

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 des faciès chimiques des eaux souterraines
de la nappe alluviale du sable et gravier dans le secteur de
Tamalous (W. de Skikda)*

Présenté par :

- BOUCHEMA Rihab
- TOUTAOU Marwa

Membres de Jury :

KHELFAOUI Fayçal	(MCA)	Président	École Normale Supérieure ENSET-Skikda
MERABET Khaled	(MAB)	Examineur	Université du 20 Août 1955 - Skikda
KHELFAOUI Hakim	(MCA)	Promoteur	Université du 20 Août 1955 - Skikda

Année universitaire : 2024-2025

Résumé

La nappe du sable et gravier d'âge Quaternaire de la plaine de Tamalous qui s'étend largement aux rives de la vallée de l'Oued Guebli est ses affluents constitue l'aquifère superficiel de tout un système d'horizon de nappes allant jusqu'aux grandes profondeurs pour des autres plus ancienne. Cette nappe possède un caractère semi-libre à travers la coupe tracée dans notre secteur d'étude, avec un toit mince limoneux et un mur argileux, elle présente une épaisseur allant de 11m à 12m. L'interaction des eaux de cette nappe avec les roches des couches avoisinantes et leur réservoir contribue notamment à l'enrichissement ou l'appauvrissement de ces eaux en quelques éléments chimiques qui se trouvent soit à l'état de sous saturation ou de sursaturation. L'étude hydrochimique des eaux de six puits implantés à travers le secteur étudié et qui captent cette nappe a montré que les eaux de cette nappe possèdent dans la majorité des puits un faciès chloruré et sulfaté magnésien et d'un degré moindre bicarbonaté magnésien, due au lessivage des terrains géologiques traversés sans oublier le lessivage des engrais des terrains agricoles et l'impact des rejets des eaux usées largement évacuées. L'indice de saturation qui exprime l'interaction eau-roche montre que les concentrations en SO_4^{-2} , Ca^{2+} sont importantes dans l'eau. Ces eaux sont de bonne qualité chimiques du point de vue de leur potabilité et utilisation en irrigation, mais de mauvaise qualité bactériologiques dans la plu part des puits en ce qui concerne leur potabilité.

Mots clés : *Oued Guebli, Faciès chimique, Puits, Tamalous, Irrigation, Potabilité.*

Abstract

The Quaternary sand and gravel aquifer of the Tamalous plain, which extends widely to the banks of the Oued Guebli valley and its tributaries, forms the superficial aquifer of an entire system of aquifer horizons that reach great depths for older ones. This aquifer exhibits a semi-unconfined character across the section traced in our study area, with a thin silty roof and a clayey base. It has a thickness ranging from 11m to 12m. The interaction of the waters of this aquifer with the rocks of the neighboring layers and their reservoir contributes in particular to the enrichment or impoverishment of these waters in certain chemical elements, which are either in a state of undersaturation or supersaturation. A hydrochemical study of waters from six wells located throughout the study area and tapping this aquifer showed that the waters predominantly exhibit a chloride and magnesium sulfate facies in most wells, and to a lesser extent, a magnesium bicarbonate facies. This is due to leaching from the geological terrain crossed, as well as the leaching of fertilizers from agricultural land and the impact of largely untreated wastewater discharges. The saturation index, which expresses water-rock interaction, indicates high SO_4^{-2} , and Ca^{2+} concentrations in the water. These waters are of good chemical quality in terms of their potability and suitability for irrigation, but their bacteriological quality is poor in most wells concerning potability.

Keywords: *Oued Guebli, Chemical Facies, Wells, Tamalous, Irrigation, Potability.*

الملخص

تُشكل طبقة المياه الجوفية الرملية والحصى من الزمن الجيولوجي الرابع في سهل تمالوس، والتي تمتد على نطاق واسع إلى ضفاف وادي قبلي وروافده، الطبقة المائية السطحية لنظام كامل من آفاق المياه الجوفية التي تصل إلى أعماق كبيرة بالنسبة للطبقات الأقدم. تتميز هذه الطبقة المائية بخصائص شبه حرة عبر المقطع المرسوم في منطقة دراستنا، مع سقف رقيق من الطمي وجدار طيني، ويبلغ سمكها من 11 مترًا إلى 12 مترًا. يساهم تفاعل مياه هذه الطبقة المائية مع صخور الطبقات المجاورة وخزنها بشكل خاص في إثراء هذه المياه أو استنزافها من بعض العناصر الكيميائية التي تكون إما في حالة تحت التشبع أو فوق التشبع.

أظهرت الدراسة الهيدروكيميائية للمياه لستة آبار تقع في جميع أنحاء المنطقة المدروسة وتستغل هذه الطبقة المائية أن مياه هذه الطبقة تتميز في غالبية الآبار بسحنة كلوريدية وكبريتات المغنيسيوم، وبدرجة أقل، بيكربونات المغنيسيوم، وذلك بسبب ترشيح التكوينات الجيولوجية التي تمر بها، ناهيك عن ترشيح الأسمدة من الأراضي الزراعية وتأثير تصريف مياه الصرف الصحي التي يتم التخلص منها على نطاق واسع. يشير مؤشر التشبع، الذي يعبر عن التفاعل بين الماء والصخر، إلى أن تركيزات Ca^{2+} و SO_4^{2-} مرتفعة في الماء. تتمتع هذه المياه بجودة كيميائية جيدة من حيث صلاحيتها للشرب واستخدامها في الري، ولكن جودتها البكتريولوجية رديئة في غالبية الآبار فيما يتعلق بصلاحيتها للشرب.

الكلمات المفتاحية: وادي قبلي، السحنة الكيميائية، الآبار، تمالوس، الري، صلاحية الشرب.

Remerciements

Avant tout, nous présentons des remerciements à Dieu Tout-Puissant pour ses grâces, pour la force et la patience qu'Il nous a prodiguées pour terminer le présent travail, fruit d'un effort ininterrompu et de nombreux problèmes.

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à notre encadreur Dr/ **KHELFAOUI Hakim** qui n'a cessé de nous prêter son soutien scientifique et moral depuis qu'il a accepté de diriger ce travail, nous le remercions pour sa gentillesse, et ses conseils judicieux, et aussi pour sa patience, ses encouragements et sa méthodologie.

Nous remercions tous particulièrement Dr. **KHELFAOUI Fayçal** président de jury et Dr. **MERABET Khaled** notre examinateur pour l'honneur qu'il nous a fait d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous tenons également à exprimer notre remerciement à Monsieur le Directeur de l'Algérienne des Eaux (ADE) de Skikda, et Mr. SANDJA M. le directeur du laboratoire, ainsi que les membres d'équipe du laboratoire pour leur précieux soutien, leur disponibilité et les facilités dont ils ont fait preuve lors de l'analyse des échantillons de cette étude.

Nos vifs remerciements à Mme Khazri, responsable du laboratoire de chimie des eaux du département des Sciences Agronomiques pour l'accueil convivial et pour la prise en charge du moyen et de l'équipement nécessaire à la réalisation des analyses de cette recherche.

Enfin, nous tenons à exprimer toute nos gratitude à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à faire ce travail.

Dédicace

♥ *À ceux qui ont été la lumière sur mon chemin, le soutien dans les moments difficiles, et la joie dans mes réussites...*

À mon cher père,

Merci pour ta force qui m'a inspirée, pour ta patience qui m'a appris la persévérance. Tu as toujours été mon modèle, et grâce à ton soutien et tes prières, j'ai pu atteindre cet accomplissement.

À ma chère mère,

Tu es le cœur constant dans ma vie, l'amour inconditionnel malgré les hauts et les bas. Ce succès, tu en es la première et la plus grande source.

À mes frères et sœurs adorés, Nour, Batoul et Noufel, à mes amies, et à toutes les personnes que j'aime,

Vous êtes le battement de mon quotidien et la joie de mes jours. Sans vous, ce parcours n'aurait pas été aussi beau. Votre présence est ma plus grande force. Merci du fond du cœur.

Ce succès est autant le vôtre que le mien



MARWA TOUTAOU

Dédicace

Avec une profonde reconnaissance et une infinie gratitude,

Je dédie ce travail à ceux qui ont été ma lumière dans l'obscurité et mon soutien dans la fatigue.

À mon cher père, mon exemple et mon appui constant,

À ma précieuse mère, dont les prières silencieuses ont été la pluie bienveillante sur mes jours arides.

À mes frères et sœurs, mes repères, mes piliers — vous avez été mon refuge et ma force.

À mes amies fidèles, qui ont su alléger mes journées et colorer mes moments de doute.

À mes enseignants, pour leur patience, leur savoir et leur inspiration.

À tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont touché ma vie par une parole, un geste, ou une simple présence.

Et à moi-même, pour la persévérance, la foi, et l'espoir.

Ce diplôme est bien plus qu'une fin, c'est le symbole d'un chemin, et l'écho de tant de cœurs qui ont battu avec le mien.

Rihab

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Fig. 1- Situation géographique du secteur étudié de la nappe dans la commune de Tamalous dans le bassin versant des Côtiers Constantinois Centre avec le réseau Hydrographique (A.N.R.H., 2000).....	5
Fig. 2- Carte d'occupation du sol du bassin versant du Guebli (d'après Mecibah ,2017).	6
Fig. 3- Type de climat de la station Guenitra et de Skikda par la méthode de De Martonne d'après Boubellouta et Guernane (2023)	7
Fig. 4- Représentation graphique du bilan d'eau de Thornthwaite de la station de Guenitra (2001-2002/2021-2022), (Boubellouta et Guernane, 2023)	8
Fig. 5- Carte du relief du bassin versant du Guebli (d'après Mecibah, 2017)	8
Fig. 6- Extrait de carte géologique et structurale de massif de la petite Kabylie (modifiée, d'après momizigi -2006).....	13
Fig. 7- Carte d'inventaire des échantillons utilisés pour les analyses physicochimiques.et du profile la coupe hydrogéologique (source Google Mass, Modifiée).....	17
Fig. 8- Multimètre.....	18
Fig. 9- Turbidimètre	19
Fig.10- Dosage du TAC et TA.....	20
Fig.11- Dosage de chlorure.....	21
Fig.12- Dosage de THT.....	22
Fig. 13- Dosage du calcium.....	22
Fig. 14- Dosage du sodium par spectrophotomètre	23
Fig. 15- Les tube de BCPL.....	25
Fig. 16- Etuve.....	25
Fig. 17- Réactif de Kovac.....	26
Fig. 18- Coupe hydrogéologique Tamalous 4- Tamalous 3, dans la nappe	29
Fig. 19- Variation du pH.....	32
Fig. 20- Variation de la conductivité électrique.....	32
Fig. 21- Variation de la teneur en matières solides totales dissoutes (TDS)	32
Fig. 22- Variation de la température.....	34
Fig. 23- Variation de la turbidité.....	34
Fig. 24- Variation de la teneur en sodium	35
Fig. 25- Variation de la teneur en calcium.....	36
Fig. 26- Variation de la teneur en magnésium.....	37
Fig. 27- Variation de la dureté (THT)	38
Fig. 28- Variation de la teneur en potassium	38
Fig. 29- Variation des teneurs du TAC	39
Fig. 30- Variation de la teneur en chlorure	40
Fig. 31- Variation de la teneur en sulfate	41

Fig. 32- Variation de la teneur en phosphate	42
Fig. 33- Classification des eaux de la nappe superficielle du sable et gravier de Tamalous de la 1ère campagne par la méthode de Richards (Riverside)	43
Fig. 34- Classification des eaux de la nappe superficielle du sable et gravier de la région de Tamalous (1ère campagne) par la méthode de Wilcox	47
Fig. 35- Faciès chimique des eaux souterraines de la 1ère campagne d’après le diagramme de Piper dans la nappe su sable et gravier de Tamalous	48
Fig. 36- Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravière Tamalous pour la 1ère campagne d’après le diagramme de SchoellerBerkaloff	49
Fig. 37- Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de Tamalous de la 1ère campagne d’après le diagramme de Stable	50
Fig. 38- Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de Tamalous de la 1ère campagne d’après le diagramme de Stiff	51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau 1- Caractéristique Morphométries du bassin versant d'Oued Guebli (In Mecibah, 2017)	9
Tableau 2- Les ressources souterraines potentielles par sous bassin dans le bassin Versant Côtier Constantinois Centre selon le Plan National de l'Eau (P.N.E.), (Source ANRH, 2000)	14
Tableau 3- Caractéristiques des forages utilisés pour la réalisation de la coupe Hydrogéologique	16
Tableau 4- Normes Algériennes (JORADP, 2011 et 2014) et de l'OMS (2017) des eaux potables	31
Tableau 5- Résultats des analyses bactériologiques des sources étudiées	44
Tableau 6- Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation	45
Tableau 7- Résultats du SAR des eaux de la nappe du sable et gravier pour la 1Ère campagne	45
Tableau 8 - Classification des eaux d'irrigation selon le pourcentage de sodium ...	46
Tableau 9- Pourcentage de sodium soluble dans les eaux de la nappe du sable et gravier de Tamalous.....	46
Tableau 10- Classification des eaux d'irrigation par le diagramme de Richards	46
Tableau 11 - Evolution de l'indice de saturation des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de Tamalous de la 1ère campagne	54

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ABREVIATION SYNONYME

ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
ANIREF	Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière
JORADP	Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
Npp	Nombre le plus probable
TDS	Total Dissolved Solids
THt	Titre Hydrotimétrique Total
TAC	Titre Alcalimétrique Complet
ADE	Algérienne Des Eaux
DRE	Direction des Ressources en Eau
SSE	Sud Sud Est
NNO	Nord Nord Ouest
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
ETP	Evapotranspiration Potentielle
ETR	Evapotranspiration Réelle
DA	Deficit Agricole
SE	Surplis d'Eau
RFU	Reserve Facilement Utilisable
FAO	Food and Agriculture Organization
SAR	Sodium Adsorption Ratio
IS	Indice de Saturation

SOMMAIRE

Résumé	I
Abstract	II
الملخص.....	III
Remerciements.....	IV
Dédicace	V
Liste des figures	VII
Liste des tableaux.....	IX
Liste des abréviations.....	X

PARTIE 1/ SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE ET PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1 Situation géographique de la zone d'étude	4
2 Aspect socio-économique de la commune de Tamalous	4
3 Sols et végétation	4
4 Cadre climatique de la zone d'étude	6
4.1 Type de climat.....	6
4.2 Le bilan hydrique	7
5 Relief	8
6 Caractéristiques Hydrologiques	9
7 Géologie régionale	10
7.1 Le socle kabyle.....	10
7.2 La dorsale kabyle.....	11
7.3 Le domaine des flyschs.....	11
7.4 Les séries telliennes	12
7.5 L'Oligomiocène Kabyle	12
7.6 Les roches éruptives	12
7.7 Le Quaternaire	14
8 Potentialités hydriques de la Wilaya du Skikda	14
9 Généralités sur la pollution des eaux	14
9.1 Pollution urbaine (domestique)	14
9.2 Pollution agricole	15
9.3 Pollution industrielle	15

PARTIE 2 / PRATIQUE

Chapitre 1 : Matériels et Méthodes

1	Méthodologie générale	16
1.1	Identification des horizons aquifères.....	16
1.2	Etude hydrochimique	16
1.3	Echantillonnage.....	16
1.4	Méthodes d'analyse	18
1.4.1	Détermination du potentiel d'hydrogène (pH).....	18
1.4.2	Détermination de la conductivité électrique (CE).....	18
1.4.3	Détermination de température.....	19
1.4.4	Détermination du taux du sel dissout (TDS)	19
1.4.5	Détermination de turbidité.....	19
1.4.6	Détermination du TA et TAC.....	19
1.4.7	Détermination du chlorure (Cl ⁻).....	20
1.4.8	Détermination de la dureté totale (THt)	21
1.4.9	Détermination du calcium (Ca ²⁺)	22
1.4.10	Détermination de magnésium (Mg ²⁺).....	23
1.4.11	Détermination du sodium (Na ⁺)	23
1.4.12	Détermination du potassium (K ⁺)	24
1.4.13	Analyses bactériologiques	24

Chapitre 2 : Résultats et Discussions

1	Caractérisation hydrogéologique	28
1.1	Délimitation des aquifères	28
1.2	Description de la nappe superficielle alluviale du sable et gravier de la plaine de Tamalous	28
1.3	Alimentation de la nappe de la plaine de Tamalous-Bin El Ouiden et conditions aux limites.....	29
2	Etude hydrochimique et bactériologique de la qualité des eaux de la nappe du sable et gravier dans le secteur de Tamalous.....	30
2.1	Potabilité des eaux de la nappe alluviale du sable et gravier	31
2.1.1	Le pH.....	31
2.1.2	Conductivité électrique	32
2.1.3	Matières solides totales dissoutes (TDS)	33

2.1.4	La température.....	34
2.1.5	La turbidité.....	35
2.1.6	Le sodium	35
2.1.7	Le calcium	36
2.1.8	Le magnésium.....	37
2.1.9	La dureté (Titre Hydrotimétrique)	38
2.1.10	Le potassium.....	39
2.1.11	Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC).....	40
2.1.12	Le chlorure	40
2.1.13	Le sulfate	41
2.1.14	Le phosphate	42
2.1.15	Les analyses bactériologiques	43
2.2	Aptitude des eaux de la nappe du sable et gravier à l'utilisation en irrigation des cultures.....	44
2.2.1	Éléments régissant l'emploi de l'eau en milieu agricole	44
3	Détermination des faciès chimiques.....	48
3.1	Faciès chimiques par le diagramme de Piper	48
3.2	Faciès chimiques par le diagramme de Schoeller-Berkaloff	49
3.3	Faciès chimiques par le diagramme de Stabler	50
3.4	Faciès chimiques par le diagramme de Stiff.....	51
4	Origine de la minéralisation	53
4.1	Indice de saturation	53
	COCNLUSION GÉNÉRALE	55
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	58

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les eaux souterraines représentent une ressource cruciale à l'échelle mondiale, fournissant de l'eau potable à environ 2,5 milliards de personnes et constituant près de 30 % de l'ensemble des eaux douces disponibles sur Terre (UNESCO, 2022). Leur rôle est particulièrement vital dans les régions arides et semi-arides, où elles couvrent jusqu'à 70 % des besoins en irrigation agricole, contribuant ainsi directement à la sécurité alimentaire de millions de personnes (Boukich et al., 2025). Toutefois, cette ressource précieuse est aujourd'hui menacée par plusieurs facteurs. La surexploitation, souvent due à une gestion inadéquate ou à une demande croissante, provoque un épuisement rapide des nappes phréatiques, entraînant des phénomènes d'affaissement des sols et une intrusion saline dans les aquifères côtiers (Fuster et al., 2024). Ces pressions sont exacerbées par le changement climatique, qui modifie les régimes pluviométriques et intensifie les sécheresses, augmentant ainsi la vulnérabilité des ressources en eaux souterraines (UNESCO, 2015). De plus, l'investissement dans les technologies de recharge artificielle et la protection des zones de recharge naturelle représentent des pistes prometteuses pour préserver cette ressource indispensable à l'avenir de l'humanité. En Algérie, les eaux souterraines constituent un pilier fondamental de la sécurité hydrique nationale, surtout dans les régions du Sud qui couvrent plus de 80 % du territoire (Khelfaoui et al., 2020), où les précipitations sont très faibles (moins de 100 mm/an). Les deux grands systèmes aquifères, le SASS (Système Aquifère du Sahara Septentrional) et le SASM (Système Aquifère du Sahara Méridional), contiennent ensemble plus de 100 000 milliards de m³ d'eau (OSS, 2008), dont une partie non renouvelable. Ces ressources alimentent plus de 90 % des besoins en eau potable et agricole dans le Sud Algérien, (ANRH, 2000).

Dans la wilaya de Skikda les eaux souterraines jouent un rôle crucial dans l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation agricole (Ben Rabah, 2006). En effet, environ 60 % des besoins en eau de la région sont satisfaits grâce aux nappes phréatiques, particulièrement dans les zones rurales où l'accès aux eaux de surface est limité (DebbechetGuemari, 2017).

Dans la région de Tamalous, située à environ 50 km à l'Ouest du chef-lieu de la wilaya de Skikda, la situation est particulièrement préoccupante. La population locale, estimée à

plus de 63 467 habitants uniquement pour la commune de Tamalous, dépend largement des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier pour des multiples utilisations surtout domestiques et agricoles malgré l'alimentation en eau potable de la commune depuis le barrage de Guenitra (Gaya et Rezzouk, 2013) suite à la demande excessive en eau par la population et le mauvais approvisionnement d'une part de cette source vitale, ainsi que de sa mauvaise qualité d'autre part. La nappe alluviale du sable et gravier dans la région de Tamalous est largement exploitée par les habitants. Des dizaines, voir centaine de puits ont été réalisés sans aucune étude ou parfois sans autorisations, ce qui menace la réserve de cette nappe surtout avec le changement climatique ces dernières années, où la précipitation annuelle a fluctué brutalement et donc la recharge a diminué massivement. Il s'ajoute à cette menace l'impact des rejets domestiques liquides des eaux usées largement évacués sur toute la vallée de l'Oued Guebli, issues de la forte densité démographique de la commune de Tamalous (Allalou et al., 2024). Ces rejets liquides constituent un risque majeur sur la détérioration future de la qualité de ces eaux, sachant qu'on ne dispose d'aucune station d'épuration dans tout le bassin versant de l'Oued Guebli. Ces défis appellent à une gestion intégrée et durable des ressources en eau, comprenant un suivi rigoureux de sa qualité, ainsi que la réduction des sources de pollution.

L'objectif de la présente étude est de faire suivre l'évolution de la qualité physicochimique des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier du secteur de Tamalous, la détermination des différents faciès chimiques attribués à ces eaux suite à leurs interactions avec les formations géologiques qui les traversent, ce qui conditionne à l'enrichissement ou l'appauvrissement en certains éléments chimiques qui se trouvent soit en solution ou en précipitation, ainsi que de l'impact des activités anthropiques sur la domination de certains faciès. Il s'ajoute à cet objectif la focalisation sur la potabilité et l'aptitude d'utilisation en irrigation de ces eaux.

A cet effet, nous avons choisis six puits de mesure et prélèvement des eaux qui captent cette nappe répartis sur la région de Tamalous et ces agglomérations.

Notre travail a été structuré comme suite :

- Partie 1 : Synthèse Bibliographique et Présentation de la Zone Etude : toutes les caractéristiques socio-économiques, climatiques, géologiques, hydrologiques et topographiques, ainsi que les types de pollution sont bien décrites dans cette partie.
- Partie 2 : Pratique; divisée en :
 - Chapitre 01 : Matériels et méthodes ; description de toutes les procédures expérimentales d'échantillonnage, d'analyse et les méthodes de traitement des données avec appareillage.
 - Chapitre 02 : résultats et discussion, les résultats obtenus sont représentés sous formes d'histogrammes, cartes, diagrammes et tableaux, ainsi interprétés.
- Conclusion général : récapitulant l'essentiel des résultats de ce travail de mémoire.

Partie : I

**SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE ET
PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE**

1 Situation géographique de la zone d'étude

La nappe alluviale du sable et gravier du secteur de Tamalous est localisé dans le sous bassin versant de l'Oued Guebli (code 03 07) qui appartient lui-même au bassin Côtier Constantinois Centre (Fig. 1), il est situé à l'Ouest du chef-lieu de la wilaya de Skikda.

Ce sous bassin s'étend du 6° 23'E au 6° 47'E de longitude et du 36° 35'N au 36° 58' N de latitude, presque totalement inclus dans le territoire administratif de la wilaya de Skikda.

La commune de Tamalous qui englobe une portion de cette nappe est limitée (Fig. 1) :

- Au Nord, par la commune de Kerkera et la mer Méditerranée.
- Au Sud par les communes de Sidi Mezghiche et d'Oum Toub.
- A l'Est par les communes de Bouchtata et d'Ain Zouit.
- A l'Ouest par les communes de Bin El-Ouidene et Kerkera.

2 Aspect socio-économique de la commune de Tamalous

Elle est située à l'Ouest du chef-lieu de wilaya de Skikda à une distance de 45 km, avec une superficie de 178 km², elle compte une population de plus de 63 467 habitants (2020), avec une densité de plus de 357 habitants/km² (ANIREF, 2020).

C'est une région à vocation commerciale (en plus du secteur des services) et agricole (culture de vergers maraîchers et fruitiers et l'agriculture de subsistance) bien marquée, exercés par la majorité de la population suite à l'absence majeur de tissu industriel, (Bira et al., 2018).

3 Sols et végétation

La région est caractérisée par une couverture végétale dense (Fig. 2) en rapport avec l'importante lame d'eau reçue annuellement. Les forêts peuplées de chêne-liège, de fougère, occupent la totalité des montagnes s'étendant de part et d'autre de la plaine. Ces forêts constituent la source de matière première pour l'industrie du liège. En général, la région est à vocation agricole et forestière marquée par différentes cultures qui peuvent s'étaler des maraîchers aux différents arbres fruitiers (Hamian, 1998).

La répartition spatiale des sols dépend étroitement d'un certain nombre de facteurs, notamment le climat, la roche mère, la topographie et la végétation. Dans la plupart des cas les sols sont de type forestier jeune (Fig. 2), suffisamment profond et riche en éléments nutritifs qui résistent assez bien à l'érosion. Il s'agit surtout de :

- Sols bruns forestiers et de sols minéraux bruts ou peu évolués (Benamira, 2017).
- sol peut évolués d'apparts alluviaux de texture fine.
- Les sols rouge méditerranéens, ayant une bonne capacité de rétention.
- Sol peut évolués d'érosion localement.

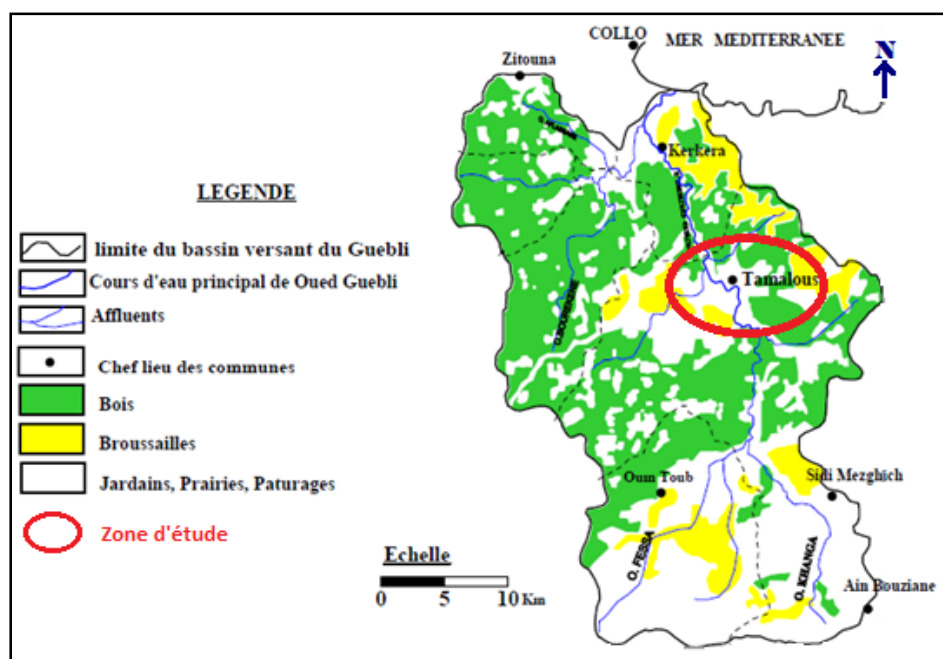


Fig. 2- Carte d'occupation du sol du bassin versant du Guebli (d'après Mecibah, 2017).

4 Cadre climatique de la zone d'étude

4.1 Type de climat

L'analyse des données climatiques des stations météorologiques de Guenitra (Oum Toub) incluse dans le sous bassin versant de l'Oued Guebli et de Skikda a montré que la commune de Tamalous qui englobe la nappe du sable et gravier possède un climat de type tempéré caractérisé par deux saisons l'une humide et froide et l'autre sèche et chaude avec drainage extérieur non indispensable suivant la méthode de De Martonne (1913), (Fig. 3).

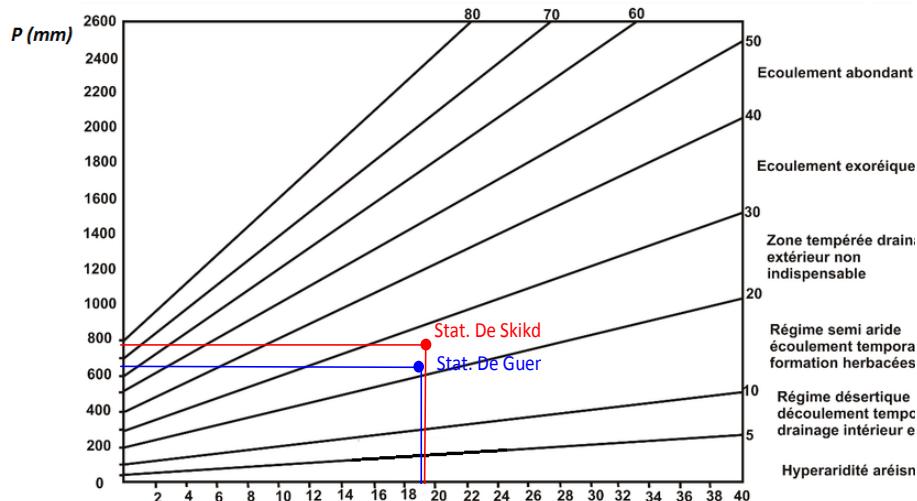


Fig. 3- Type de climat de la station Guenitra et de Skikda par la méthode de De Martonne d'après Boubellouta et Guernane (2023).

De même, la valeur du quotient pluviométrique pour la station météorologique de Skikda est de : 112.92 ce qui indique un régime subhumide dans le diagramme d'Emberger, (Boubellouta et Guernane, 2023).

4.2 Le bilan hydrique

Le bilan hydrique est l'étude comparée de la lame d'eau précipitée sur une surface donnée et des différentes formes de transfert de cette eau : soit par écoulement, infiltration ou évaporation.

L'équation du bilan s'écrit : $P = R + E + I$

Tels que : P : précipitation moyenne annuelle (mm).
 R : ruissellement de surface moyen annuel (mm).
 E : évapotranspiration moyenne annuelle (mm).
 I : infiltration moyenne annuelle (mm).

La Figure 4, illustre les résultats du bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite (1948) de la station de Guenitra (2001-2002/2021-2022), elle montre que : l'évapotranspiration réelle (ETR) atteint son maximum au mois de Mai avec 87.45 mm, ce qui provoque un déficit agricole (DA) nécessitant une irrigation depuis ce mois jusqu'à Septembre. A partir du mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril, on assiste à une reconstitution du stock -surplus d'eau (SE)- qui devient important entraînant une réserve facilement utilisable (RFU) maximale dans le sol, au delà du moi d'Avril jusqu'au mois de Juillet l'épuisement du stock diminue progressivement (Boubellouta et Guernane, 2023).

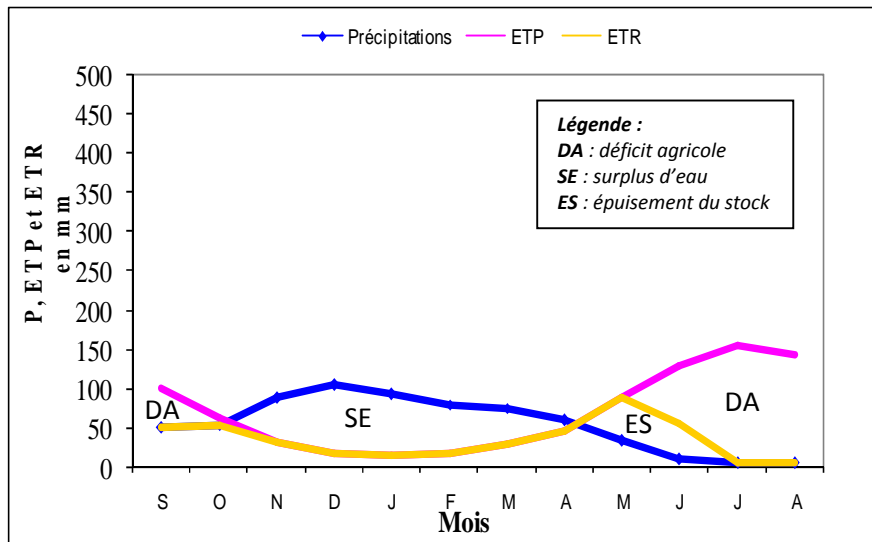


Fig. 4 – Représentation graphique du bilan d'eau de Thornthwaite de la station de Guenitra (2001-2002/2021-2022), (Boubellouta et Guernane, 2023).

La période sèche débute de la fin du mois de Mai et s'étend jusqu'à la fin du mois d'Octobre. Alors que la période humide commence de la fin d'Octobre jusqu'au début de Mai.

5 Relief

La zone d'étude possède un relief à faible altitude (Fig. 5).

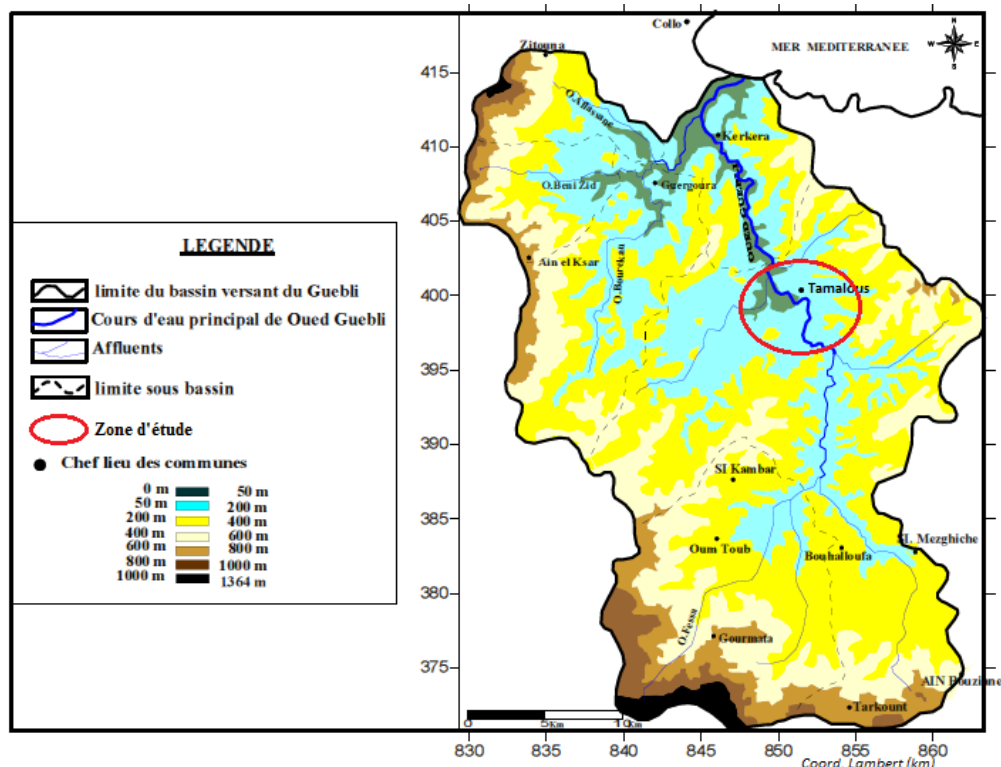


Fig. 5- Carte du relief du bassin versant du Guebli (d'après Mecibah, 2017).

La nappe du sable et gravier est localisée massivement dans la plaine de la vallée de l'Oued Guebli de Tamalous, marquée par des hauteurs qui ne dépassent guère les 200m par rapport au niveau de la mer.

6 Caractéristiques Hydrologiques

Le secteur de la partie étudié à Tamalous fait partie au sous bassin versant de l'Oued Guebli qui porte le numéro de code 03-07 situé au Nord-Ouest de la Wilaya de Skikda et qui appartient au bassin Côtier Constantinois Centre (code N°03), (Fig. 1), qui englobe seize (16) communes : Collo, Beni Zid, Oum Toub, Beni Oulbène, Bin El-Ouiden, Zitouna, Tamalous, Kerkeria, Bouchtata, Ain Bouziane, Sidi Mezghiche, AinKechra, Cheraia, O.Boubalout, et El Harrouch. Plus une petite partie de la commune de Zighoud Youcef de la wilaya de Constantine. Il couvre une superficie de 993 Km² et se trouve presque totalement inclus dans le territoire administratif de la Wilaya de Skikda (Mecibah, 2017).

Les caractéristiques morphométriques sont récapitulées dans le Tableau n°1.

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

Paramètre	Valeur
Superficie	S = 993.3 km ²
Périmètre	P = 163.3 km
Dénivelé simple	D _s = 329.64m (relief fort)
Vitesse d'écoulement	V _C = 0.97 m/s
Indice de compacité de Gravelius	I _p = 1.45 (forme allongée)
Longueur du rectangle équivalent	L _e = 65.9km
Altitude moyenne	H _m = 320m
Altitude médiane	H _{med} = 380m
Densité de drainage	D _d = 4.15Km/ Km ² (réseau hydrographique dense)
Coefficient de torrentialité	C _T = 41.12 (due à l'imperméabilité des terrains)
Indice de pente globale	I _g = 10. 45m/km
Largeur du rectangle équivalent	l = 15 km
Temps de concentration	T _C = 13.88 h
Nombre des thalwegs totaux	13133
Longueur des thalwegs	4131km
Longueur du bassin versant	L _{BV} = 45,2km
Largeur du bassin versant	B = 24,6km

Le cours d'eau principale de l'Oued Guebli qui draine toute la surface du sous bassin versant qui porte son nom est alimenté dans la commune de Tamalous (zone d'étude) du Sud ver le Nord par quatre affluents principaux qui sont :

- Oued Meraya ;
- Oued Birakkad;
- Oued l'Ouaida;
- Oued Baroune.

Le sous bassin versant de l'Oued Guebli draine une série de toute autres petits sous bassins y inclus : sous bassin de l'Oued Guenitra (prés d'Oum Toub), sous bassin de l'Oued Guebli amont (prés de Tamalous notre zone d'étude), sous bassin de l'Oued Bourekane (près d'Ain Kechra, sous bassin de l'Oued Beni Zid, sous bassin de l'Oued Aflassane (prés de Zitouna), et le sous bassin de l'Oued Guebli aval (la plaine de Collo).

7 Géologie régionale

L'analyse de l'environnement géologique est fondamentale à l'étude hydrogéologique et physicochimique des eaux. Cette analyse permet d'identifier les matériaux (minéraux) et les structures des formations susceptibles de conduire l'eau des précipitations en profondeur, tout en permettant la détermination du type d'aquifère.

La région de Skikda se trouve dans le massif de la petite Kabylie qui fait partie de la chaîne alpine des Maghrebides. Il s'étend entre le massif des Babors à l'Ouest et le massif de l'Edough à l'Est sur plus de 150 kilomètres le long du littoral.

D'après Villa (1980), on distingue du nord vers le sud les quatre grandes unités structurales suivantes (Fig. 6) :

7.1 Le socle kabyle

Substratum surtout en roches métamorphiques et en degré moindre sédimentaires. Largement représenté dans la région de Collo, il comporte selon Bouillin (1979), trois ensembles superposés : deux sont métamorphiques et le dernier sédimentaire :

- ***Ensemble inférieur métamorphique*** : constitué de Gneiss avec des intercalations de marbre et d'amphibolites ainsi que de leptinites.
- ***Ensemble supérieur métamorphique*** : constitué de phyllades et de schistes avec de nombreux quartz à la base.

- **Troisième ensemble** : principalement sédimentaire (ou peu métamorphisé). Par ailleurs le socle Kabyle a été charrié sur les terrains Mésozoïques et Cénozoïques.

7.2 La dorsale kabyle

Chaîne calcaire constitue la couverture. Étudiée surtout par Raoult (1966) et Vila (1980), elle comporte trois sous zones et marque par sa physionomie et ces reliefs la limite entre le socle kabyle au Nord et les zones telliennes plus externes au Sud. D'autre par elle est caractérisée surtout par des formations carbonatées ayant un âge allant du Permo-Trias à l'Oligocène :

- **Chaîne calcaire interne** : elle est globalement caractérisée par des formations de :
 - Grés;
 - Carbonates;
 - Marno-calcaire;
 - Calcaires sableux;
 - **Chaîne calcaire médiane** : elle est constituée par les formations suivantes :
 - Argiles, pélites et grés;
 - Calcaires fin ou graveleux;
 - Calcaires blancs;
 - Marno-calcaires rouges et marnes jaunes;
 - Calcaires fins et marnes;
 - Marnes argileuses.
 - **Chaîne calcaire externe** : elle est constituée par les formations suivantes :
 - Argiles, pélites et grés;
 - Dolomies bréchiqes;
 - Calcaires massifs;
 - Calcaires à silex;
 - Conglomérats à la base et des marnes au sommet.

7.3 Le domaine des flyschs

Les flyschs sont caractérisés par des formations abyssales mises en place par des courants de turbidités. On reconnaît trois types principaux de flysch :

- ***Flysch Mauritanien*** : observable sur le versant Nord du Djebel Sidi Driss, riche de grés, et laisse la place au bassin de Sidi Mezghiche, creusé essentiellement dans les roches tendres. La série est caractérisée par l'alternance des bancs argileux, calcaires et gréseux.
- ***Flysch Massilien*** : la série s'étend essentiellement sur le versant Nord du Djebel Sidi Dris et au col du Kantour, elle présente une part importante de marnes et d'argiles ce qui favorise le développement de toutes les formes de glissement et de ravinement.
- ***Flysch numidien*** : il existe à Sidi Mezghich où le phénomène de glissement et de ravinement est spectaculaire, nous rencontrons des alternances des roches dures et roches tendres.

7.4 Les séries telliennes

Du Nord au Sud, on distingue :

- ❖ ***Séries ultra telliennes*** : se caractérisent par un faciès essentiellement marneux clair avec quelques bancs de calcaire (Delgua, 1969).
- ❖ ***Les séries telliennes (sens strict)*** : ces séries présentent des variations de faciès dans le temps. Jurassique plus marneux et Crétacé détritique devient marneux à argilo-calcaire. L'Eocène se caractérise par des marnes.
- ❖ ***Les séries péni-telliennes*** : affleurent toujours au sud du Tell oriental Algérien. Leur faciès très carbonaté.

7.5 L'Oligomiocène Kabyle

C'est une série sédimentaire qui affleure dans tout le massif de Collo et la région de Skikda.

7.6 Les roches éruptives

La partie orientale de la petite Kabylie est caractérisée par un important magmatisme Miocène qui a engendré d'importantes masses de granite (granite Bougaroun, de Beni Touffout et de Fil fila) et microgranite (environ de Collo) ainsi que des coulées et injections de laves acides (région de Collo). Les roches éruptives microgrenues sont visibles essentiellement dans les environs du petit port de Collo et à l'Ouest du bassin de Tamalous se sont en général des microgranites monzonitiques

et des microgranodiorites, elles sont donc plus récentes que les terrains sédimentaires marins.

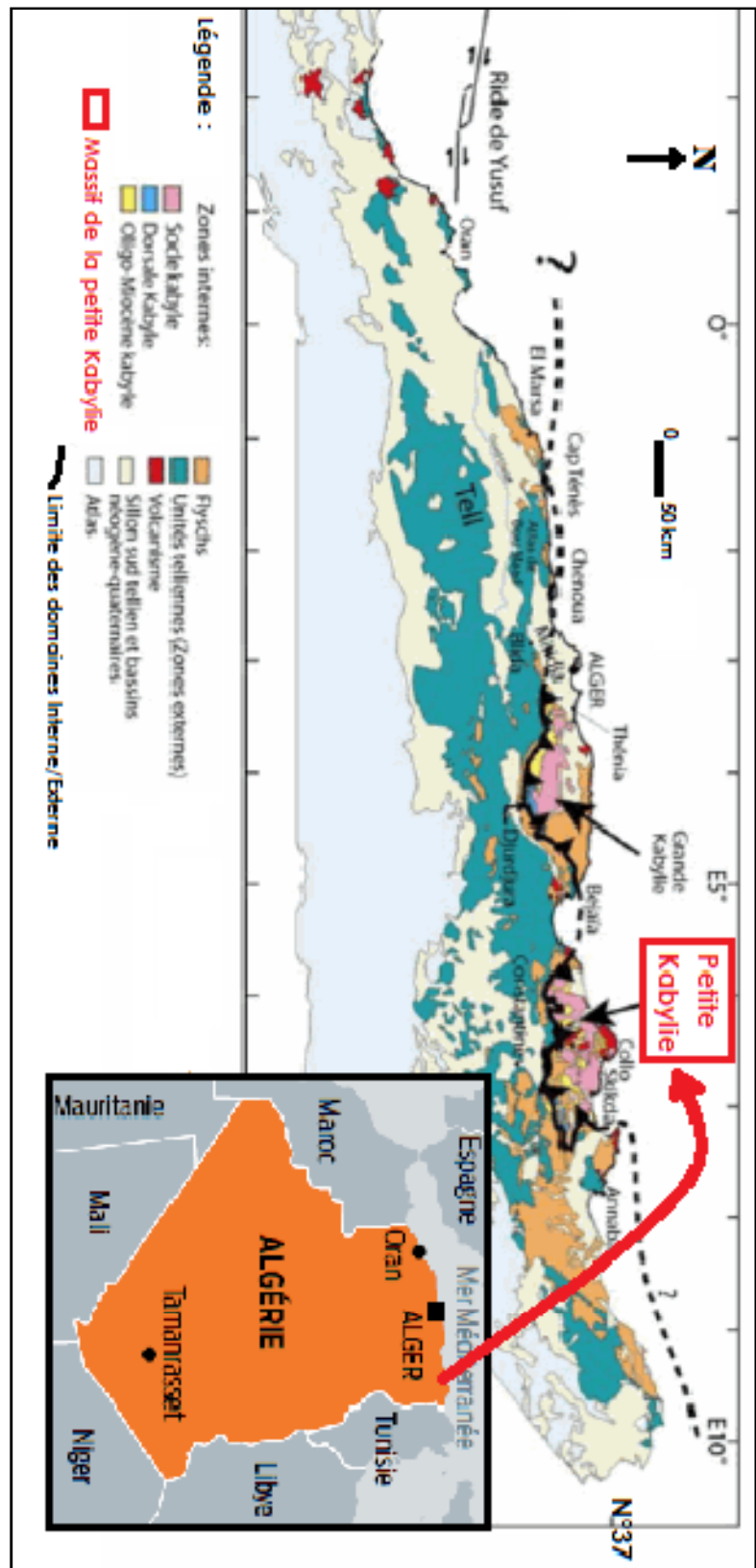


Fig. 6- Extrait de carte géologique et structurale du massif de la petite Kabylie (modifié, d'après Domzigl, 2006).

7.7 Le Quaternaire

Dans la zone d'étude le quaternaire est représenté par les alluvions et les dunes anciennes. Les alluvions se composent de trois types différents : des alluvions actuelles représentées par des sables, des limons formant le lit moyen de l'oued Saf-Saf et celui de Zeramna, alluvions moyennes constituées de limons et de galets et enfin des alluvions anciennes d'âge pléistocène ce sont des terrasses de limons et de cailloux roulés à des épaisseurs de 20 m.

8 Potentialités hydriques de la Wilaya du Skikda

La commune de Tamalous qui fait partie du sous bassin versant de l'Oued Guebli (03 07), possède une importante réserve en eaux souterraines et superficielles (Tableau 2), avec ses divers cours d'eau, sa remarquable précipitation annuelle recueillie et ses aquifères des nappes d'eau du sable et gravier Quaternaire de la vallée de L'Oued Guebli, ainsi que les nappes captives profondes des formations d'âge Secondaire et Tertiaire (Mecibah, 2017).

Tableau 2- Les ressources souterraines potentielles par sous bassin dan le bassin versant Côtier Constantinois Centre selon le Plan National de l'Eau (P.N.E.), (Source ANRH, 2000).

N° Sous bassin	Superficie (km ²) selon (P.N.E)	Potentialités des nappes (hm ³ /an) Selon (P.N.E)
03 06	497	1,00
03 07	995	2,20
03 08	/	/
03 09	1130	3,9
03 10	/	/
03 11	1223	11,4
03 12	396	0,6
03 13	721	13,4
Total	4962	32,5

9 Généralités sur la pollution des eaux

9.1 Pollution urbaine (domestique)

Le rejet des eaux d'égouts dans les cours d'eau pose plusieurs problèmes. Tout d'abord parce qu'elle véhicule des agents pathogènes, l'eau polluée par les rejets d'eau usée est une menace pour la santé publique. Les eaux d'égout génèrent aussi deux problèmes environnement sérieux : l'enrichissement de l'eau en matières

organiques et la baisse de la teneur en oxygène dissous des cours d'eau. L'enrichissement ou l'eutrophisation des eaux est dû à la présence à des concentrations élevées d'azote, de phosphore et de nutriments des végétaux aquatiques. Bien que les eaux usées soient le principal polluant produit par les villes, la pollution de l'eau des villes a aussi une source diffuse ; le lessivage des sols urbains lors de fortes pluies. La qualité des eaux pluviales qui s'écoulent le long des rues est souvent pire que celle des eaux usées. Les écoulements urbains transportent le sel épandu sur les routes en hiver, des ordures non traitées, des déjections animales, des sédiments de constructions et les substances émises par la circulation d'automobiles (via la pluie qui absorbe les polluants de l'air). Les eaux de lessivage des rues contiennent de l'amiante, des composés chlorés, du cuivre, du cyanure, des huiles, des hydrocarbures, du plomb, de l'huile de vidange, des déchets organiques, des phosphates, de l'acide sulfurique et du zinc, (Dermatas, 2017).

9.2 Pollution agricole

La pollution liée à l'agriculture est causée par l'utilisation anarchique d'engrais, de pesticides et d'herbicides ou de fongicides. Les méthodes modernes exigent parfois des labourages profonds et violents, ce qui favorise l'infiltration directe des polluants (NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} et Cl^-) vers la nappe phréatique (Touati et al., 2013).

9.3 Pollution industrielle

Les rejets industriels sont caractérisés par leur très grande diversité (Jun et al., 2021). Selon le type d'industrie on distingue diverses matières polluantes :

- Matières organiques et graisses (abattoirs, industrie agroalimentaires...);
- Hydrocarbures (industrie pétrolières, transports);
- Métaux (traitements de surface, métallurgie);
- Acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...);
- Eaux chaudes (circuits de refroidissement des centrales thermiques);
- Matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Partie : II

PARTIE PRATIQUE

Chapitre 1

Matériels et méthodes

1 Méthodologie générale

1.1 Identification des horizons aquifères

Les caractéristiques lithologiques de l'horizon aquifère de la nappe alluviale du sable et gravier dans la commune de Tamalous sont déterminées précisément depuis les colonnes stratigraphiques de deux forages implantés dans la région. Ces données sont recueillies depuis la Direction des Ressources en Eau (DRE) de la Wilaya de Skikda, qui sont le forage de **Tamalous 4** et le forage de **Tamalous 3** (Tableau 3), pour tracer ensuite une coupe hydrogéologique suivant un profil de direction SSE-NNO, afin de bien montrer le toit et le mur de cet horizon, son épaisseur, sa profondeur le long de cette vallée, (Fig. 7).

Tableau 3- Caractéristiques des forages utilisés pour la réalisation de la coupe hydrogéologique.

Forage	Débit exploitable (L/s)	Niveau statique (m)	Profondeur (m)	Altitude (m)
Tamalous 4	8	4	25	52
Tamalous 3	6	6	25	44

La coupe hydrogéologique est tracée à l'aide du logiciel Surfer, (Surfer, 2011).

1.2 Etude hydrochimique

Cette étude des échantillons prélevés est élaborée au laboratoire de l'ADE, les résultats obtenus sont plus tard traités sous forme d'histogrammes et graphes par un logiciel des analyses hydrochimiques (Diagrammes, v6.77) et en Excel, pour déterminer clairement les différents faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier dans le secteur de la commune de Tamalous, de déceler leurs propriétés physicochimiques, leur sources d'acquisition de ses composantes minérales et leur interaction avec la roche réservoir.

1.3 Echantillonnage

Deux campagnes de prélèvement pour les analyses physicochimiques ont été réalisées ; la première effectuée le 02 mars 2025 et la deuxième effectuée le 04 mai 2025, dans six puits qui captent la nappe alluviale de l'Oued Guebli ; P1, P2, P3, P4, P5 et P6 suivant le sens d'écoulement des eaux de cet Oued depuis le Sud vers le Nord dans la commune de Tamalous (Fig. 7), tel que :

- **P1** : puits situé dans l'agglomération de Merraya en amont plus au Sud;
- **P2** : puits situé dans l'agglomération de Merraya ;
- **P3** : puits situé dans l'agglomération de Toucéne ;
- **P4** : puits situé dans le chef-lieu de la commune de Tamalous ;
- **P5** : puits situé vers la sortie Nord de la commune de Tamalous ;
- **P6** : puits situé dans l'agglomération de Demnia plus au Nord.

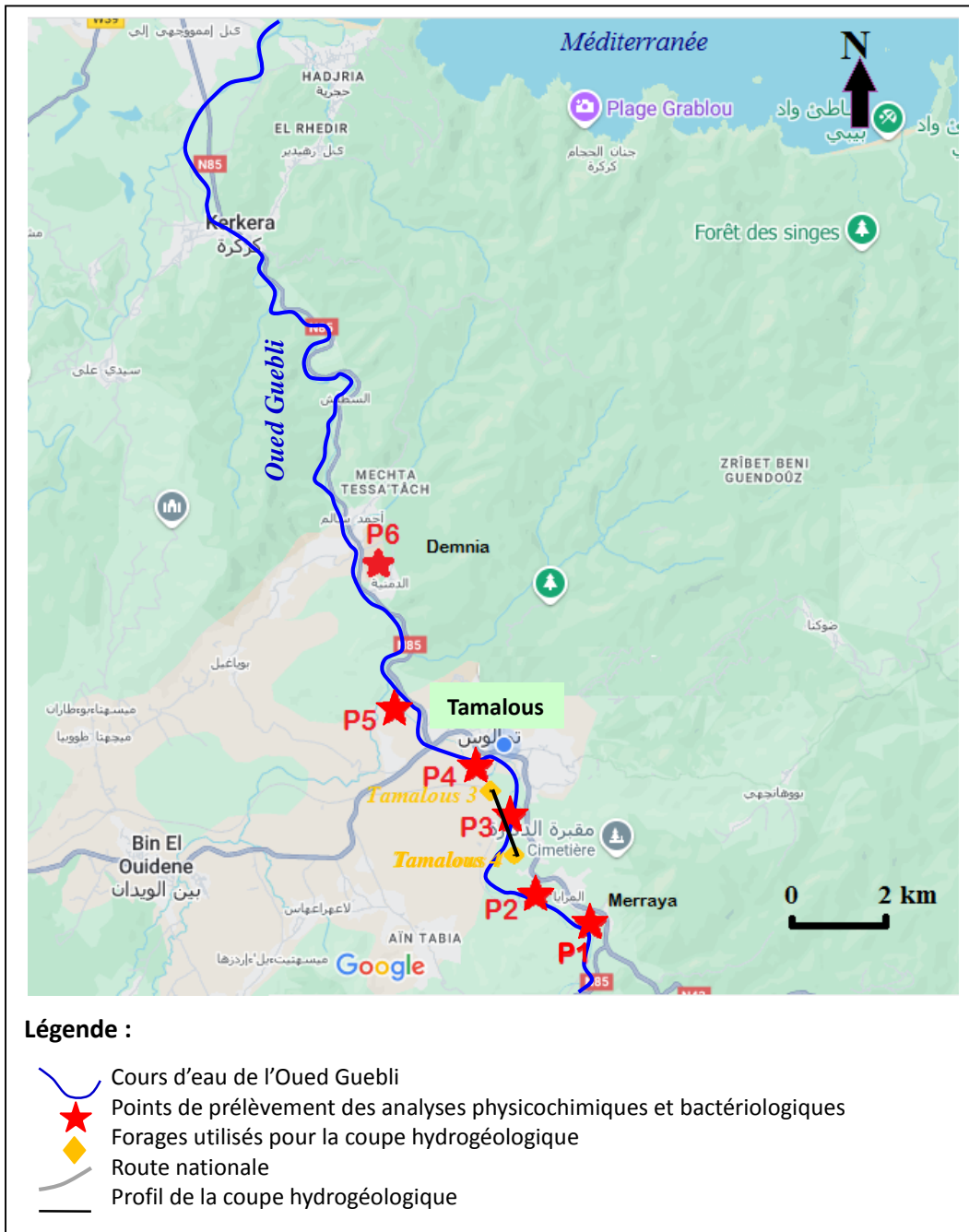


Fig. 7- Carte d'inventaire des échantillons utilisés pour les analyses physicochimiques et du profil de la coupe hydrogéologique (source Google Maps, modifiée).

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.

Les analyses sont portées sur les paramètres suivants :

Le pH, la conductivité (CE), la température, Matières solides totales dissoutes (TDS), la turbidité, le titre alcalimétrique complet (TAC), chlorure (Cl⁻), calcium (Ca⁺⁺), magnésium (Mg⁺⁺), la dureté totale, sodium (Na⁺), potassium (K⁺), Sulfate (SO₄²⁻), phosphate (PO₄³⁻) et les analyses bactériologiques.

1.4 Méthodes d'analyse

1.4.1 Détermination du potentiel d'hydrogène (pH)

Effectuée à l'aide d'un multimètre (Fig. 8).

Mode opératoire : établir les connexions électrique 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'appareil.



Fig. 8- Multimètre.

1.4.2 Détermination de la conductivité électrique (CE)

Appareil : multimètre (Fig. 8).

Mode opératoire : on suit les mêmes étapes que pour la mesure du pH.

1.4.3 Détermination de température

Appareil : multimètre (Fig. 8).

Mode opératoire : on suit les mêmes étapes que pour la mesure du pH.

1.4.4 Détermination du taux du sel dissout (TDS)

Appareil : multimètre (Fig. 8).

Mode opératoire : on suit les mêmes étapes que pour la mesure du pH.

1.4.5 Détermination de turbidité

Appareil : turbidimètre (Fig. 9).



Fig. 9- Turbidimètre.

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.

1.4.6 Détermination du TA et TAC

Dosés par titrage volumétrique (Fig.10).

Principe : c'est pour déterminer les bicarbonates HCO_3^- Hydroxydes OH^- par le titrage

$$\text{TA} = [\text{OH}^-] + \frac{1}{2} [\text{CO}_3^{2-}] \quad \text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

100 ml prise à essai

Réactif :

- phénolphtaléine ($C_{20}H_{14}O_4$)
- Méthylorange ($C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$)
- Acide sulfurique (H_2SO_4)



Fig.10- Dosage du TAC et TA

Mode opératoire :

100 ml d'eau à analysé

- 03 gouttes de phénolphtaléine ($C_{20}H_{14}O_4$)
- S'il Ya un changement vers couleur rose pâle présence du TA
- Si la couleur reste transparent TA = 0
- On ajoute sur la solution précédente 02 gouttes de Méthylorange.
- titrer avec l'acide sulfurique jusqu'à virage du couleur orange brique
- Noter le volume V.

• Calcul :

$$TA = V \cdot 10 \text{ en mg/l}, TAC = (VTA + VTAC) 10 \text{ en mg/l}$$

$$(TA \leq 10 \text{ mg/l}) (TAC \leq 120 \text{ mg/l})$$

1.4.7 Détermination du chlorure (Cl⁻)

Dosée par titrage volumétrique (Fig.11).

Principe : méthode volumétrique, titrage des chlorures aux nitrates d'argent en présence de chlorure de potassium

Réactif :

-Chromate de potassium K

Mode opératoire :

- 05 ml prise à essai

- 02 gouttes de chromate de potassium (K_2CrO_4)

- Titration avec nitrate d'argent ($AgNO_3$) jusqu'à virage du couleur rouge brique (Fig. 11).

Calcul :

$Cl^- = V \cdot 71$ en mg/lV : volume titré ($cl \leq 500$ mg/l)



Fig.11-Dosage de chlorure.

1.4.8 Détermination de la dureté totale (THt)

Dosée par titrage volumétrique (Fig.12).

C'est le titre hydrotimétrique

Réactif :

-Solution tampon k10 (pH de K= 10)

-Mordant noir 11 (indicateur net)

-L'EDTA $Na_2(C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2 : 2H_2O)$

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 $\text{Na}_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2 : 2\text{H}_2\text{O})$ qui est un sel disodique (acide éthylène diaminetetracétique) jusqu'au virage du couleur bleu, (Fig. 12)

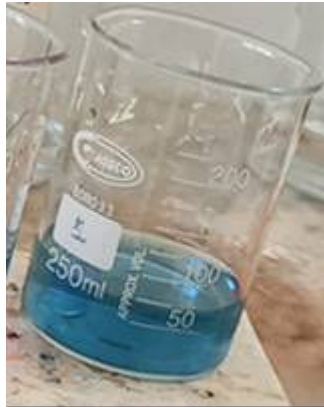


Fig.12- Dosage de Tht.

Calcul

$\text{THT} = V \cdot 2 \cdot 10$ en mg/L ($\text{THT} \leq 500$ mg/l)

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

Dosé par titrage volumétrique(Fig.13).

Principe : le titre hydrométrique calcique indique le teneur en sel de calcium



Fig. 13-Dosage du calcium.

Réactif :

- Hydroxyde de sodium NaOH
- Murexide HSN indicateur
- EDTA Na_2 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 $\text{Na}_2(\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2 ; 2\text{H}_2\text{O})$
- Disodique (acide éthylène diamine titracétique) jusqu'à virage du couleur mauve foncé.

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

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

Détermination de Mg Connaissant la dureté totale d'une part et la dureté calcique d'autre part, par calcul le magnésium est estimé par la différence entre la dureté et le calcium exprimés :

Calcul : Mg en ppm de $\text{CaCO}_3 = \text{TH} - \text{Ca}^{2+}$

1.4.11 Détermination du sodium (Na^+)

Dosé à l'aide d'un spectrophotomètre JENWAY PFP7 Flame Photometer, (Fig. 14).



Fig. 14-Dosage du sodium par spectrophotomètre.

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.

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/l;

Procéder à La dilution de l'échantillon.

Les concentrations correspondent aux extinctions x Facteur de dilution.(Fig.14)

1.4.12 Détermination du potassium (K^+)

Dosé à l'aide d'un spectrophotomètre JENWAY PFP7 Flame Photometer, (Fig. 14).

Réactifs:

Dissoudre 1.907 g de KCl (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.

A partir 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 (Fig. 14).

Faire passer la solution de 10 mg/l trois fois, et ça doit afficher 10, fait 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.

1.4.13 Analyses bactériologiques

1.4.13.1 Les Coliformes et E. Coli

Mode opératoire :

1^{ère} étape : test présomptif de la présence ou l'absence des coliformes. On
ensemence :

- 3 tubes de 10 ml de BCPL (Fig. 15) à double concentration munis d'une cloche de Durham avec 10 ml d'eau à analyser ;
- 3 tubes de 10 ml de BCPL à simple concentration munis d'une cloche de Durham avec 1 ml d'eau à analyser ;
- 3 tubes de 10 ml de BCPL à simple concentration munis d'une cloche de Durham avec 0,1 ml d'eau à analyser.



Fig. 15- Les tube de BCPL.

→ On agite pour homogénéiser tout en vidant l'air dans la cloche et placer les tubes dans une étuve à 37 °C pendant 48 heures (Fig.16).



Fig. 16- Etuve.

Après incubation, les tubes considérés comme positifs présentent un trouble dans toute la masse liquide, avec virage du violet au jaune et un dégagement de gaz dans la cloche.

Expression des résultats des Coliformes totaux : le nombre des coliformes totaux par 100 ml est obtenu en comptant le nombre des tubes positifs en se référant à la table de MacCredy qui nous donne le nombre le plus probable (NPP).

2^{ème} étape : test confirmatif de la présence ou l'absence des colibacilles (*E. Coli*).

→ On repique chaque tube de BPCL positif 2 à 3 gouttes par une anse bouclée ou une pipette pasteur dans un tube de bouillon Schubert muni d'une cloche de Durham

→ On incube à 44 °C pendant 24 heures ;

→ On considère comme positifs tous les tubes présentant à la fois ; Un trouble avec un dégagement gazeux ; Anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *E. Coli* Après adjonction de 2 à 3 gouttes de réactif de Kovacs (Fig. 17).



Fig. 17- Réactif de Kovacs.

1.4.13.2 Expression des résultats des Coliformes fécaux

Le dénombrement d'*E. Coli* s'effectue de la même façon que celui des coliformes totaux sur la table de Mac Credy.

1.4.13.3 Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

Milieu de culture : Bouillon de Rothe à (D/C), Bouillon de Rothe à (S/C),
Milieu de confirmation Eva Litsky

Mode opératoire :

1^{ère} étape : Test présomptif. On ensemence

□ 3 tubes de 10 ml bouillon de Rothe (D/C) avec 10 ml d'eau à analyser ;

- 3 tubes de 10 ml bouillon de Rothe (S/C) avec 1 ml d'eau à analyser ;
- 3 tubes de 10 ml de bouillon de Rothe (S/C) avec 0,1 ml d'eau à analyser ;
- On incube à 37 °C à 48 heures ;

Les tubes présentant un trouble microbien sont considérés comme positifs et sont soumis au test confirmatif

2^{ème} étape : Test confirmatif

- On agite les tubes puis on prélève de chacun d'eux successivement quelques gouttes avec pipette pasteur pour les reporter dans des tubes de milieu Eva Litsky à l'éthyle violet d'acide de sodium ;
- On incube à 37 °C pendant 24 heures ;

L'apparition d'un trouble microbien confirme la présence d'un Streptocoque Fécale, parfois la culture s'agglomère au fond du tube en fixant le colorant et enformant une pastille violette de signification identique à celle du trouble.

Expression des résultats : les résultats de dénombrement sont exprimés comme ceux d'E. *Coli* en nombre de germes par 100 ml d'échantillon. En se référant à la table MacCredy.

Chapitre 2

Résultats et Discussions

1 Caractérisation hydrogéologique

1.1 Délimitation des aquifères

L'étude hydrogéologique a pour but de définir et de déterminer localement tous les horizons aquifères et leur étendue dans le secteur d'étude (Allalou et al., 2024). Notre objet d'étude focalise uniquement l'étude de la nappe superficielle du sable et gravier de la vallée de l'Oued Guebli à cet endroit.

Les données des colonnes des logs stratigraphiques recueillies pour les forages réalisés dans la vallée de l'Oued Guebli depuis la Direction des Ressources en Eau (DRE) de la wilaya de Skikda pour Six forages.

Les études réalisées dans le bassin versant de l'Oued Guebli (Mecibah, 2017) aboutissaient à la détermination de quatre types de nappes :

- La première ; superficielle, du sable et gravier localisé plus au Nord dans la plaine de Collo, d'âge Quaternaire.
- *La deuxième ; superficielle, localisé dans la plaine de Tamalous-Bin El Ouiden, formé de sable et gravier, d'âge Quaternaire, qui constitue notre objet d'étude.*
- La troisième ; moyennement profonde (au delà de 75m de profondeur), du grès Numidien d'âge Tertiaire, elle possède une importante épaisseur (de 200 à 300m), mais de faible rentabilité hydrique et une eau de mauvaise qualité car un peu salée (Mecibah, 2017).
- La quatrième ; profonde (à plus de 350m), d'âge Secondaire, du grès quartziq, d'une épaisseur qui varie de 50 à 100m, elle se localise au centre de la plaine de Tamalous.

1.2 Description de la nappe superficielle alluviale du sable et gravier de la plaine de Tamalous

Cette nappe de Quaternaire est constituée par des sables et graviers, elle occupe la partie centrale de la vallée de l'Oued Guebli. Elle se situe le long et en bordure des Oueds, et s'étale du village de Guinguita au Sud jusqu'au Sud de la commune de Kerker. Elle est largement exploitée par les habitants de la région suite à leur importante réserve en eau souterraine pour l'alimentation en eau potable et en irrigation.

Selon la coupe hydrogéologique réalisée d'après les colonnes stratigraphiques recueillies de la direction des ressources en eau de la Wilaya de Skikda pour les deux forages de Tamalous 3 et Tamalous 4, implantés dans notre secteur d'étude, on peut déterminer les caractéristiques suivantes de cette nappe :

- ❖ Coupe hydrogéologique du profil (Tamalous 4 – Tamalous 3) : réalisée suivant une direction SSE-NNO, sur une longueur de 1.8 km, à partir de ce profil on peut conclure que le toit de la nappe est recouvert par une couche de limon de 6 m d'épaisseur, ce qui rend le toit semi-perméable, alors que le substratum imperméable (mur) est argileux, il se trouve à une profondeur qui varie de 18m au forage de Tamalous 4 et de 17m au forage de Tamalous 3 (Fig. 18), l'horizon aquifère du sable et gravier du Quaternaire a une épaisseur allant de 12m à 11m pour les deux forages respectivement. La nappe est semi-libre pour ce profil.

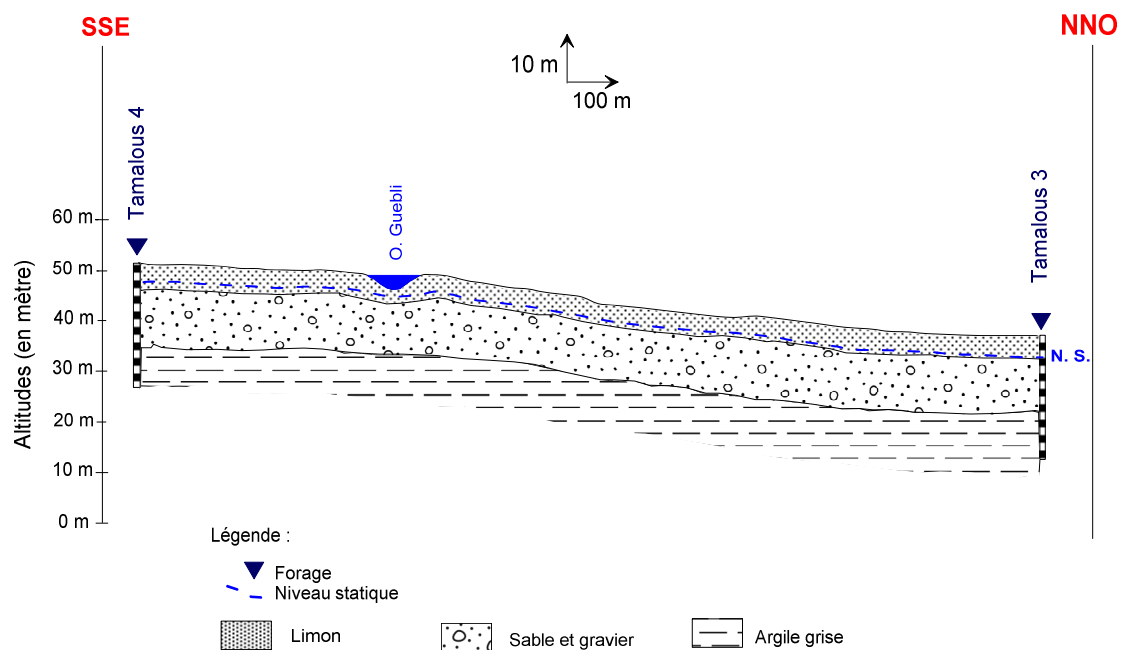


Fig. 18- Coupe hydrogéologique Tamalous 4- Tamalous 3, dans la nappe superficielle de la plaine de Tamalous-Bin El Ouiden.

1.3 Alimentation de la nappe de la plaine de Tamalous-Bin El Ouiden et conditions aux limites

Cette nappe est alimentée principalement par les eaux de ruissellement pluviales issues de drainage du massif montagneux très accidenté qui caractérise la région. La recharge se fait, en grande partie, directement sur la nappe par les

précipitations. Ainsi, une très importante alimentation provient des massifs situés à l'Ouest et au Sud-Ouest. Ces bordures Ouest et Sud-Ouest sont formées de terrasses fluviales et de dépôts de cônes de déjection surplombant la plaine (Chabour, 2004). Dans notre zone d'étude, la nappe reçoit, en outre, une alimentation latérale à partir de la nappe en gouttière et son affluent de l'Oued Ouaida, Oued Baroun, Oued Merraya, Oued Birrakad, etc.

2 Etude hydrochimique et bactériologique de la qualité des eaux de la nappe du sable et gravier dans le secteur de Tamalous

Les indicateurs physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau sont souvent assujettis à des variations spatiotemporelles induites par les activités anthropiques et nature géologique qui modifient les caractéristiques de l'eau et affectent sa qualité. A cet effet, les résultats obtenus des analyses des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier dans le secteur de Tamalous sont comparés suivant leur utilisation à deux types de normes :

- *Pour leur potabilité* ; elles sont comparées aux normes Algériennes des eaux souterraines destinées à l'alimentation en eau potable des populations décrites dans le Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire (JORADP, 2011) et les paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine (JORADP, 2014). Les normes manquantes sont ensuite complétées à partir des normes et lignes directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2017), (Tableau 4).
- *Pour leur aptitude d'utilisation en irrigation des cultures* ; la qualité de ces eaux est déterminée par le taux d'adsorption de sodium (SAR), le pourcentage de sodium, ainsi que par les diagrammes de Richards (Riverside ou Wilcox log) et de Wilcox.

Remarque :

*La norme est tracée dans les histogrammes par une **droite rouge**. Les paramètres bactériologiques, le sulfate, et le phosphate ont été dosés seulement pour la 2^{ème} campagne, alors que le magnésium et la dureté totale n'ont été analysés qu'à la 1^{ère}, suite à des contraintes au laboratoire de l'ADE.*

La ligne jaune marque la ligne directive à conseiller pour les paramètres physicochimiques qui n'ont pas de norme adéquate.

Tableau 4- Normes Algériennes (JORADP, 2011 et 2014) et de l'OMS (2017) des eaux potables.

Paramètres	Normes de l'eau potable
pH	6.5 < pH < 9
Conductivité électrique (CE)	2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Température	25°C
TDS (Total Dissolved Solids)	Pas de valeur guide reposant sur des arguments sanitaires, mais conseillé à moins de 1000 mg/L *
Turbidité	Pas de valeur guide reposant sur des arguments sanitaires, mais conseillé à moins de 5 NTU *
Calcium (Ca^{2+})	Pas de valeur guide reposant sur des arguments sanitaires, mais conseillé à moins de 200 mg/L
Dureté (THt)	500 mg/L de CaCO_3
Phosphate (PO_4^{3-})	5 mg/L
Potassium (K^+)	Pas de valeur guide reposant sur des arguments sanitaires, mais conseillé à moins de 12 mg/L
Sulfate (SO_4^{2-} mg/L)	400 mg/L
Chlorure (Cl^-)	500 mg/L
Magnésium (Mg^{2+})	Pas de valeur guide reposant sur des arguments sanitaires, mais conseillé à moins de 100 mg/L *
Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	Pas de valeur guide reposant sur des arguments sanitaires, mais conseillé entre 80 < TAC < 140 mg/L *
Sodium (Na^+)	Pas de valeur guide reposant sur des arguments sanitaires, mais conseillé à moins de 200 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).

2.1 Potabilité des eaux de la nappe alluviale du sable et gravier

2.1.1 Le pH

Tous les échantillons des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la région de Tamalous ont un bon pH pour les deux campagnes, la qualité de potabilité de ces eaux est parfaite en ce qui concerne leur acidité ou alcalinité. Les eaux des puits P1 (agglomération de l'amont Sud de Merraya), P3 (agglomération de Toucéne) et P4 (chef-lieu de la commune de Tamalous) sont légèrement acides, avec un pH minimal de 6.42 au puits P4 de la 1ère campagne, alors que les eaux des puits P2 (amont sud Merraya), P5 (Nord de la commune de Tamalous) et P6 (agglomération de Demnia) sont légèrement basique à neutre, le pH maximal est de 7.19 au puits P5 de la 2ème campagne, (Fig. 19).

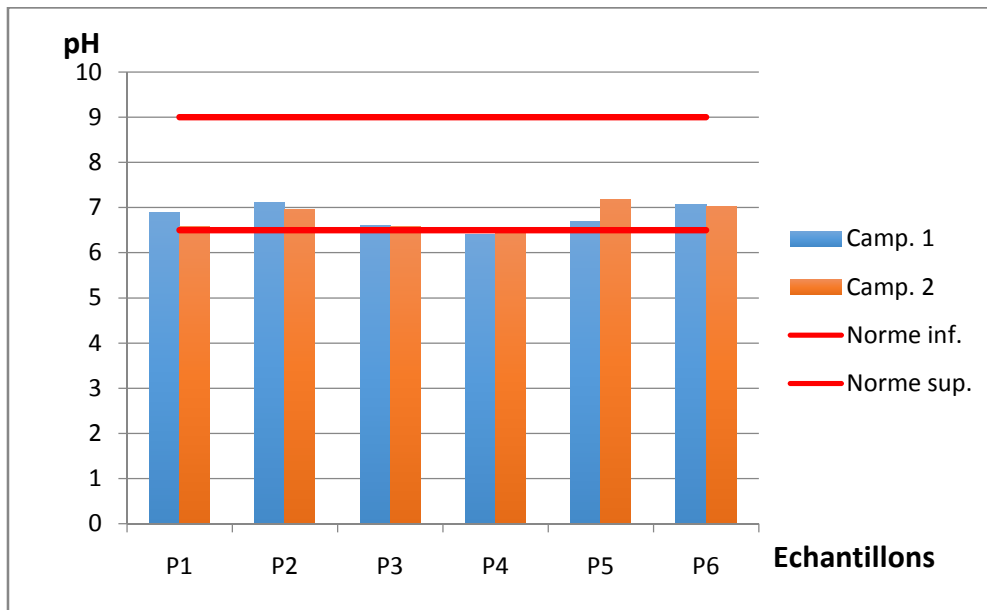


Fig. 19- Variation du pH.

2.1.2 Conductivité électrique

Les eaux souterraines de la nappe alluviale du sable et gravier dans le secteur de Tamalous possèdent des bonnes conductivités électriques, tous les échantillons ont des teneurs qui ne dépassent pas la norme, (Fig. 20).

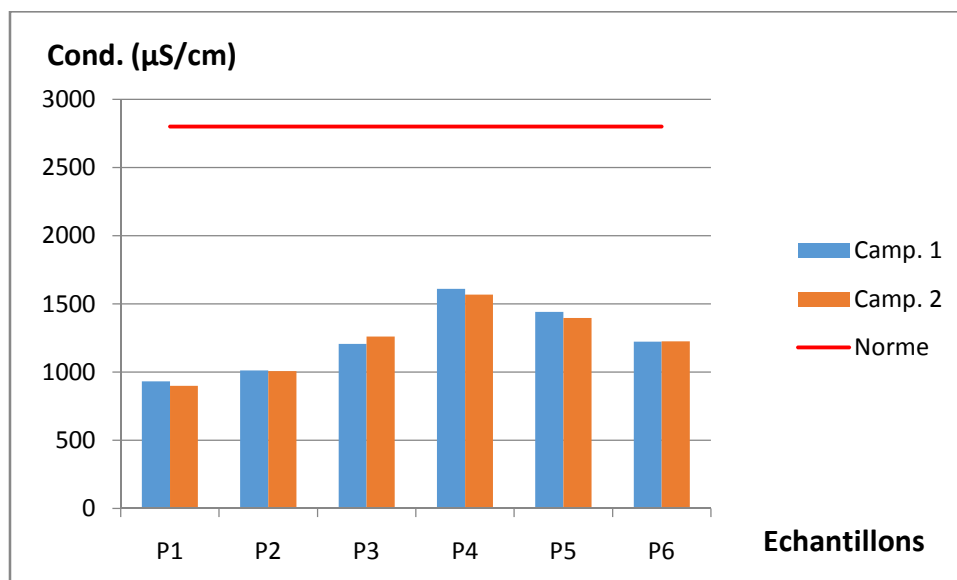


Fig. 20- Variation de la conductivité électrique.

les eaux du puits P1 (agglomération de l'amont Sud de Merraya) possèdent la conductivité la plus basse avec 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de la 2^e campagne, alors que, les eaux les plus conductrices sont celles du puits P4 (chef-lieu de la commune de Tamalous) avec 1610 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cela est due que le puits P1 et ses avoisinants P2 (Merraya) et P3

(Toucène) sont plus éloignées des agglomérations urbaines et des décharges publiques des eaux usées, contrairement du puits P4 qui reçoit une importante quantité des eaux usées domestiques riche de toutes sortes de polluants et minéraux provenant des rejets liquides de tous les habitants de la commune de Tamalous évacués largement dans la cours d'eau de Guebli sans aucun traitement, ce qui impact négativement la qualité des eaux drainées par la nappe de cet Oued, ainsi que pour les puits plus au Nord P5 (Nord de la commune de Tamalous) et P6 (agglomération de Demnia), (Fig. 20). Pour les deux campagnes, la conductivité électrique des eaux souterraines de cette nappe possède des valeurs proches.

2.1.3 Matières solides totales dissoutes (TDS)

La saveur de l'eau dont le niveau de matières solides totales dissoutes (Total Dissolved Solids) (TDS) est inférieur à environ 600 mg/L est généralement considérée comme bonne ; l'eau de boisson devient significativement et progressivement imbuvable quand les niveaux de TDS dépassent environ 1000 mg/L, (OMS, 2017). La présence de niveaux élevés de TDS peut provoquer un encroûtement excessif dans les conduites, les radiateurs, les chaudières et les appareils domestiques. Aucune valeur guide reposant sur des arguments sanitaires n'a été proposée pour les TDS (OMS, 2017). Le taux de TDS vient soit de sources organiques comme les feuilles, le plancton, les égouts. D'autres vient des ruissellements des zones urbaines, des sels de voirie. Il vient également de sources inorganiques comme les rochers ou l'air.

Le teneur de TDS sont acceptables dans tous les puits de la nappe du sable et gravier dans la région de Tamalous, elles ne dépassent pas 1000 mg/L. pour les deux campagnes les concentrations sont proches. La teneur minimale est de 448 mg/L au puits P1 (agglomération de l'amont Sud de Merraya) de la 2^{ème} campagne, alors que, la teneur maximale est dosée au niveau du puits P4 (chef-lieu de la commune de Tamalous) avec 790 mg/L, (Fig. 21). Les eaux souterraines de la partie Nord de la zone d'étude (P4, P5 et P6) possèdent les teneur les plus élevées, ce qui traduit l'effet de rejets liquides des eaux usées largement évacués dans cette partie puis drainés vers la nappe du sable et gravier sous-jacente, contrairement des puits de la partie Sud (P1, P2 et P3) où ces rejets liquides sont limités, (Fig. 21).

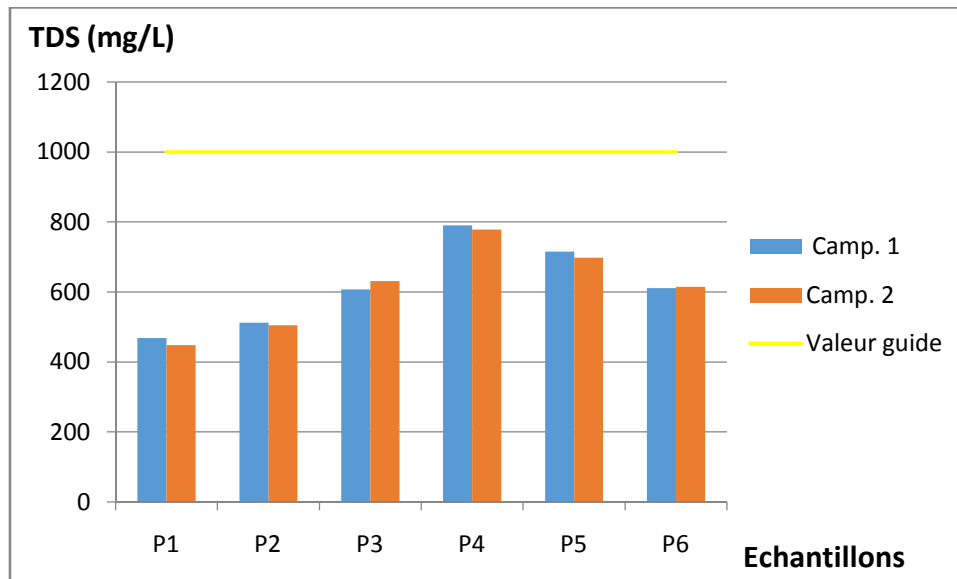


Fig. 21- Variation de la teneur en matières solides totales dissoutes (TDS).

2.1.4 La température

Les eaux souterraines de la nappe du sable et gravier dans le secteur étudié de Tamalous ont des bonnes températures qui ne dépassent pas la norme pour tous les puits étudiés. La température minimale est enregistrée au niveau du puits P3 (Toucène) de la 1^{ère} campagne avec 16.6°C, alors que la température maximale est de 21°C au puits P4 (chef-lieu de la commune de Tamalous), (Fig. 22).

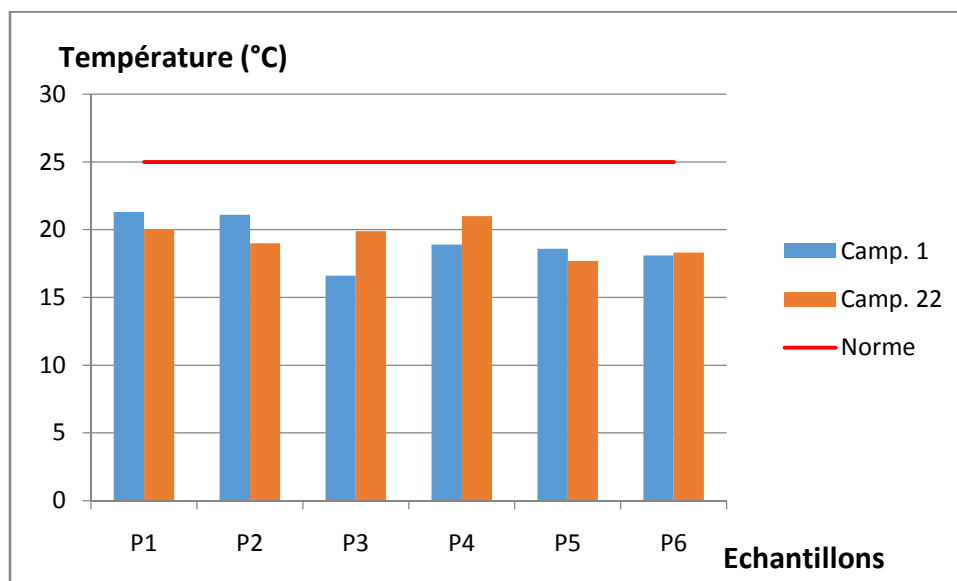


Fig. 22- Variation de la température.

2.1.5 La turbidité

Exprimée en unités de turbidité néphéométriques (UTN), décrit le trouble de l'eau provoqué par des particules en suspension (par exemple, l'argile et les limons), des précipités chimiques (par exemple, le manganèse et le fer), des particules organiques (par exemple, des débris de plantes) et des organismes (OMS, 2017). Il n'y a pas de valeur guide reposant sur des arguments sanitaires, mais une turbidité de 5 NTU est la valeur maximale tolérée dans un échantillon d'eau. Une turbidité plus faible, idéalement en dessous de 1 NTU, est souhaitée pour une désinfection efficace (OMS, 2017). Les eaux de la nappe du sable et gravier dans le secteur étudié ont une bonne turbidité pour les eaux campagnes. La turbidité maximale caractérise le puits P5 au Nord de la commune de Tamalous, avec 2.18 NTU de la 2^e campagne, (Fig. 23), cela est due aux variations brutales du gradient hydraulique d'où l'écoulement souterrain est plus rapide, en plus des pertes de charge quadratiques dues au pompage par les habitants de la région qui utilisent ce puits pour l'irrigation des champs agricoles. La teneur minimale est de 0.192 NTU au puits P4 de la 1^{ère} campagne. Les eaux souterraines de la 2^{ème} campagne sont plus turbides que celles de la 1^{ère} à cause des fortes précipitations juste avant la collection des échantillons de cette campagne.

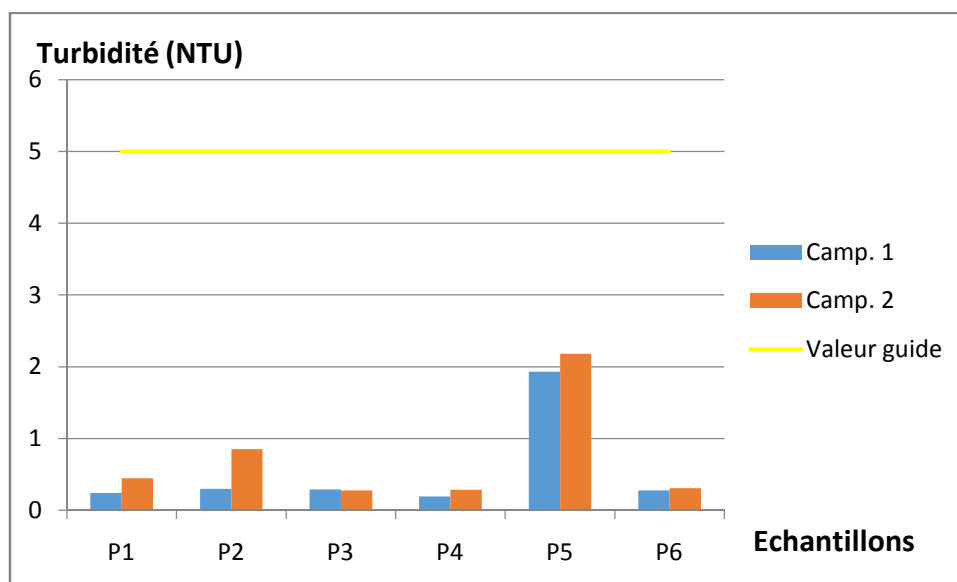


Fig. 23- Variation de la turbidité.

2.1.6 Le sodium

Il n'y a pas de valeur guide reposant sur des arguments sanitaires, mais une teneur de 200 mg/L est la valeur maximale tolérée dans un échantillon d'eau (OMS, 2017).

La teneur en sodium est acceptable dans tous les puits sur toute l'étendue de la nappe du sable et gravier de la zone d'étude, sa présence dérive des couches argileuses qui constituent soit le toit ou le mur de cette nappe. La teneur maximale est de 51.5 mg/L au puits P4 de la 2ème campagne (au chef-lieu de la commune de Tamalous), alors que la plus faible concentration est enregistrée au puits P2 (agglomération de Merraya) de la 1ère campagne avec 27.6 mg/L, (Fig. 24). Les teneurs dans les eaux de la 2ème campagne sont légèrement supérieures à celle de la 1ère à cause du lessivage des couches argileuses après une pluviométrie importante durant les mois qui précèdent l'échantillonnage. Ainsi, les eaux de la partie Nord (P4, P5 et P6) sont légèrement salines que les eaux de la partie Sud (P1, P2 et P3) suite à l'abondance des formations argileuses plus au Nord.

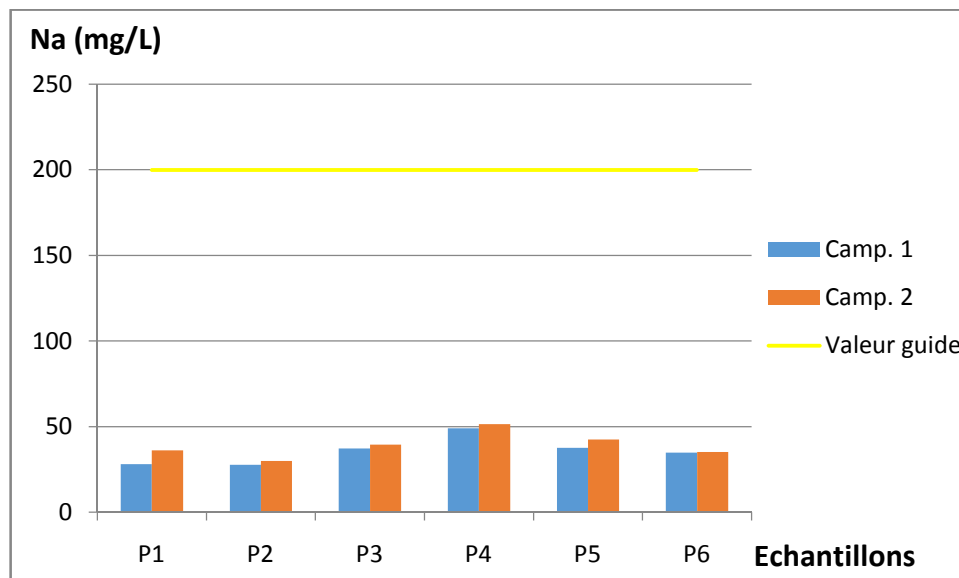


Fig. 24- Variation de la teneur en sodium.

2.1.7 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.* 2007). C'est l'un des deux sels en plus de magnésium qui constitue la dureté de l'eau. Le seuil de détection par le goût pour l'ion calcium se situe entre 100 et 300 mg/l, suivant l'ion associé (OMS, 2017). Dans les eaux de boisson cet élément n'a pas de norme limite reposant sur des arguments sanitaires, mais conseillé à moins de 200 mg/L.

Les eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de Tamalous ont une bonne concentration en calcium dans tous les puits. La teneur maximale est observée au

puits P6 (agglomération de Demnia) des deux campagnes avec 160.2 mg/L, il provient du lessivage des roches carbonatées plus particulièrement répondues à la partie amont de l'Oued Guebli, (Fig. 25). La teneur minimale est de 64.08 mg/L au puits P1 (agglomération de Merraya). Les eaux de la partie Nord de la zone d'étude (P5 et P6) sont les plus calcifiées.

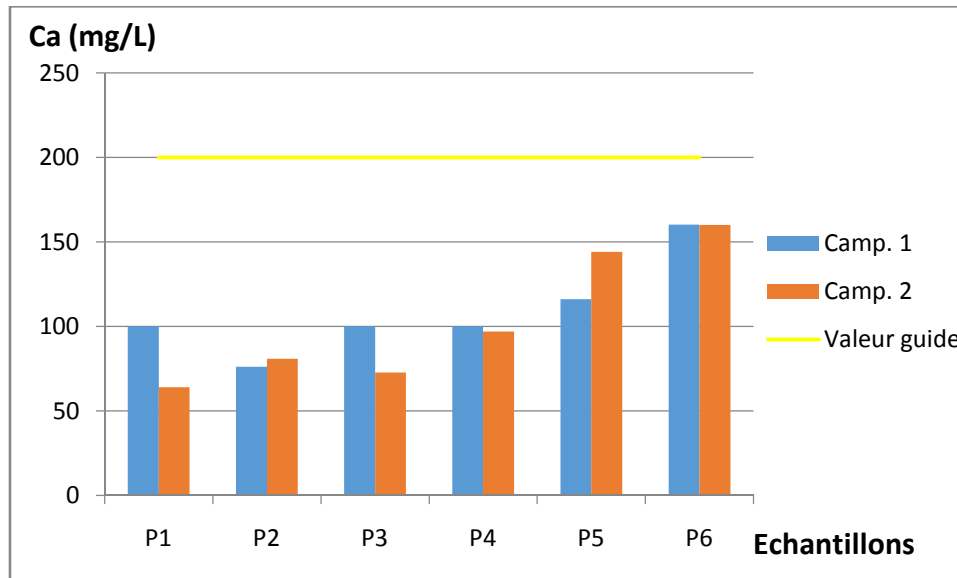


Fig. 25- Variation de la teneur en calcium.

2.1.8 Le magnésium

Il n'y a pas de valeur guide reposant sur des arguments sanitaires pour la teneur en magnésium dans les eaux potables, mais conseillé à moins de 100 mg/L, (OMS, 2017). Si la teneur en magnésium est supérieure à 100 mg/L, l'eau peut avoir un goût amer, ce qui peut être perçu comme un désagrément par certains consommateurs.

C'est un autre minéral qui constitue la dureté de l'eau. Il provient lui-même du lessivage des roches carbonatées dolomitiques et de l'hydrolyse acide des minéraux ferromagnésien tel que les Amphibole très répondus dans les roches métamorphiques. Suite à des contraintes des analyses au laboratoire de l'ADE, seulement les eaux souterraines de la 1ère campagne ont été analysées. Tous les puits qui captent la nappe du sable et gravier dans le secteur étudié possèdent des teneurs élevées en magnésium, ce qui confirme le fort lessivage des terrains dolomitiques depuis l'amont de l'Oued Guebli plus au Sud du bassin versant à Oum Toub jusqu'à notre secteur étudié à Tamlous. La teneur maximale est de 440.18 mg/L au puits P3

(agglomération de Toucène), alors que la teneur minimale est obtenue au niveau du puits P1 (amont Sud de Merraya) avec 279,98 mg/L, (Fig. 26).

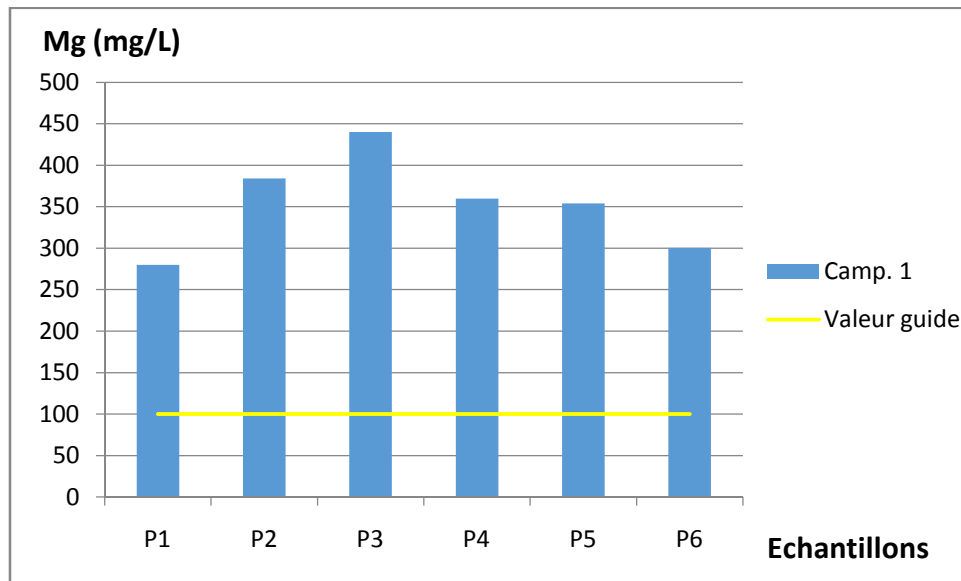


Fig. 26- Variation de la teneur en magnésium.

2.1.9 La dureté (Titre Hydrotimétrique)

Elle est habituellement exprimée en milligrammes de carbonate de calcium par litre. Elle provient du contact de l'eau avec des roches carbonatées et dolomitiques contenant des minéraux comme le calcium et le magnésium. Les eaux dures nécessitant considérablement plus de savon pour produire de la mousse. Il n'y a pas de norme guide reposant sur des arguments sanitaires de l'effet de la dureté, mais elle est conseillée à moins de 500 mg/L (JORADP, 2014).

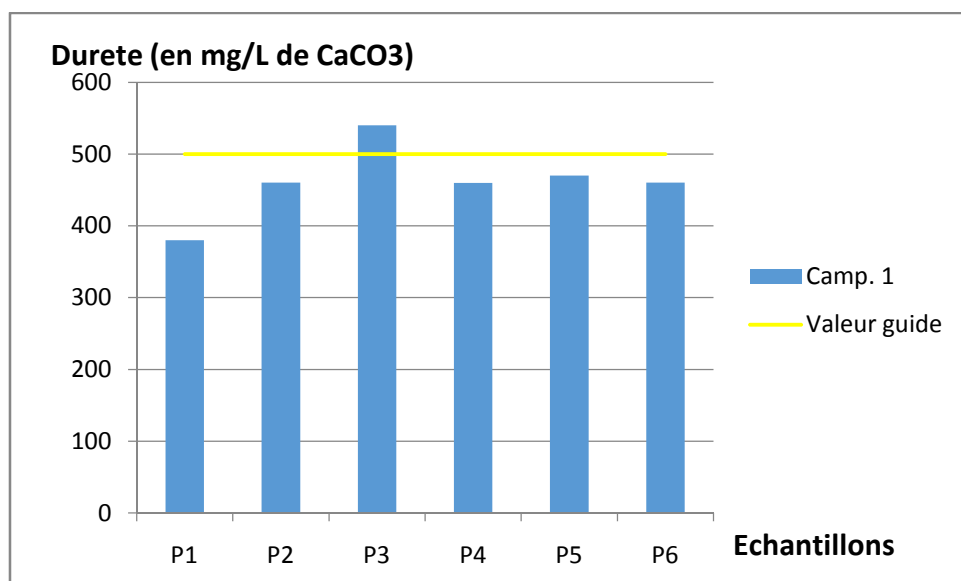


Fig. 27- Variation de la dureté (THt).

Seulement les eaux de la 1^{ère} campagne qui ont été analysées. Les eaux de la nappe du sable et gravier de la région de Tamalous possèdent une dureté élevée dans tous les puits, elle dépasse même la valeur guide au puits P3 (agglomération de Toucène) avec une teneur maximale de 540,3 mg/L, ce qui implique un fort lessivage des terrains carbonatés du bassin versant de l'Oued Guebli et l'important drainage de la cet Oued par la nappe semi libre du sable et gravier dans cette région (Fig. 27). La teneur minimale est de 380.1 mg/L au puits P1 (agglomération de l'amont Sud de Merraya).

2.1.10 Le potassium

Le potassium présent dans les eaux souterraines provient principalement de deux sources : soit naturelle libéré par la décomposition des minéraux comme le feldspath, la sylvite et les silicates (notamment les argiles), soit anthropique introduit par les effluents agricoles, l'utilisation d'engrais, et la décomposition des déchets. Il n'y a pas de norme prescrite pour cet élément, mais conseillée à moins 12 mg/L, (JORADP, 2014). Les eaux de la nappe du sable et gravier de la région de Tamalous ont une teneur en potassium dans tous les puits testés ; la teneur minimale est de 0.93 mg/L au puits P4 (chef-lieu de la commune de Tamalous) de la 2^{ème} campagne, alors que la concentration maximale est obtenue au puits P5 (Nord de la commune de Tamalous) de la même campagne avec 3.33 mg/L, (Fig. 28). Les eaux de la partie Sud et Nord sont légèrement riches en cet élément que les eaux de la partie centrale de la zone d'étude, ce qui implique le fort lessivage et hydrolyse des minéraux silicatés et argileux à ces endroits.

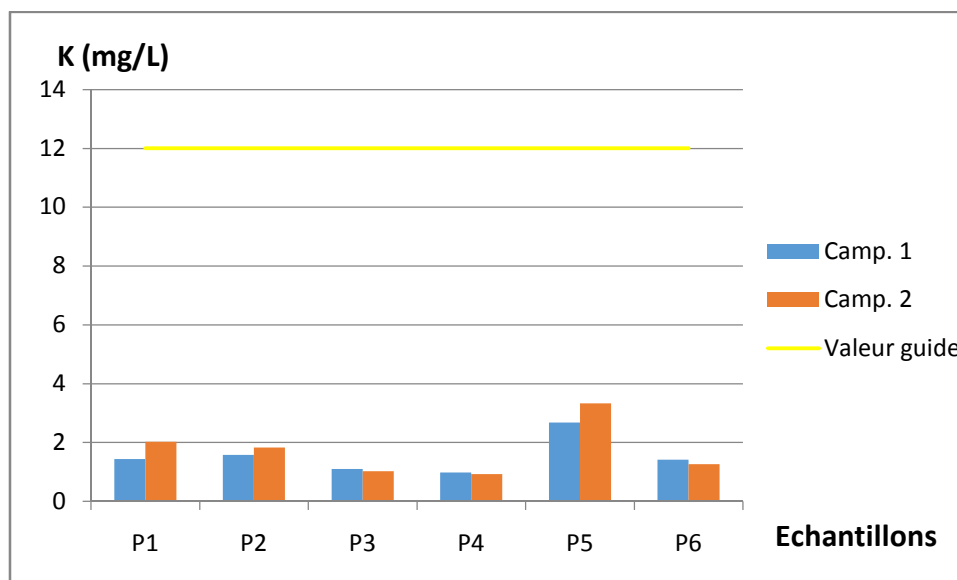


Fig. 28- Variation de la teneur en potassium.

2.1.11 Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

Le Titre Alcalimétrique Complet mesure l'alcalinité de l'eau, c'est à dire de sa teneur en bicarbonate et carbonates, exprimé en degrés français (°f) ou en milligrammes par litre (mg/L) de carbonate de calcium (CaCO_3). Il n'y a pas de norme limite pour ce paramètre, mais d'après l'OMS (2017) le TAC doit se situer entre une teneur minimale de 80 mg/L (8°f) et maximale de 140 mg/L (14°f) pour un bon équilibre du pH de l'eau. Cette teneur contribue à neutraliser les acides.

Les eaux de la nappe du sable et gravier dans notre zone d'étude ont des teneurs élevées pour la 1^{ère} campagne, ce qui traduit leur caractère alcalin à ce moment, alors que ces teneurs deviennent acceptables durant la 2^{ème} campagne, (Fig. 29). La teneur maximale est de 320 mg/L au puits P3 (agglomération de Toucène) de la 1^{ère} campagne, tandis que, la concentration minimale caractérise le puits P4 (chef-lieu de la commune de Tamalous) avec 125 mg/L.

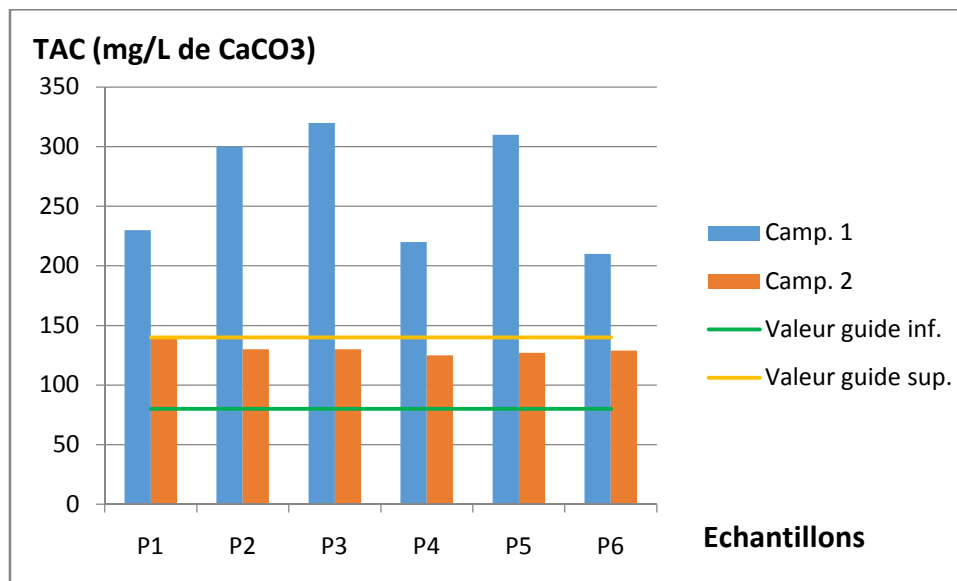


Fig. 29- Variation des teneurs du TAC.

2.1.12 Le chlorure

L'origine du chlorure dans les eaux souterraines est multiple, provenant à la fois de sources naturelles incluant l'altération des couches argileuses contenant du sel et les activités humaines qui comprennent les déjections animales, les engrais, et les eaux usées.

Les teneurs en chlorure sont acceptables dans tous les puits de la nappe du sable et gravier de la région de Tamalous pour les deux campagnes avec une légère hausse des eaux de la 1^{ère} campagne à cause de la solubilité et du lessivage des formations argileuses très répondues dans le bassin versant de l'Oued Guebli et la faible précipitation à ce moment, ce qui accentue la concentration de ce paramètre. Les puits de la partie Sud de la région (P1, P2 et P3) sont les plus chlorurées, à ce niveau s'exerce une activité agricole importante avec utilisation des engrais. La teneur maximale est de 231 mg/L aux puits P1, P2 et P3 (agglomérations de l'amont Sud de Merraya, agglomération de Merraya et agglomération de Toucène respectivement), alors que la concentration minimale est observée au puits P1 de la 2^{ème} campagne avec 71 mg/L, (Fig. 30).

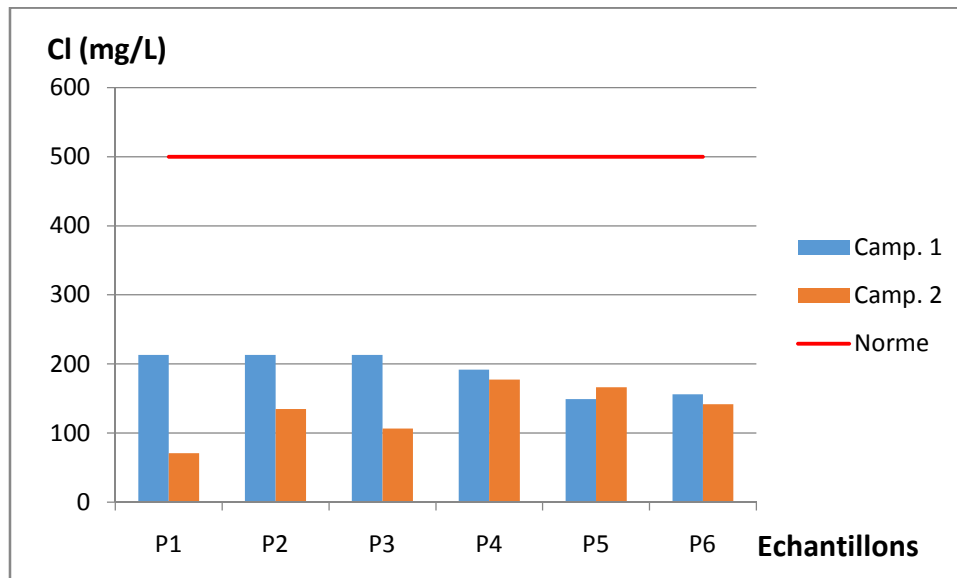


Fig. 30- Variation de la teneur en chlorure.

2.1.13 Le sulfate

Les sulfates sont naturellement présents dans divers minéraux. Le sulfate de calcium est la forme la plus souvent retrouvée dans les ressources en eau. Les concentrations les plus élevées dans les eaux souterraines sont généralement d'origine naturelle. Les sulfates peuvent également avoir une origine anthropique, notamment en raison des rejets industriels, agricoles (engrais) et domestiques (eaux usées).

Dans les eaux de la nappe du sable et gravier de notre zone d'étude, les teneurs en sulfate sont acceptables dans tous les échantillons des puits (largement < 400 mg/L). Une seule campagne qui a été analysée suite à des difficultés techniques au niveau de laboratoire de l'ADE. Les puits P1 et P2 localisés dans la partie Sud (de

l'agglomération de l'amont Sud de Merraya et de Merraya respectivement), ainsi que ceux de la partie centrale P4 (chef-lieu de la commune de Tamalous) et P5 (Nord de la commune de Tamalous) montrent les teneurs les plus élevées par rapport aux autres, cela est due à l'importante activité agricole qui caractérise la partis Sud et les forts débits des rejets des eaux usées largement évacués puis drainés dans la nappe dans la partie centrale, (Fig. 31). La teneur maximale est de 2.5 mg/L du puits P5 (Nord de la commune de Tamalous), alors que, la teneur minimale est observée au puits P6 (Demnia), avec 1.8 mg/L.

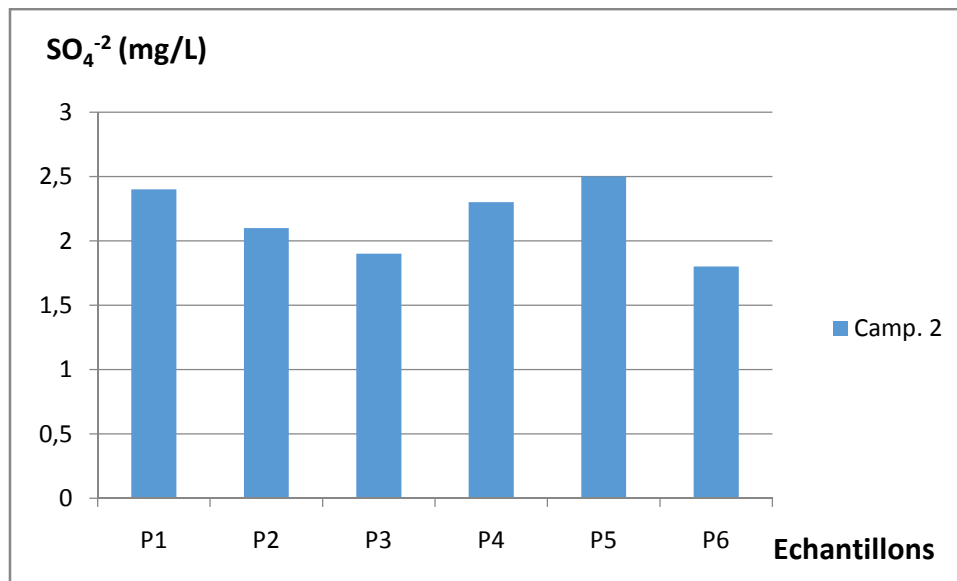


Fig. 31- Variation de la teneur en sulfate.

2.1.14 Le phosphate

L'origine des phosphates dans les eaux est le plus souvent liée aux rejets urbains et à la dissolution des engrais chimiques (NPK) issues des activités agricoles et les rejets d'élevage (Lecomet, 1998).

Une seule campagne qui a été dosé. Le phosphate se présente en concentrations acceptables dans tous les puits de la nappe du sable et gravier dans le secteur de Tamalous. La partie Sud de la zone d'étude P1, P2 et P3 (agglomération de l'amont Sud de Merraya, de Merraya et agglomération de Toucène, respectivement) possèdent des concentrations légèrement supérieures que la partie Nord, cela est due à l'importante activité agricole exercée au Sud, (Fig. 32). La teneur maximale est de 0.57 mg/L au puits P1 (agglomération de l'amont Sud de Merraya), tandis que la concentration minimale est de 0.4 mg/L au puits P4 (chef-lieu de la commune de Tamalous).

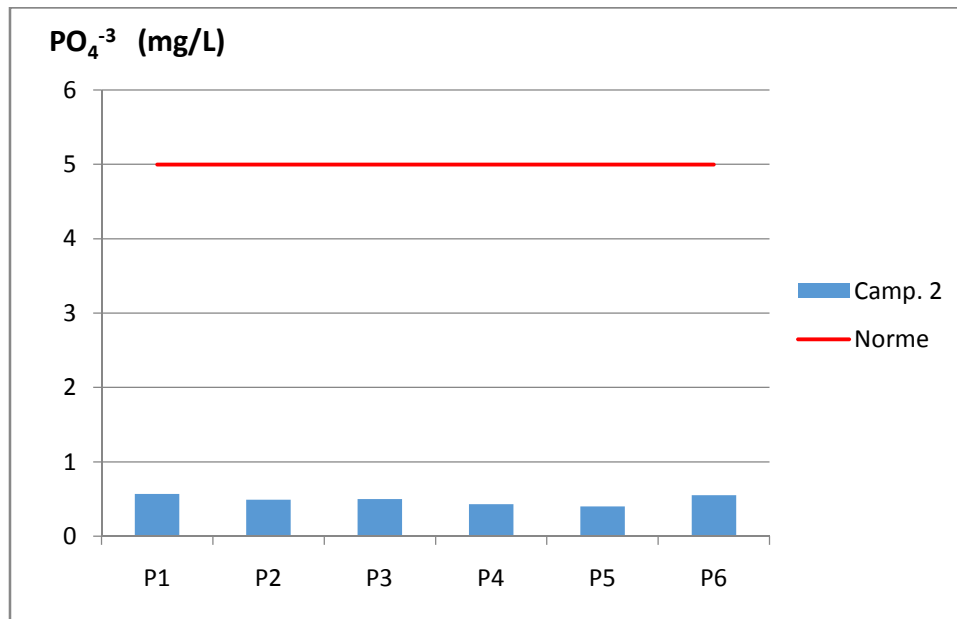


Fig. 32- Variation de la teneur en phosphate.

2.1.15 Les analyses bactériologiques

Une seule campagne pour les analyses bactériologiques qui a été effectuée. Les résultats ont montré que la qualité bactériologique est non satisfaisante pour les puits P1, P2, P3, P5 et P6 (agglomération de l'amont Sud de Merraya, de Merraya, agglomération de Toucène, Nord de la commune de Tamalous et l'agglomération de Demnia respectivement), localisés dans la partie Sud et Nord de la zone d'étude, cette non-conformité est due à la présence des indicateurs de pollution tels que les Coliformes totaux, les Coliformes fécaux, les streptocoques fécaux et l'*E. Coli*. La présence de ces germes dans l'eau des puits met en évidence une pollution d'origine fécale, humaine ou animale due aux rejets des eaux usées domestiques et ménagères évacuées sans aucun traitement dans l'Oued Guebli et ces affluents à côté de ces puits, infiltrés ensuite dans les formations perméables de la nappe alluvionnaire du sable et gravier captée par ces puits, ainsi, que le mauvais équipement de ces puits mal construits et non traités par aucun additif sanitaire, (Tableau 5).

Exclusivement, les eaux souterraines du puits P4 du chef-lieu de la commune de Tamalous localisé dans la partie centrale du secteur étudié sont de bonne qualité bactériologique avec absence totale de germes pathogènes, (Tableau 5). Ce puits est mieux construit.

Tableau 5- Résultats des analyses bactériologiques des sources étudiées.

Puits	Coliformes totaux (n/100 ml)	Coliformes fécaux (n/100 ml)	Streptocoques fécaux (n/100 ml)	E. Coli (n/100 ml)	Qualité des eaux
P1	>100	+	25	+	Mauvaise
P2	>100	+	0	+	Mauvaise
P3	>100	+	9	+	Mauvaise
P4	>100	-	0	-	Bonne
P5	>100	+	59	+	Mauvaise
P6	>100	+	23	+	Mauvaise

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

L'irrigation des cultures et des espaces verts, quelle que soit l'origine de l'eau, requiert une attention particulière. Le potentiel de l'eau à transporter des polluants pose une série de défis sérieux, notamment en matière de santé publique, de conservation des sols et de protection environnementale et écosystémique (Boudjebieur, 2022).

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

Plusieurs facteurs servent à déterminer la qualité de l'eau d'irrigation pour une bonne protection et croissance des espèces végétales et une bonne fertilité du sol. Parmi ces facteurs on peut citer :

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

Paramètre chimique important pour estimer la suffisance de l'eau pour l'irrigation à titre de teneur en sodium ou de risque alcalin pour les cultures, qui est exprimé en taux d'adsorption de sodium (SAR). Les ions calcium et magnésium sont importants étant donné qu'ils ont tendance à contrer l'effet du sodium.

Une concentration plus élevée de SAR entraîne une dégradation de la structure physique du sol (Tableau 6). Le sodium est adsorbé et s'attache aux particules de sol. Le sol devient alors dur et compact lorsqu'il est sec et imperméable à la pénétration de l'eau (Wilcox, 1948). Le SAR est calculé à partir du rapport sodium sur calcium et magnésium, il est défini par la relation suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad \left(\text{en } \frac{\text{még}}{l} \right)$$

Toutes les concentrations sont exprimées en *milliéquivalents* de charge *par litre*. les résultats sont représentés dans le Tableau 7.

Tableau 6- 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	Domage sévère.

Tableau 7- Résultats du SAR des eaux de la nappe du sable et gravier pour la 1^{ère} campagne.

Points	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	Na (meq/l)	SAR	Résultats
P1	4,99	23,04	1,21	0,32	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau
P2	3,79	31,62	1,20	0,28	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau
P3	4,99	36,22	1,61	0,35	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau
P4	4,99	29,61	2,13	0,51	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau
P5	5,79	29,14	1,63	0,39	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau
P6	7,99	24,71	1,51	0,37	Eau de bonne qualité pour l'irrigation, pas de restriction sur l'utilisation d'eau

2.2.1.2 Pourcentage de sodium (Na %)

Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau (Couture, s. d.) Le pourcentage de sodium soluble est calculé en respectant les proportions relatives des cations présents dans l'eau, où les concentrations d'ions sont exprimées en méq/L :

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

D'une manière générale, le pourcentage de Na ne devrait pas dépasser 60% (Peiyue et al., 2014) dans les eaux d'irrigation, (Tableau 8).

Tableau 8 - 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 3.38 % au minimum à 5.86 % au maximum, avec une moyenne de 4.42 %, ce qui implique que les eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la région de Tamalous sont de très bonne qualité en ce qui concerne leur teneur en sodium, (Tableau 9).

Tableau 9- Pourcentage de sodium soluble dans les eaux de la nappe du sable et gravier de Tamalous.

Puits	% Na	Conséquences de l'utilisation de l'eau pour l'irrigation
P1	4,28 %	Pas de risque
P2	3,38 %	Pas de risque
P3	3,84 %	Pas de risque
P4	5,86 %	Pas de risque
P5	4,65 %	Pas de risque
P6	4,52 %	Pas de risque

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 10- 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.

Les valeurs obtenues à partir des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier dans la région de Tamalous ont été reportés sur le diagramme de Richards (Fig. 33).

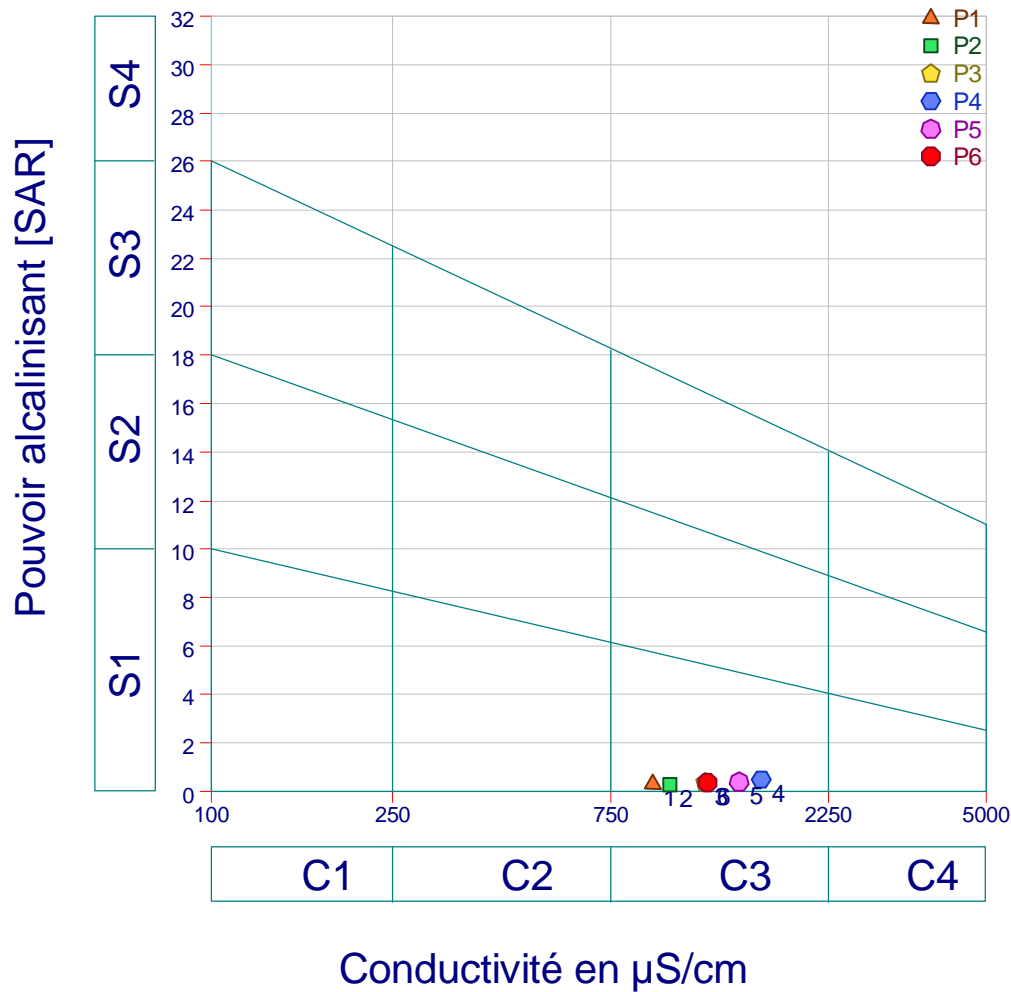


Fig. 33- Classification des eaux de la nappe superficielle du sable et gravier de Tamalous de la 1^{ère} campagne par la méthode de Richards (Riverside).

Tous les échantillons des eaux de la nappe superficielle du sable et gravier de Tamalous appartient à la classe **C3S1, Admissible à l'irrigation**.

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 :

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

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

Le diagramme de la classification de Wilcox (Fig. 34), montre que les eaux de la nappe du sable et gravier de la région de Tamalous appartiennent tous à la classe : **Bonne**, ce qui confirme leur bonne utilisation comme eau d'irrigation.

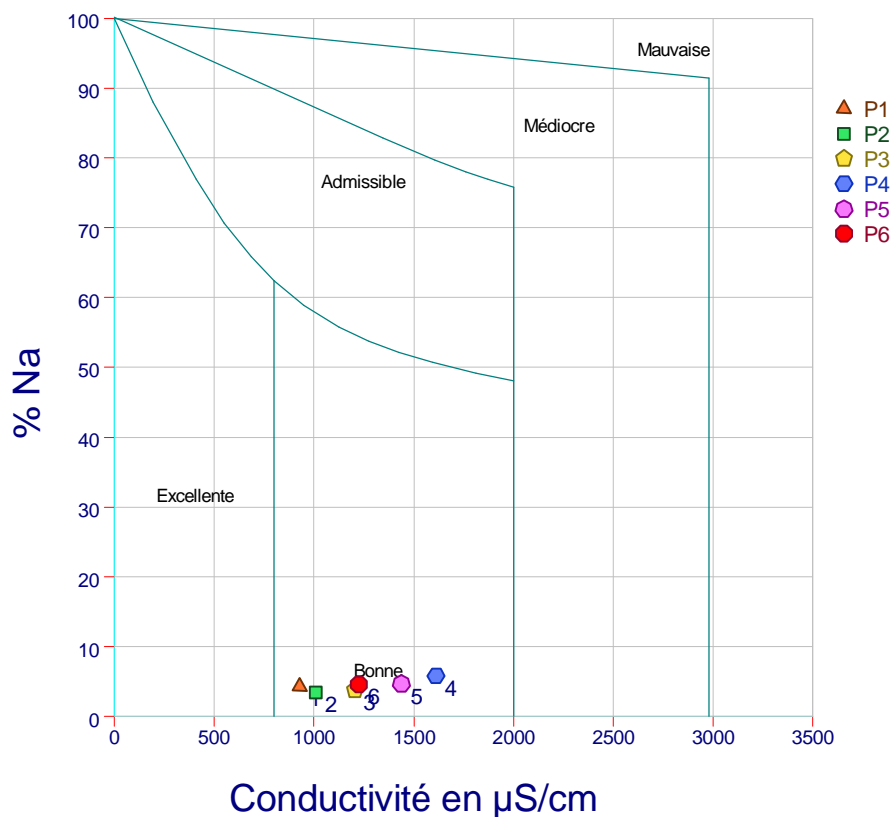


Fig. 34- Classification des eaux de la nappe superficielle du sable et gravier de la région de Tamalous (1^{ère} campagne) par la méthode de Wilcox.

3 Détermination des faciès chimiques

Pour la détermination des faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la région de Tamalous on se sert de plusieurs méthodes et diagrammes.

3.1 Faciès chimiques par le diagramme de Piper

D'après le diagramme de Piper (1944), les eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de la région de Tamalous possèdent un faciès *chloruré et sulfaté calcique et magnésien* dans tous les puits étudiés, à l'exception du puits P5 de la sortie Nord de la commune de Tamalous où le faciès est *bicarbonaté calcique et magnésien*, (Fig. 35).

Ce qui indique que ces eaux sont souvent associées à des processus géochimiques tels que la dissolution de sels (chlorure de sodium, sulfate de calcium) ou l'interaction

avec des minéraux salifères, ainsi que le lessivage des terrains agricoles fertilisés par des engrais. Les cations (Ca^{2+} et Mg^{2+}) sont fréquemment présents dans les eaux souterraines en raison de la dissolution des roches carbonatées (calcaires et dolomies).

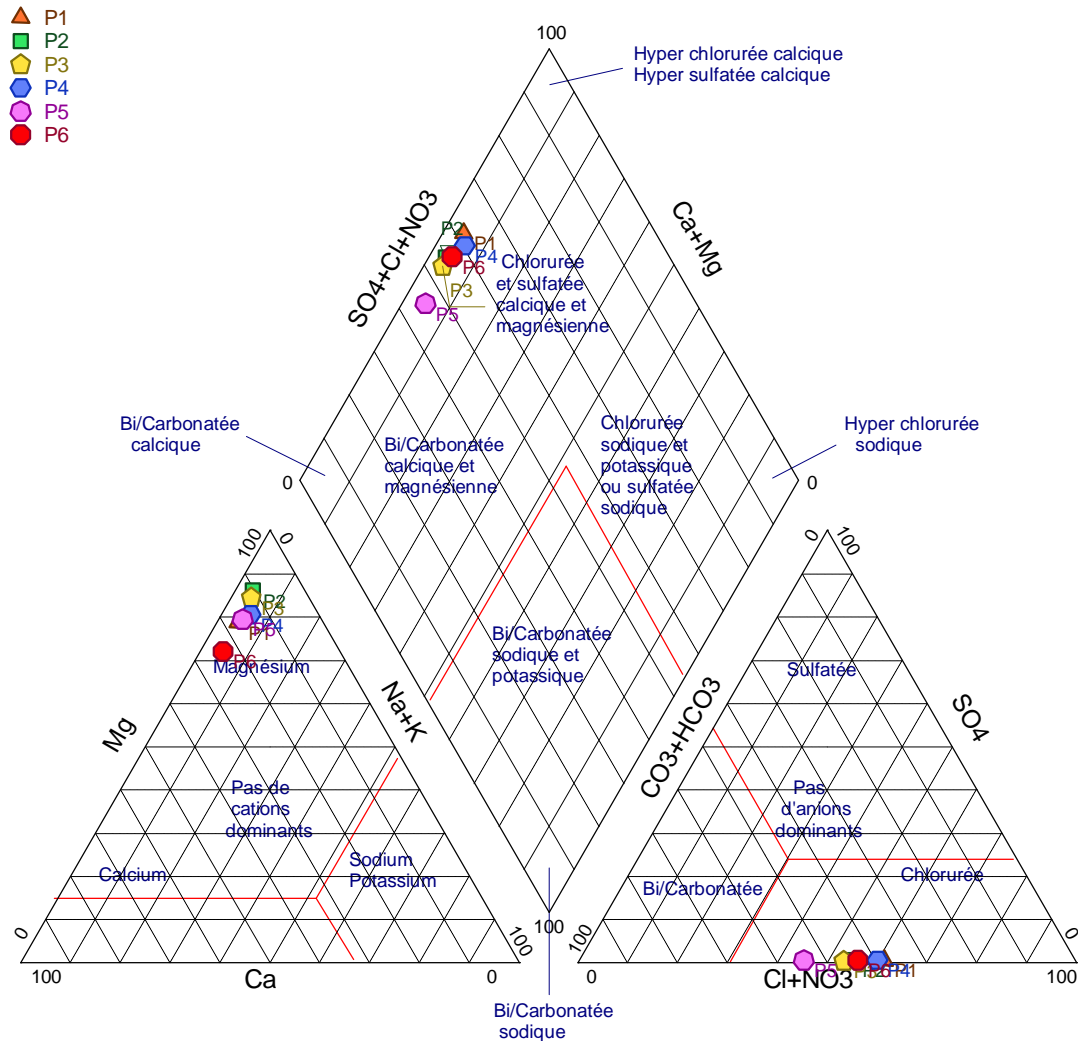


Fig. 35- Faciès chimique des eaux souterraines de la 1^{ère} campagne d'après le diagramme de Piper dans la nappe su sable et gravier de Tamalous.

3.2 Faciès chimiques par le diagramme de Schoeller-Berkaloff

D'après ce diagramme (Schoeller, 1962), les eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de Tamalous présentent le faciès chimiques bicarbonaté et chloruré magnésien dans toute la zone étudiée, (Fig. 36) :

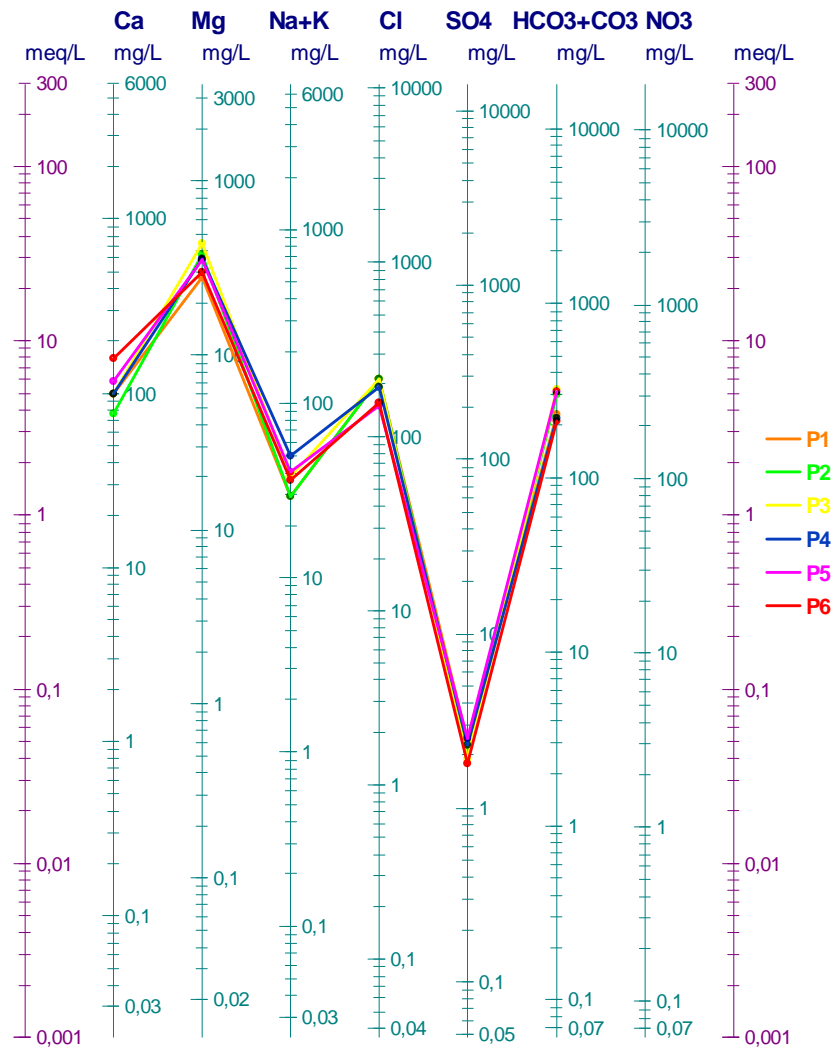


Fig. 36- *Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de Tamalous pour la 1^{ère} campagne d'après le diagramme de Schoeller-Berkaloff.*

3.3 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.

Le faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier dans le secteur de Tamalous est *chloruré magnésien* dans les Cinq puits P1, P2, P3, P4 et P6, ce qui correspond au puits de l'agglomération de l'amont Sud de Merraya, agglomération de Merraya, agglomération de Toucéne, chef-lieu de la commune de Tamalous et l'agglomération de Demnia plus au Nord respectivement, (Fig. 37).

Le puits P5 de la sortie Nord de la commune de Tamalous possède un faciès *bicarbonaté magnésien*, (Fig. 37).

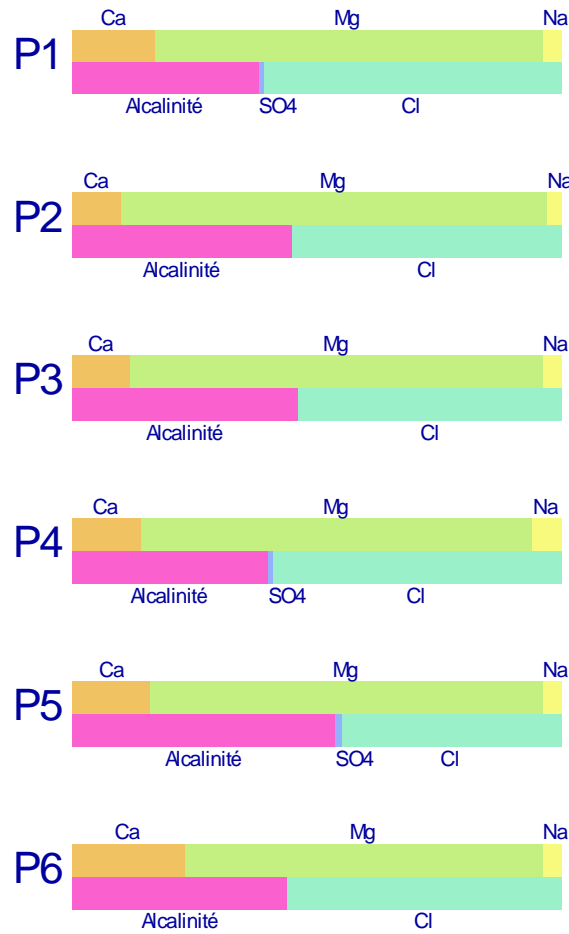


Fig. 37- *Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de Tamalous de la 1^{ère} campagne d'après le diagramme de Stabler.*

3.4 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 ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} et Mg^{2+}) et les anions à droite (Cl^- , $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$, $\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^-$).

D'après la Figure 38 ; le faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de Tamalous est *chloruré magnésien* dans les cinq puits de prélèvement P1, P2, P3, P4 et P6 ce qui correspond au puits de l'agglomération de l'amont Sud de Merraya, agglomération de Merraya, agglomération de Toucène, chef-lieu de la commune de Tamalous et l'agglomération de Demnia plus au Nord respectivement, ce qui correspond à dissolution et l'hydrolyse des minéraux carbonatés et argileux

dans cette zone. Uniquement les eaux du puits P5 de la sortie Nord de la commune de Tamalous qui possèdent un faciès *bicarbonaté magnésien* due au lessivage des roches carbonatées et dolomitiques.

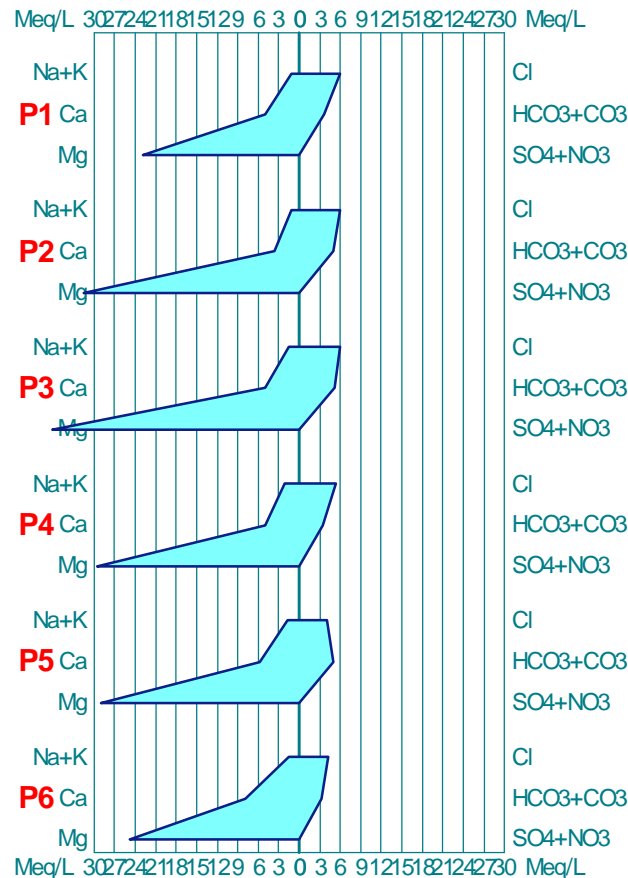


Fig. 38- *Faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de Tamalous de la 1^{ère} campagne d'après le diagramme de Stiff.*

Pour toutes les méthodes utilisées de la détermination des faciès chimiques on constate que les eaux souterraines de la nappe alluviale superficielle du sable et gravier du secteur de Tamalous sont caractérisées par la dominance des éléments chimiques suivants :

- *Pour les anions* ; une domination importantes des chlorures et sulfates, ce implique l'impact des horizons géologiques qui constituent le toit et le mur du système aquifère de la région, les couches d'argiles aux alentours du bassin versant de l'Oued Guebli constituent une source majeur de chlorures. L'origine anthropique de ce paramètre n'est pas entièrement exclue, en faite les rejets des eaux usées domestiques très pollués infiltrés dans cette nappe superficielle contribuent eux-mêmes à la richesse en cet élément. Les sulfates

issues des engrais et provient généralement du lessivage des terrains agricole avoisinants.

- *Pour les cations* ; une domination importante du magnésium et d'un degré moindre du calcium, la principale source est géologique, ils proviennent de la dissolution des roches dolomitiques et carbonatées réparties principalement dans la partie amont du bassin versant de l'Oued Guebli.

4 Origine de la minéralisation

4.1 Indice de saturation

Pour étudier l'interaction eau-roche, nous avons déterminé l'indice de saturation des minéraux, à l'aide du logiciel WATEQ (In Plummer et al., 1984). Le calcul de ces paramètres a été effectué pour la 1^{ère} campagne.

L'indice de saturation (*IS*) :

$$IS = \log(PAI.Ks^{-1})$$

Avec : *PAI* : produit d'activité ionique des espèces qui composent le minéral.

Ks : produit de solubilité du minéral.

Le calcul de cet indice, par le logiciel DIAGRAMME, montre que plusieurs éléments chimiques sont susceptibles d'être impliqués dans le processus de précipitation/dissolution.

Une solution est en équilibre avec une phase minérale lorsque : $-0,5 < IS < 0,5$ (flux de dissolution égal au flux de précipitation). La solution est dite sous-saturée lorsque $IS < -0,5$ et sursaturée lorsque $IS > 0,5$

Les évaporites (anhydrite, gypse) possèdent un indice de saturation inférieur à -0.5 (dissolution dans l'eau), ils se trouvent à l'état de sous saturation. Les concentrations en SO_4^{2-} , Ca^{2+} sont très importantes dans l'eau, (faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien), à cause de la nature géologique et les activités agricoles en plus des rejets liquides étendus. Le groupe carbonatée lui-même possède des indices de saturations < -0.5 pour les minéraux d'aragonite, ce qui implique la forte solubilité des carbonates dans quelques endroits où le faciès chimique été bicarbonaté magnésien comme celui du puits P5.

L'état de sursaturation où $IS > 0.5$ (précipitation des minéraux dans l'eau) et d'équilibre ($-0,5 < IS < 0,5$) n'apparaissent que dans le cas des puits de l'amont au

Sud et de l'aval à la sortie Nord de la zone d'étude au P1, P2, P5 et P6 (agglomération de l'amont Sud de Merraya, agglomération de Merraya, Nord de la commune de Tamalous et agglomération de Demnia plus au Nord, respectivement) du groupe des minéraux carbonatés (calcite, dolomite et rarement d'aragonite), (Tableau 11).

Tableau 11 - Evolution de l'indice de saturation *des eaux souterraines de la nappe du sable et gravier de Tamalous de la 1^{ère} campagne.*

No m	Indices de saturation				
	Anhydrite (CaSO ₄)	Aragonite (CaCO ₃)	Calcite (CaCO ₃)	Dolomite (Ca, Mg) (CO ₃) ₂	Gypse (CaSO ₄ 2H ₂ O)
P1	-3,68	-0,57	-0,42	-0,09	-3,45
P2	-3,93	-0,4	-0,25	0,51	-3,7
P3	-3,89	-0,85	-0,7	-0,51	-3,64
P4	-3,76	-1,13	-0,99	-1,14	-3,52
P5	-3,66	-0,65	-0,5	-0,24	-3,42
P6	-3,64	-0,29	-0,14	0,25	-3,39

CONCLUSION GÉNÉRALE

La nappe alluviale du sable et gravier du secteur de Tamalous est localisé dans le sous bassin versant de l'Oued Guebli qui appartient lui-même au bassin Côtier Constantinois Centre. Situé à l'Ouest du chef-lieu de la wilaya de Skikda à une distance de 45 km, la commune de Tamalous compte une population recensée à plus de 64000 habitants.

La commune de Tamalous qui englobe la nappe du sable et gravier possède un climat de type tempéré caractérisé par deux saisons l'une humide et froide et l'autre sèche et chaude avec drainage extérieur non indispensable suivant la méthode de De Martonne.

L'analyse de l'environnement géologique est fondamentale à l'étude hydrogéologique et physicochimique des eaux. La structure géologique de la région a permis d'identifier les matériaux et les formations susceptibles de conduire l'eau des précipitations en profondeur, tout en permettant la détermination du type d'aquifère.

Les études réalisées dans le bassin versant de l'Oued Guebli aboutissaient à la détermination de quatre types de nappes superficielles et profondes, seule la nappe superficielle du sable et gravier localisée dans la plaine de Tamalous-Bin El Ouiden, d'âge Quaternaire, qui constitue notre objet d'étude. Cette nappe de Quaternaire occupe la partie centrale du bassin versant de l'Oued Guebli. Elle se situe le long et en bordure de cet Oued et ses affluents, et s'étale du village de Guinguita au Sud jusqu'au Sud de la commune de Kerker. Elle est largement exploitée par les habitants de la région suite à leur importante réserve en eau souterraine pour l'alimentation en eau potable et en irrigation. La coupe hydrogéologique réalisée suivant une direction SSE-NNO, sur une longueur de 1.8 km tracée d'après les colonnes stratigraphiques recueillies des deux forages ; de Tamalous 3 et Tamalous 4, implantés dans notre secteur d'étude nous a permis de déterminer que le toit de cette nappe est recouvert par une couche de limon de 6 m d'épaisseur, ce qui rend le toit semi-perméable, alors que le substratum imperméable (mur) est argileux, il se trouve à une profondeur qui varie de 18 m au forage de Tamalous 4 et de 17 m au forage de Tamalous 3, l'horizon aquifère du sable et gravier du Quaternaire a une épaisseur allant de 12 m à 11 m pour les deux forages respectivement. La nappe est de type semi-libre pour ce profil.

De ce fait, l'étude de la qualité des eaux de cette nappe semble indispensable et impérative pour la protection de la santé humaine, la protection de l'environnement et la lutte contre chaque éventuelle pollution ou vulnérabilité menaçant la détérioration de la qualité des ces eaux potentiellement exploitées.

Le suivi de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de la nappe du sable et gravier du secteur étudié pour les deux campagnes de prélèvement dans les six puits qui les captent dans la vallée de l'Oued Guebli répartis du sud vers le nord suivant le sens d'écoulement de ce dernier passant par l'agglomération de l'amont Sud de Merraya, de Merraya, agglomération de Toucène, chef-lieu de la commune de Tamalous, Nord de la commune de Tamalous et l'agglomération de Demnia respectivement montre que ces eaux souterraines sont de bonne qualité physicochimique du point de vue de leur potabilité dans tous les puits étudiés d'une part et de mauvaise qualité bactériologique d'autres part, à cause de la présence de germes pathogènes dangereux sur la santé humaine qui mettent en évidence une pollution d'origine fécale, humaine ou animale due aux rejets des eaux usées domestiques et ménagères évacuées sans aucun traitement dans l'Oued Guebli et ces affluents, infiltrés ensuite dans les formations perméables de la nappe du sable et gravier captée par ces puits, à l'exception du puits P4 du chef-lieu de la commune de Tamalous qui présente une qualité acceptable pour les deux.

Les teneurs en magnésium, dureté, bicarbonate et carbonate de cette nappe sont relativement élevées dans tous les puits étudiés durant les deux campagnes; cette forte concentration en ces sels est due au fort lessivage des formations carbonatées des roches dolomitiques, calcaires et marneuses, qui constituent le principal faciès de la partie Sud du sous bassin versant de l'Oued Guebli (nappes telliennes et flysch) largement lessivées par les eaux de ruissellement.

Les valeurs du SAR, %Na, les méthodes de Richard (Reverside), de Wilcox, montrent que ces eaux sont de bonne qualité pour leur utilisation en irrigation.

Pour toutes les méthodes utilisées à la détermination des faciès chimiques ; méthode de Piper, Schoeller-Berkaloff, Stabler et de Stiff, on constate que les eaux souterraines de la nappe alluviale superficielle du sable et gravier du secteur de Tamalous sont caractérisées par la domination des faciès suivants : *chloruré et sulfaté magnésien* et *bicarbonaté magnésien*, dues à la présence des éléments chimiques suivants :

- *Pour les anions* ; une domination importantes des chlorures et sulfates, ce implique l'impact des horizons géologiques qui constituent le toit et le mur du système aquifère de la région, les couches d'argiles aux alentours du bassin versant de l'Oued Guebli constituent une source majeur de chlorures. L'origine anthropique de ce paramètre n'est pas entièrement exclue, en faite, les rejets des eaux usées domestiques très pollués infiltrés dans cette nappe superficielle contribuent eux-mêmes à la richesse en cet élément. Les sulfates issues des engrais et provient généralement du lessivage des terrains agricole avoisinants.

- *Pour les cations* ; une domination importante du magnésium et d'un degré moindre du calcium, la principale source est géologique, ils proviennent de la dissolution des roches dolomitiques et carbonatées réparties principalement dans la partie amont du bassin versant de l'Oued Guebli.

L'indice de saturation qui exprime l'interaction eau-roche montre que les concentrations en SO_4^{-2} , Ca^{2+} sont importantes dans l'eau, (faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien), à cause de la nature géologique et les activités agricoles en plus des rejets liquides étendus. Le groupe carbonaté lui-même possède des indices de saturations $< - 0.5$ pour les minéraux d'aragonite, ce qui implique la forte solubilité des carbonates dans quelques endroits où le faciès chimique été bicarbonaté magnésien.

Références bibliographiques

- Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière (ANIREF). (s. d). Monographie Wilaya de Skikda. République Algérienne Démocratique et Populaire, Ministère de l'Industrie. <https://fr.scribd.com/document/754475390/MONOGRAPHIE-WILAYA-SKIKDA>
- Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH). (2000). Cahier de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques, n°04, septembre 2000.
- Allalou, R., Brahim, D., Gouiez, R., Kantar, C. (2024). Contribution à l'étude hydrogéologique des horizons aquifères de la vallée de l'Oued Guebli, Wilaya de Skikda. [Mémoire de Master]. Université de Skikda.
- Allalou, R., Gouiez, R., Kantar, C., Brahim, D. (2024). *Contribution à l'étude hydrogéologique des horizons aquifères de la vallée de l'Oued Guebli, Wilaya de Skikda* [Mémoire de Master]. Université 20 Aout 1955 Skikda.
- ANIREF (Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière). (2020). Monographie Wilaya de Skikda. Ministère de l'Industrie.
- 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.
- Benamira, F. (2017). *Etude diachronique de l'évolution de la végétation forestière par télédétection : cas de la wilaya de Skikda* [Mémoire de Master]. Université des Frères Mentouri Constantine.
- Bira, B., Chaouche, N. et Messisha, S. (2018). *Variations spatiales et temporelles de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued Guebli, dans la région de Tamalous, Skikda* [Mémoire de Master]. Université de Skikda.
- Boubellouta, F., Guernane, S. (2023). *Caractérisation des propriétés climatiques et leur impact sur les ressources et les potentialités hydrauliques dans la Wilaya de Skikda* [Mémoire de Master]. Université de Skikda.
- Bouillin, J.P., (1979). *Géologie alpine de la petite Kabylie dans les régions de Collo et El Milia* [Thèse de doctorat]. Université de Paris.
- Boukich, O., Ben-tahar, R., Brahm, M., Alzain, M. N., Noman, O., Abdelaaty, A., El guerrouj, S. B, Smiri, Y. (2025). Assessment of groundwater quality for irrigation

- using a new customized irrigation water quality index, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Volume 59, 102346. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2025.102346>
- Chabour, N. (2004). La surexploitation des eaux souterraines dans les plaines littorales : la nappe de télezza dans la plaine de Collo (nord-est algérien). *Sciences et technologie*. 22 :127-132p.
- Couture, I., (s. d.). Analyse d'eau pour fin d'irrigation. *Agri-Réseau*. Consulté le 01 Juin 2025, sur <https://www.agrireseau.net/petitsfruits/documents/analyse%20eau.pdf>
- Debbech, B., Guemari, D-E. (2017). *Utilisation des réservoirs aquifères dans une région humide (cas de la zone de Skikda Nord-est algérien) (Les bases physiques pour la gestion des nappes souterraines)* [Mémoire de Master]. Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued.
- Delga, D., (1969). Mise au point sur la structure do nord-est de la Bériberie. Publ. Serv. Géol. Algérie. NII. Sér., 39, 89-131.
- Dermatas, D. (2017). Waste management and research and the sustainable development goals: Focus on soil and groundwater pollution. *Waste Management & Research* Volume (35), Issue 5, 453-455. <https://doi.org/10.1177/0734242X17706474>
- Domzig, A. (2006). *Déformation active et récente, et structuration tectono-sédimentaire de la marge sous-marine Algérienne*. [Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale]. Portail HAL theses. <https://theses.hal.science/tel-00144684v1>
- Douadi, A. (2016). *Etude sédimentologie des dépôts fluviatiles d'Oued Guebli dans la région de Tamalous (Skikda)* [Mémoire de Master]. Université Kasdi Merbah Ouargla. DSpace université de Ouargla. <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/12166/3/DOUADI%20Abd%20elhamid.pdf>
- Fuster, R., Escobar-Avaria, C., Silva-Urrutia, K., Moya-Jofré, H., & Palacios-Quezada, A. K. (2024). Local institutional adaptation to groundwater overexploitation challenges: case study from Copiapó aquifer, Chile. *Water International*, 49(3–4), 369–376. <https://doi.org/10.1080/02508060.2024.2321805>
- Gaya, S., Rezzouk, Z. (2013). *Etude de l'Alimentation en eau potable du couloir de Tamalous, Ain Kechra, Beni Oulbane et zones environnantes à partir du barrage de Guenitra* [Mémoire d'ingénieur, Ecole Nationale Polytechnique El-Harrach, Alger]. DSpace ENP. <https://repository.enp.edu.dz/jspui/handle/123456789/8801>

- Google. (s. d.). [Carte Google Maps de la région de Tamalous]. Repéré le 21 avril 2025 à https://www.google.com/maps/@36.8110672,6.677198,12z/data=!5m1!1e4?a_uthuser=0&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDQxNi4xIKXMDSOASAFQAw%3D%3D
- Hamian, H. (1998). *Modélisation de la plaine de Collo* [Mémoire de Magister]. Université de Constantine.
- 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, 53^{ème} Année. <https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2014/F2014013.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, 50^{ème} Année. <https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2011/F2011034.pdf>
- Jun, X., Lingqing, W., Ningpan, C., Ting, L., Zhangdong, J., Jörg, R. (2021). Groundwater hydrochemistry, source identification and pollution assessment in intensive industrial areas, eastern Chinese loess plateau. *Environmental Pollution*, Volume (278), 116930. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116930>
- Khelfaoui, H., Dajbri, L., Lakhal, F-Z, Chaffai, H., Hani, A., Sayad, L. (2020). Determination of the origin of mineralization and groundwater salinity in the Adrar region in the southwest of Algeria. *Journal of Groundwater Science and Engineering* Vol.8 No.2: 158—171. DOI: 10.19637/j.cnki.2305-7068.2020.02.007
- Lecomet, P. (1998). *Les sites pollués: traitement des sols et des eaux souterraines*. Lavoisier.
- Martonne, E., de (1913). *Traité de géographie physique : climat, hydrographie, relief du sol, biogéographie*, Armand Colin (Firme), Bibliothèque numérique de la Sorbonne, consulté le 11 avril 2025, <https://nubis.bis-sorbonne.fr/ark:/15733/m4jf>
- Mecibah, I. (2017). *Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant d'Oued Guebli (Nord-Est Algérien)* [Thèse de doctorat]. Université d'Annaba.
- 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>
- OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel). (2008). Sahara and sahel observatory. Aquifer system of the Northern Sahara. Concerted management of a transboundary basin. Synthesis collection n°1.

- 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.
- Plummer, L.N., Jones B.F., and Truesdell A.H. 1976 (revised 1978, 1984). WATEQF, a FORTRAN IV version of WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibria of natural waters. U.S. Geological Survey Water Resources Investigations paper 76-13.
- Raoult, J.F., (1966). Nouvelles données sur les flyschs du Nord du Kef Sidi Dris et dans la zone du Col des Oliviers (Nord du Constantinois, Algérie), *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7 :516-543.
- Richards, L.A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. *Soil Science*, 78 (2), 154. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-195408000-00012>
- Rodier, J. Legube, B., Merlet, N., *et coll.* (1996). *L'analyse de l'eau* (9^{ème} édition). Dunod.
- Roland SIMLER Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. (s. d.). DIAGRAMMES : Logiciel d'hydrochimie multilingage en distribution libre. (Version 6.77) [Logiciel]. Source <https://terre-et-eau.univ-avignon.fr/equipements-de-terrain-et-de-laboratoire/logiciels/>
- Schoeller, H. (1962). *Les eaux souterraines*. Masson.
- 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>
- Thorntwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55–94.
- Touati, M., Benhamza, M., Bouhafs, F. (2018). Impact of agricultural pollution on the quality of groundwater in the Guelma-Boucheougouf irrigated area (Northeastern Algeria). *Rev. Sci. Technol., Synthèse* 37, 103-112. <https://www.ajol.info/index.php/srst/article/view/182105>

UNESCO (2015). *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2015 : L'eau pour un monde durable*.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000232179>

UNESCO. (2022). *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2022 : Les eaux souterraines, rendre visible l'invisible*.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380720>

Villa, J. M., (1980). *La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des couffins Algéro-Tunisiens* [Thèse doctorat d'état]. Université Paris VI.

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

Nom et prénom : BOUCHEMA Rihab

Nom et prénom : TOUTAOU Marwa

Titre : Caractérisation des faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe alluviale du sable et gravier dans le secteur de Tamalous (W. de Skikda)

Résumé :

La nappe du sable et gravier d'âge Quaternaire de la plaine de Tamalous qui s'étend largement aux rives de la vallée de l'Oued Guebli est ses affluents constitue l'aquifère superficiel de tout un système d'horizon de nappes allant jusqu'aux grandes profondeurs pour des autres plus ancienne. Cette nappe possède un caractère semi-libre à travers la coupe tracée dans notre secteur d'étude, avec un toit mince limoneux et un mur argileux, elle présente une épaisseur allant de 11m à 12m. L'interaction des eaux de cette nappe avec les roches des couches avoisinantes et leur réservoir contribue notamment à l'enrichissement ou l'appauvrissement de ces eaux en quelques éléments chimiques qui se trouvent soit à l'état de sous saturation ou de sursaturation. L'étude hydrochimique des eaux de six puits implantés à travers le secteur étudié et qui captent cette nappe a montré que les eaux de cette nappe possèdent dans la majorité des puits un faciès chloruré et sulfaté magnésien et d'un degré moindre bicarbonaté magnésien, due au lessivage des terrains géologiques traversés sans oublier le lessivage des engrais des terrains agricoles et l'impact des rejets des eaux usées largement évacuées. L'indice de saturation qui exprime l'interaction eau-roche montre que les concentrations en SO_4^{-2} , Ca^{2+} sont importantes dans l'eau. Ces eaux sont de bonne qualité chimiques du point de vue de leur potabilité et utilisation en irrigation, mais de mauvaise qualité bactériologiques dans la plu part des puits en ce qui concerne leur potabilité.

Mots clés : Oued Guebli, Faciès chimique, Puits, Tamalous, Irrigation, Potabilité.

ملخص

تُشكل طبقة المياه الجوفية الرملية والحصىية من الزمن الجيولوجي الرابع في سهل تمالوس، والتي تمتد على نطاق واسع إلى ضفاف وادي قبلي وروافده، الطبقة المائية السطحية لنظام كامل من آفاق المياه الجوفية التي تصل إلى أعماق كبيرة بالنسبة للطبقات الأقدم. تتميز هذه الطبقة المائية بخصائص شبه حرة عبر المقطع المرسوم في منطقة دراستنا، مع سقف رقيق من الطمي و جدار طيني، ويبلغ سمكها من 11 مترًا إلى 12 مترًا. يساهم تفاعل مياه هذه الطبقة المائية مع صخور الطبقات المجاورة وخزنها بشكل خاص في إثراء هذه المياه أو استنزافها من بعض العناصر الكيميائية التي تكون إما في حالة تحت التشبع أو فوق التشبع.

أظهرت الدراسة الهيدروكيميائية للمياه لستة آبار تقع في جميع أنحاء المنطقة المدروسة وتستغل هذه الطبقة المائية أن مياه هذه الطبقة تتميز في غالبية الآبار بسحنة كلوريدية وكبريتات المغنيسيوم، وبدرجة أقل، بيكربونات المغنيسيوم، وذلك بسبب ترشيح التكوينات الجيولوجية التي تمر بها، ناهيك عن ترشيح الأسمدة من الأراضي الزراعية وتأثير تصريف مياه الصرف الصحي التي يتم التخلص منها على نطاق واسع. يشير مؤشر التشبع، الذي يعبر عن التفاعل بين الماء والصخر، إلى أن تركيزات SO_4^{2-} و Ca^{2+} مرتفعة في الماء. تتمتع هذه المياه بجودة كيميائية جيدة من حيث صلاحيتها للشرب واستخدامها في الري، ولكن جودتها البكتريولوجية رديئة في غالبية الآبار فيما يتعلق بصلاحيتها للشرب.

الكلمات المفتاحية: وادي قبلي، السحنة الكيميائية، الآبار، تمالوس، الري، صلاحية الشرب.