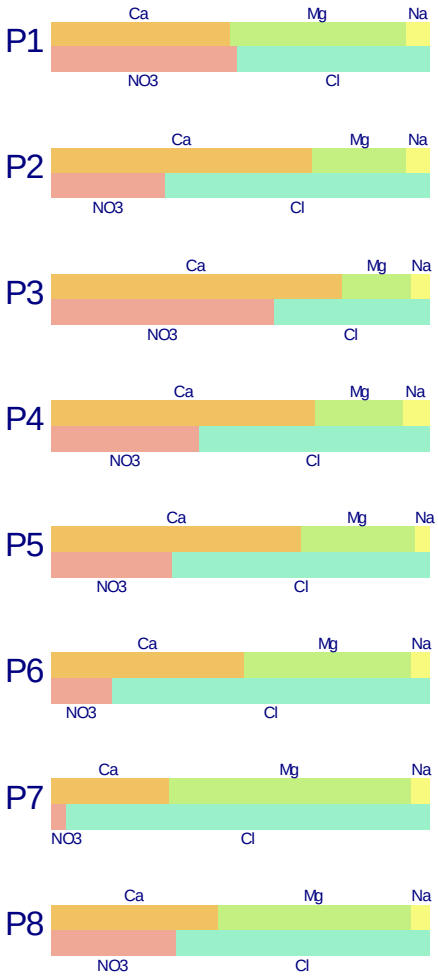


Fig. 51- *Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la plaine de Télezza de la 2ème campagne d'après le diagramme de Stabler.*

CONCLUSION GÉNÉRALE

Au terme de cette étude consacrée à la caractérisation hydrochimique et bactériologique de la nappe phréatique d'âge Quaternaire de sable et gravier de la plaine de Télèza (Collo, Algérie), plusieurs conclusions majeures et complémentaires ont pu être dégagées. Ce travail de recherche a permis de dresser un diagnostic précis de l'état quantitatif et qualitatif d'une ressource en eau souterraine stratégique, soumise à de fortes pressions naturelles et anthropiques.

Sur le plan hydrogéologique, les études ont confirmé l'existence d'un réservoir alluvial unique mais structurellement bimodal. La nappe présente un comportement libre sur la frange littorale (épaisseur ~ 20 mètres) avant de transiter vers une structure semi-libre au Sud-Ouest, surmontée par un toit limono-argilo-sableux plus mince. L'analyse de la piézométrie met en évidence un réseau d'écoulement global du Sud vers le Centre puis le Nord (la mer) et du Nord (la mer) vers le centre de la plaine. Si l'alimentation principale est assurée par l'infiltration directe des eaux pluviales et le drainage des massifs montagneux périphériques, le cœur de la plaine se comporte comme une zone de dépression et d'accumulation majeure (niveau piézométrique < du niveau de la mer, favorisant une avancée préoccupante du biseau salé marin vers l'intérieur du continent, un phénomène exacerbé par les pompages intensifs).

L'approche hydrochimique, menée à travers deux campagnes d'échantillonnage distinctes, révèle une minéralisation intimement liée à la lithologie locale et aux dynamiques saisonnières. Les paramètres globaux tels que le pH et la conductivité électrique respectent globalement les normes pour l'eau potable. L'altération des formations carbonatées et dolomitiques environnantes confère à l'eau un caractère relativement dur, marqué par des teneurs acceptables mais prononcées en calcium et magnésium, principalement en période de hautes eaux où le lessivage acide est maximal. De même, l'instabilité saisonnière du Titre Alcalimétrique Complet (TAC) et l'élévation des chlorures lors de la seconde campagne confirment l'effet conjugué de la concentration des sels en fin de printemps et de l'appel d'eau de mer induit par l'irrigation. Sur le plan chimique, la quasi-totalité des puits franchit le seuil critique de 50 mg/L en nitrates. Cette pollution diffuse, d'origine typiquement agricole (engrais azotés) et domestique, est favorisée par la forte perméabilité de la nappe de sable et gravier. Le comportement des nitrites, qui stagnent à des seuils toxiques lors de la première campagne avant de s'oxyder en nitrates lors de la recharge, valide cette

dynamique de transit rapide des polluants. Sur le plan bactériologique, le constat est tout aussi sévère : la présence généralisée et massive de coliformes totaux, de coliformes fécaux, de streptocoques et d'*Escherichia coli* atteste d'une contamination fécale directe et continue. En conséquence, les eaux de la nappe de la plaine de Télèza sont catégorisées comme strictement *impropres à la consommation humaine directe* sans un traitement préalable de désinfection.

En revanche, l'évaluation de l'aptitude des eaux à l'usage agricole offre des perspectives beaucoup plus favorables. Les indices chimiques calculés, tels que le Taux d'Adsorption du Sodium (SAR) extrêmement faible (inférieur à 1) et le pourcentage de sodium soluble (Na% moyen de 2,48 %), écartent tout risque d'alcalinisation ou de détérioration de la structure physique des sols. Selon la classification de Richards (Riverside) et de Wilcox les eaux de la nappe oscillent entre *qualité bonne* au Nord et *admissible* au Sud et au Centre pour le premier diagramme et qualité *excellente à bonne* pour le deuxième.

Les Diagrammes de Piper, de Stiff, de Schoeller-Berkaloff et de Stabler confirment la prédominance du faciès *chloruré calcique et magnésien*, qui prouve que les eaux souterraines de la plaine de Télèza circulent au sein d'une entité hydrogéologique unique, régie par les mêmes interactions eau-roche (dissolution des formations rocheuses carbonatées et évaporitiques) et les mêmes influences limitrophes avec l'existence du phénomène d'échange de bases inverse face à l'intrusion des eaux marines riches en chlorure où la couche argileuse du toit de l'aquifère semi-libre s'est approprié le Na^+ de l'eau de biseau salé et a libère le Ca^{2+} dans l'eau, bien que les sulfates maintiennent un niveau notable. Le *faciès anthropisé est chloruré-nitraté calcique et magnésien*, où la proportion massive de nitrates d'origine agricole souligne la forte vulnérabilité de la nappe aux pollutions de surface.

La nappe de la plaine de Télèza se trouve actuellement dans une situation de vulnérabilité écologique critique. Si son potentiel quantitatif demeure appréciable pour l'irrigation, sa qualité sanitaire est gravement compromise par l'usage non maîtrisé des intrants agricoles. Face à ce double péril d'intrusion marine au Nord et de contamination chimio-bactériologique diffuse, il devient impératif de mettre en œuvre un plan de gestion intégré : rationnaliser les pompages pour stabiliser le biseau salé, instaurer un périmètre de protection réglementaire autour des puits, et promouvoir des pratiques agricoles durables. La pérennité socio-économique de la plaine de Collo dépend directement de la sauvegarde de cet hydrosystème fragile.

Références

Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). (2000). Cahier de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques, n°04, septembre 2000.

Belksier M-S., Bouselsal B., Zeddouri A. and Abour F. (12–14 Mars 2019). Caractérisation de la Salinité des eaux de la Nappe libre dans la Région de Collo [Séminaire]. Séminaire International sur l'Hydrogéologie et l'Environnement, Ouargla (Algérie).

Ben Rabah, S. (2006). Etat actuelle des ressources en eau dans la wilaya de Skikda (essai de synthèse) bilan – gestion – perspective [Mémoire de Magister]. Université Badji Mokhtar- Annaba.

Bouakkaz, F-Z. (2015). Contribution à l'étude microbiologique et physico-chimique de l'eau des zones humides de la région de Collo (wilaya de Skikda) [Mémoire de Magister,Université El Arbi Ben M'hidi- D'Oum El-Bouaghi].

Bouchema, R., Toutaou, M. (2025). Caractérisation des faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale du sable et gravier dans le secteur de Tamalous (W. de Skikda) [Mémoire de Master]. Université du 20 aout 1955-Skikda.

Boudjadja, A., Messahel, M., et Pauc, H. (2003). Assessment of Water Resources in Northern Algeria. Rev. Sci. Eau 16(3) 285-304. DOI : https://doi.org/10.7202/705508ar

Boudjebieur E. (2022). Modélisation de la gestion des eaux dans la région de Guelma (moyenne Seybouse) [Thèse de Doctorat LMD]. Université Badji Mokhtar – Annaba.

Boulabeiz, M. (2017). Evaluation de la pollution dans la plaine de Collo, interaction Nappe-Rivière [Thèse de Doctorat]. Université Badji Mokhtar- Annaba.

CGG, (Compagnie Générale de Géophysique). 1965. Rapport de l'étude géophysique dans la plaine de Collo (Suite à la demande du service du génie rural et de l'hydraulique agricole, arrondissement de Constantine), 20p.

Chabour, N. (2004). La surexploitation des eaux souterraines dans les plaines littorales : nappe de Télezza dans la plaine de Collo (Nord-Est Algérien). Sciences & Technologie B –N°22, pp.127-132.

DIAGRAMMES (2023). Version 6.77 (10-03-2023). Avignon université. Logiciels [en ligne]. Consulté le 25/05/2024. Disponible à l'adresse : https://terre-et-eau.univ-avignon.fr/equipements-de-terrain-et-de-laboratoire/logiciels/

Food and Agricultural Oganization. (2002, 23 mai). Eau et Agriculture, produire plus avec moins d'eau. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/88ce29e6-8a4b-49d6-8637-059f657663c2/content

Herrera, G., Ezquerro, P., Tomás, R., Bejar, M., Lopez V., et al. (2020). Mapping the global threat of land subsidence. Science. 371. 34-36. DOI:10.1126/science.abb8549.

Journal Officiel de la République Algérienne, Conventions et Accords Internationaux - Lois et Décrets Arrêtés, Décisions, Avis, Communications et Annonces (Traduction Française). (2005, 4 Septembre). N° 60, 44ème Année. https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2005/F2005060.PDF

Journal Officiel de la République Algérienne, Conventions et Accords Internationaux - Lois et Décrets Arrêtés, Décisions, Avis, Communications et Annonces (Traduction Française). (2011, 19 juin). N° 34, 50ème Année. https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2011/F2011034.pdf

Journal Officiel de la République Algérienne, Conventions et Accords Internationaux - Lois et Décrets Arrêtés, Décisions, Avis, Communications et Annonces (Traduction Française). (2014, 9 mars). N° 13, 53ème Année. https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2014/F2014013.pdf

Kadi A. (1997). La gestion de l'eau en Algérie ,Hydrological Sciences Journal,42 :2 ,191-197 ,DOI :10 .1080 /02626669709492019.

Kerdoud S., (2006). Le Bassin Versant De Beni Haroun Eau Et Pollution [Mémoire de Magistere, Université Mentouri- Constantine].Khelfaoui F., Derradji Z. (2010). Gestion intégrée et qualité des eaux dans le bassin versant du Saf-Saf (wilaya de Skikda, nord-est algérien). Revue « Nature et Technologie ». N° 03, 50-56p.

Kettab, A. (2001). Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision. Desalination 136 (2001) 25–33. https://www.researchgate.net/publication/244143127_Les_ressources_en_eau_en_Algerie_strategies_enjeux_et_vision

Mecibah I. (2017). Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant d'Oued Guebli (Nord-Est Algérien) [Thèse de doctorat]. Université Badji Mokhtar- Annaba.

Mezzar L. 2015. État de la qualité chimique et bactériologique de la nappe alluviale de Guerrara [Mémoire de Magister en, Université Kasdi Merbah Ouargla].

Organisation de la Coopération Islamique (2025). RAPPORT DE L'OCI SUR L'EAU 2025 Optimiser les ressources en eau pour une sécurité alimentaire durable. https://sesricdiag.blob.core.windows.net/sesric-site-blob/files/article/897.pdf

Organisation Mondiale de la Santé. (2017, 24 avril). *Directives de qualité pour L'eau de boisson, Quatrième édition, intégrant le premier additif.* https://www.who.int/fr/publications/i/item/9789241549950

Ouar A., Satouh A., et Sayoud C., (2022). Etude comparative de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux des barrages de Guenitra et Beni Zid (Wilaya de Skikda) [Mémoire de Master]. Université du 20 aout 1955-Skikda.

Peiyue, Li., Jianhua W., Hui, Q. (2014). Hydrogeochemistry and Quality Assessment of Shallow Groundwater in the Southern Part of the Yellow River Alluvial Plain (Zhongwei Section), Northwest China. Earth Sciences Research Journal. Vol. 18, No. 1 (June, 2014): 27 - 38. http://dx.doi.org/10.15446/esrj.v18n1.34048

Piper, A., (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Transactions, American Geophysical Union. 25:914-23.

Qasim, A-H. (2022). Impacts du changement climatique sur les ressources en eau (quantité et qualité) dans les bassins du Tigre et de l'Euphrate en Irak [Thèse de Doctorat, Université de Poitiers]. TEL. https://theses.hal.science/tel-03823510v1/file/2017-Qasim-Abdulamir-Hussein-These.pdf;

Rodier J, Legube B, Merlet N. et coll. (2009). L'analyse de l'eau, 9ème édition, Dunod, Paris.

Stiff, H. A. (1951).The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. J. Petrol. Technol. 3 (10) 15-3. https://doi.org/10.2118/951376-G

Surfer, 2011 version 10.1.561. (64bit) Mar 1 2011 Surfer Mapping System, Golden Sftware, Inc. Colorado).

Wilcox L.V. (1948) - The quality of water for agricultural use. Édit. US Department of Agriculture, Technical Bulletin, vol. 962, Washington (USA), 40 p.

Nom et prénom : TAGHANE Lina

Titre : Caractérisation qualitative des eaux souterraines de la plaine de Télezza, usage agricole et AEP.

Résumé :

Cette étude porte sur la caractérisation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe phréatique de la plaine de Télezza (Collo, Algérie). Les résultats montrent que cet aquifère stratégique est soumis à de fortes pressions anthropiques et naturelles, sur le plan hydrochimique la minéralisation est contrôlée par la lithologie locale et les variations saisonnières, le pH et la conductivité électrique restent globalement conformes aux normes de potabilité, la quasi-totalité des puits dépasse le seuil critique de 50 mg/L en nitrates, témoignant d'une pollution agricole diffuse, la contamination bactériologique est sévère et généralisée, rendant l'eau impropre à la consommation humaine sans traitement préalable. En revanche, l'aptitude à l'irrigation est jugée bonne à excellente : les faibles valeurs du SAR et du sodium soluble et les diagrammes de classification utilisés écartent les risques d'alcalinisation. Les diagrammes hydrochimiques confirment une prédominance du faciès chloruré calcique et magnésien, localement anthropisé en faciès chloruré-nitraté calcique et magnésien. La nappe apparaît ainsi en situation de vulnérabilité écologique critique (invasion des eaux marines et surpompage), nécessitant une gestion intégrée et adoption de pratiques agricoles durables.

Mots-clés : *Faciès, Qualité des Eaux, Nappe, Eau souterraine, Irrigation, Potabilité, Télezza.*

ملخص :

تمحور هذه الدراسة حول تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية للمياه الجوفية للطبقة المائية السطحية في سهل تلزة (القل، الجزائر). وتظهر النتائج أن هذا الخزان الجوفي الاستراتيجي يخضع لضغوط بشرية وطبيعية قوية. ومن المنظور الهيدروكيميائي، يتم التحكم في التمعدن بواسطة الليثولوجيا المحلية (طبيعة الصخور) والتقلبات الموسمية؛ وبينما يظل الأس الهيدروجيني (pH) والموصلية الكهربائية متوافقين عموماً مع معايير صلاحية الشرب، فإن جميع الآبار تقريباً تتجاوز الحد الحرج للنيترات المحدد بـ 50 ملغ/لتر، مما يمثل مؤشراً على تلوث فلاحي منتشر. بالإضافة إلى ذلك، فإن التلوث البكتريولوجي حاد وواسع النطاق، مما يجعل المياه غير صالحة للاستهلاك البشري دون معالجة مسبقة. في المقابل، تُصنف صلاحية المياه للري بأنها جيدة إلى ممتازة، حيث إن القيم المنخفضة لنسبة امتزاز الصوديوم (SAR) والصوديوم الذائب، بالإضافة إلى مخططات التصنيف المستخدمة، تستبعد مخاطر القلوية. وتؤكد المخططات الهيدروكيميائية هيمنة السحنة الكلوريدية الكالسيومية والمغنيزيومية، والتي تأثرت محلياً بالأنشطة البشرية متحولة إلى سحنة كلوريدية-نيتراتية كالسيومية ومغنيزيومية. وبناءً على ذلك، يظهر الخزان الجوفي في حالة هشاشة بيئية حرجة (تداخل المياه البحرية والضخ الجائر)، مما يستلزم إدارة متكاملة وتبني ممارسات فلاحية مستدامة.

الكلمات المفتاحية : سحنة، جودة المياه، الطبقة المائية، المياه الجوفية، الري، صلاحية الشرب، تلزة.

Année Universitaire : 2025/2026

الجمـــهورية الجزائـــرية الديمقراطية الشعبيـــة
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement
Supérieur etde la Recherche Scientifique
Université 20 Août 1955 - SKIKDA -
Faculté des Sciences
Dpartement des sciences agronomiques
Réf : / D S AGRO/2026

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة 20 أوت 1955- سكيكدة
كلية العلـــوم

قسم علوم الفلاحة
رقم : / ق ع ف / 2026

Skikda le : 24/06/2026

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné : Mr. SADOUNE Abdelaziz, **Président de Jury**

Certifie que l'étudiante : TAGHANE Lina

Spécialité : Aménagement Hydro-Agricole

Intitulé : Caractérisation qualitative des eaux souterraines de la plaine de Télezza, usage agricole et AEP.

A apporté les corrections relatives à son travail de mémoire.

Encadreur (Dr. KHELFAOUI)

Président de Jury

Scanned with CamScanner