

N° d'ordre : 3993

THESE

En vue de l'obtention du : **DOCTORAT**

Centre de Recherche : GEOPAC

Structure de Recherche : Géo-biodiversité et Patrimoine Naturel

Discipline : Environnement

Spécialité : Science de l'environnement

Présentée et soutenue le 19/10/2024 par :

Mariam EL-MARMAR

**Evaluation et Calculs statistique de la qualité physico-chimique des
eaux superficielles de L'Oued Assaka, Province de Guelmime**

JURY

MOUFTI Ahmed	PES, Centre Régional des Métiers de l'Education et de la Formation Casa-Settat	Président
LOUKILI Hayat	MCH, Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia	Rapporteuse/Examinatrice
ABROUKI Younes	MCH, Faculté des Sciences Rabat, Université Mohammed V	Rapporteur/Examinateur
ELHALIL Alaaedine	MCH, Ecole Supérieure de Technologie de Casablanca	Examineur
JAAFAR Adil	MCH, Ecole Supérieure de l'Education et de la Formation, Berrechid	Examineur
FEKHAOUI Mohammed	PES, Institut Scientifique, Université Mohammed V de Rabat	Directeur

Année Universitaire : 2023/2024

Dédicace

«Ce n'est pas parce que les choses sont difficiles que nous n'osons pas, c'est parce que nous n'osons pas qu'elles sont difficiles» Sénèque

La chose la plus belle et la plus importante c'est le savoir qui donne un vrai sens à la vie et qui nous aide à exister dans ce monde, pour ce fait je dédie ce travail:

➤ **A ma très chère mère et à mon très cher père, à qui j'exprime l'estime, le dévouement, le respect et l'amour pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour mon éducation et ma formation. Merci d'être mes premiers professeurs.**

➤ **A mes amies et à tous mes collègues du laboratoire Géo-biodiversité et Patrimoine Naturel, avec qui j'ai passé des moments de formation dans la bonne humeur, l'offrande de vie et à qui je souhaite un futur prometteur.**

➤ **A tous ceux que j'aime et qui ont une pensée pour moi.**

➤ **Au signe de ma profonde affection, je vous dédie cette thèse en vous souhaitant bonheur et réussite. Que Dieu vous bénisse et vous protège en toutes circonstances.**

Remerciements

Avant tout, je dois remercier ALLAH le tout puissant qui m'a donné le courage, la volonté et la force pour mener à terme ce travail. Cette thèse est le fruit de quatre années de travail ardu, elle n'aurait pu être menée à bien sans le soutien et les conseils d'un grand nombre de personnes dont je suis profondément redevable.

Le travail présenté dans ce mémoire de thèse a été réalisé au sein du Laboratoire de Géo-biodiversité et Patrimoine Naturel.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma plus profonde gratitude à mon encadrante, Professeur FEKHAOUI Mohammed, de m'avoir accueilli dans son laboratoire et d'avoir consacré son temps, ses efforts et sa patience à la direction de cette thèse ainsi qu'à la confiance qu'elle m'a accordé(e) pendant la réalisation de ce travail. Veuillez trouver ici le témoignage de ma profonde reconnaissance et ma grande estime.

Mes remerciements et mes respects s'adressent également à Professeur LOUKILI Hayat, Professeur d'Enseignement à la Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia, d'avoir accepté de présider le Jury de cette thèse et d'examiner ce travail.

Ma reconnaissance s'adresse à ABROUKI Younes , Professeur d'Enseignement Supérieur à la Faculté des Sciences Rabat, Université Mohammed V pour l'intérêt qu'elle a porté à ce travail en acceptant d'être rapporteur et membre de jury de cette thèse.

Mr ELHALIL Alaaedine, Professeur d'Enseignement Supérieur à l'Ecole Supérieure de Technologie de Casablanca, m'honore en acceptant d'être Examinateur et de participer au jury de thèse. Qu'il me permette de lui exprimer mes vifs remerciements.

Je tiens tout particulièrement à remercier Mr MOUFTI Ahmed, Professeur au Centre Régional des Métiers de l'Education et de la Formation Casa-Settat, pour sa gentillesse et ses encouragements. Je le remercie d'avoir accepté de juger ce travail.

Je tiens à remercier Mr le Professeur JAAFAR Adil, Professeur à l'Ecole Supérieure de l'Education et de la Formation, Berrechid d'avoir accepté d'être membre du jury et d'examiner mon travail de thèse.

J'exprime mes profonds remerciements à mes respectueux professeurs au sein du Laboratoire de Géo-biodiversité et Patrimoine Naturel qui ont assuré notre formation théorique et pratique ainsi que tous les collègues, doctorants et personnel de Laboratoire.

Résumé

L'évaluation de la qualité des eaux superficielle a été étudiée dans le bassin versant d'Oued d'Assaka de la province du Guelmim au Sud-Ouest du Maroc. Des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur l'eau d'une quatre points de prélèvements. Dans la région du Guelmim, l'eau de surface est généralement et naturellement minéralisé. Les résultats obtenus pour ces analyses dans le bassin versant d'Assaka étudié ont montré une stabilité ou niveau alcalinité de l'eau vu que le potentiel d'Hydrogène avec des valeurs moyennes oscillant entre (7.77 et 8.34). La température du site d'étude connue une différence saisonnières selon les changements chimiques régional. La conductivité électrique du bassin d'Assaka présente une augmentation des valeurs qui dépassent les normes par 2140 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ sur le point 4 et 4830 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ sur le point 2 du prélèvement. La dureté totale de l'eau des points prospectés est variée entre 17 meq/l dans le point M4 et 28 meq/l dans le point M2. Pour le TAC, la plage de valeurs observées, allant de 4 meq/l à 19 meq/l. La dureté totale de l'eau des points prospectés est variée entre 17 meq/l dans le point M4 et 28 meq/l dans le point M2. Les teneurs en SO_4^{2-} sont largement variables d'un point à l'autre, allant de 295.94 mg/l dans le point M1 vers 722.45 mg/l dans le point M3 situé au bassin versant. Les teneurs en ions calcium suivent une augmentation qui varie entre 73.60 mg/l dans le point M4 et de 456 mg/l dans le point M2. Les concentrations de nitrates dans divers points sont comprise entre 2.81 mg/l et 337.34 mg/l. La concentration la plus élevée est observée au point M1 (337.34 mg/l). Les teneurs moyennes en Mg^{2+} sont très élevées dans la majorité des eaux, elles sont comprises entre 2.43 mg/l dans le point M2 et 202.34 mg/l dans le point M3. Les teneurs en ions Cl^- varient d'un point à l'autre. Elles sont situées entre 99.40 mg/l dans le point M1 et 539.60 mg/l dans le point M3. Les paramètres physico-chimiques ont montré une forte corrélation entre la température et le DCO avec une valeur de ($r = 0.954$), tandis que les ions chlorures et magnésium ont montré une valeur de ($r = 0.996$), les analyses statistiques concernant les éléments traces métalliques et d'après les résultats de corrélation données on a pu remarquer que Cd et Cu représentant une concentration élevée au niveau du bassin d'après leur corrélation significative de ($r = 0.994^{**}$). L'association des propriétés du bassin d'Oued d'Assaka avec les métaux lourds a donné des résultats qui sont supérieures au seuil de significativité qui est assez bien ($r > 0.60$).

Mots –clés : Maroc ; Guelmim ; Assaka ; Pollution ; Environnement ; bassin versant ; les métaux lourds ; qualité des eaux ; corrélation en pearson ; Analyse statistique (SPSS)

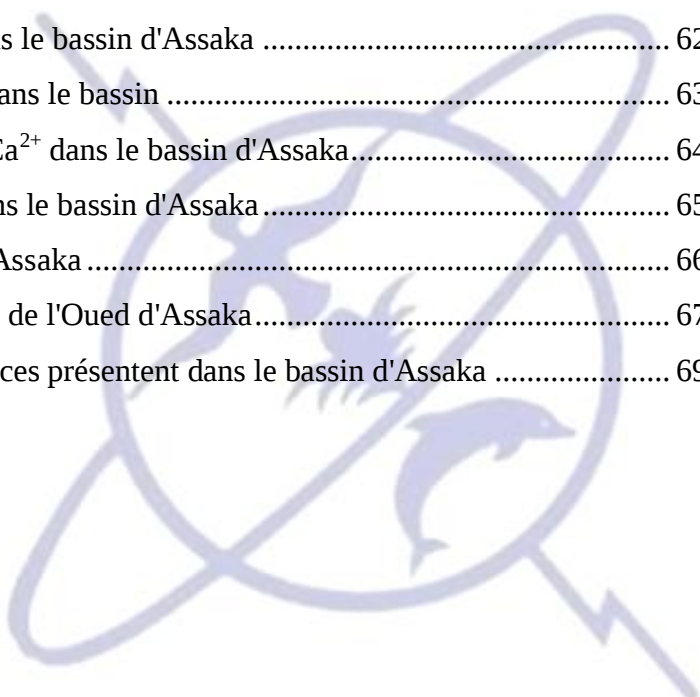
Abstract

The assessment of surface water quality was studied in the Oued d'Assaka catchment in the province of Guelmim in south-west Morocco. Physico-chemical analyses were carried out on water from four sampling points. In the Guelmim region, surface water is generally and naturally mineralised. The results obtained for these analyses in the Assaka catchment studied showed a stable or alkalinity level of the water given that the Hydrogen potential with average values oscillating between (7.77 and 8.34). The temperature of the study site showed a seasonal difference according to regional chemical changes. The electrical conductivity of the Assaka basin shows an increase in values that exceed the standards by 2140 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ at point 4 and 4830 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ at point 2 of the sampling. The total hardness of the water at the surveyed points ranged from 17 meq/l at point M4 to 28 meq/l at point M2. For the TAC, the range of values observed was from 4 meq/l to 19 meq/l. The total hardness of the water at the surveyed points ranged from 17 meq/l at point M4 to 28 meq/l at point M2. SO_4^{2-} levels varied widely from one point to another, ranging from 295.94 mg/l in point M1 to 722.45 mg/l in point M3 located in the catchment area. Calcium ion levels increased from 73.60 mg/l at point M4 to 456 mg/l at point M2. Nitrate concentrations at various points ranged from 2.81 mg/l to 337.34 mg/l. The highest concentration was observed at point M1 (337.34 mg/l). Average Mg^{2+} levels were very high in most of the waters, ranging from 2.43 mg/l at point M2 to 202.34 mg/l at point M3. Cl^- ion levels varied from one point to another. They ranged from 99.40 mg/l at point M1 to 539.60 mg/l at point M3. The physico-chemical parameters showed a strong correlation between temperature and COD with a value of ($r = 0.954$), while chloride and magnesium ions showed a value of ($r = 0.996$). Statistical analyses concerning trace metal elements and according to the correlation results given, Cd and Cu represented a high concentration in the basin according to their significant correlation of ($r = 0.994^{**}$). The association of the properties of the Oued d'Assaka basin with heavy metals gave results that are above the significance threshold, which is quite good ($r > 0.60$).

Keywords : Morocco; Guelmim; Assaka; Pollution; Environment; drainage basin; heavy metals; water quality; pearson correlation; statistical analysis (SPSS)

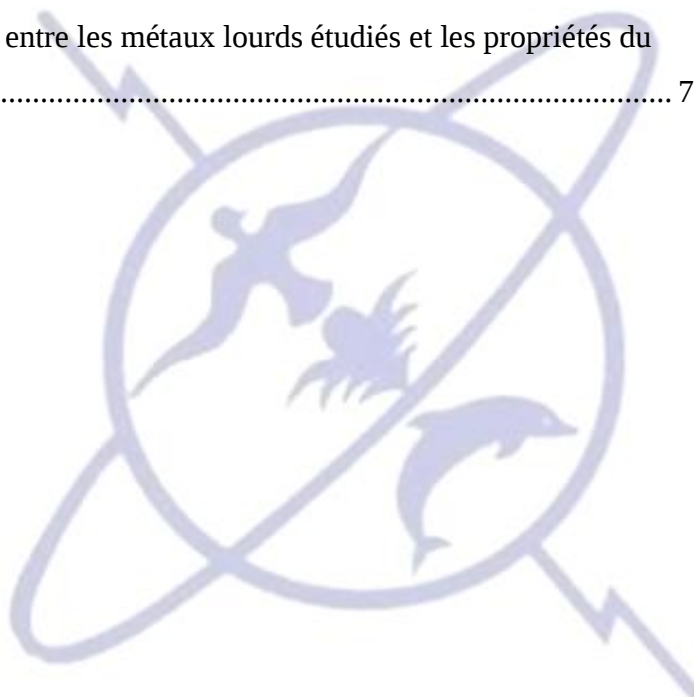
Liste des figures

Figure 1: Les principaux processus hydrologiques d'un bassin versant	22
Figure 2: L'évolution de la demande en eau potable entre 2020-2055	24
Figure 3: Province du bassin hydraulique de la région du Guelmim.....	26
Figure 4: Présentation de l'oued d'Assaka de la province de Guelmim	31
Figure 5: Situation géographique du site d'Assaka.....	31
Figure 6: Délimitation des sous bassins versant d'Assaka.....	33
Figure 7: Présentation de la zone d'étude	44
Figure 8: Distribution des bassins hydraulique de Guelmim	45
Figure 9: Variation du pH des quatre points du bassin d'Assaka pendant la période du prélèvement	57
Figure 10: Variation de la température des quatre points du bassin d'Assaka pendant la période du prélèvement	58
Figure 11: Variation de la conductivité électrique des quatre points du bassin d'Assaka pendant la période du prélèvement.....	59
Figure 12: Evolution de la Turbidité dans le bassin des quatre points de prélèvement	60
Figure 13: Concentration du Chlore dans le bassin d'Assaka	61
Figure 14: Concentration du Mg^{2+} dans le bassin d'Assaka	62
Figure 15: Concentration des nitrates dans le bassin	63
Figure 16: Concentration en Calcium Ca^{2+} dans le bassin d'Assaka.....	64
Figure 17: Concentration en sulfate dans le bassin d'Assaka	65
Figure 18: Dureté de l'eau du bassin d'Assaka	66
Figure 19: Variation du TAC du bassin de l'Oued d'Assaka.....	67
Figure 20: L'ensemble des éléments traces présentent dans le bassin d'Assaka	69



Liste des tableaux

Tableau 1: L'évolution des besoins des agglomération urbaines, en eau potable dans Guelmim	23
Tableau 2: La demande en eau agricole dans l'unité du Guelmim jusqu'à 2020.....	24
Tableau 3: Apports annuel moyens au niveau des 7 sous-bassins de l'Oued Assaka	27
Tableau 4: Les différentes entrées à la nappe du Guelmim	29
Tableau 5: Description des paramètres mesurés, de leurs unités de mesure et de leurs méthodes d'analyse	48
Tableau 6: Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau du bassin d'Assaka par saison....	70
Tableau 7: les statistiques des concentrations des paramètres physico-chimiques dans le bassin d'Assaka.....	70
Tableau 8: Corrélation de Pearson des caractéristiques physico-chimiques de l'eau du bassin d'Assaka.....	72
Tableau 9: Les caractéristiques des métaux lourds de l'eau du bassin d'Assaka par saison.....	73
Tableau 10: Les statistiques des concentrations des métaux lourds dans le bassin d'Assaka ..	74
Tableau 11: Corrélation de Pearson des caractéristiques des métaux lourds de l'eau du bassin d'Assaka.....	74
Tableau 12: Association de corrélation entre les métaux lourds étudiés et les propriétés du bassin d'Oued d'Assaka	75



Liste d'abréviations

ORMVA : Offices Régionaux de Mise en Valeur Agricole

m³ : mètre cube

m³/s: mètre cube par second

Km³: kilomètre cube

pH: potentiel d'Hydrogène

T : Température en °C

CO₂ : dioxyde de carbone

O₂ : dioxyde

CE : Conductivité électrique

°C : degré Celsius

NTU : Unité Turbidité Néphélométrie

TDS : Total des Solides Dissous

Cl⁻ : ions chlorure

SO₄²⁻ : ions sulfate

N.M: Norme Marocaine

DMA : Dose Maximales Admissible

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

WHO: Wold Organisation Health

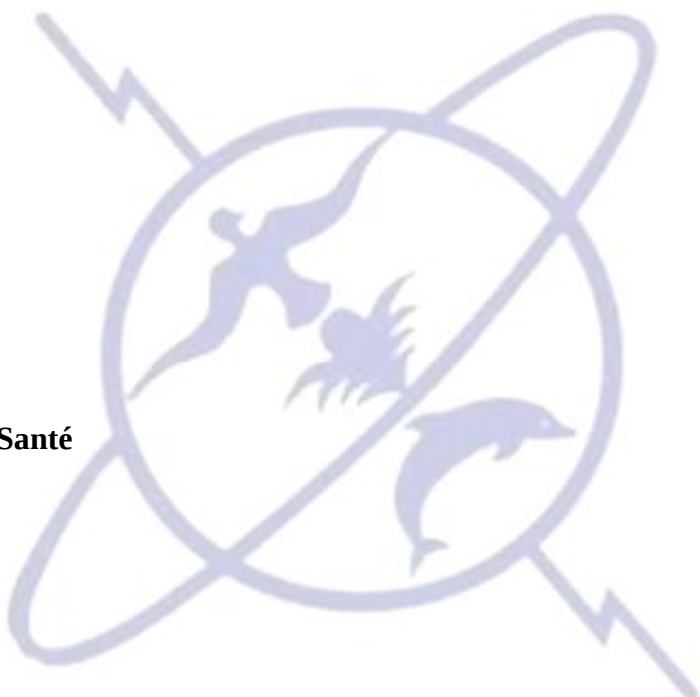
TAC: Titre Alcalimétrie complet

TH : Titre hydrotimétrique

NE : Nord-Est

NO : Nord-Ouest

SE : Sud-Est



SO : Sud-Ouest

OD : Oxygène Dissous

NET : Noir ériochrome

EDTA : Ethylène diamine tétra acétique

Ca²⁺ : ions calcium

Mg²⁺ : ions magnesium

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

ANOVA : Analyse of Variance



Table de matière

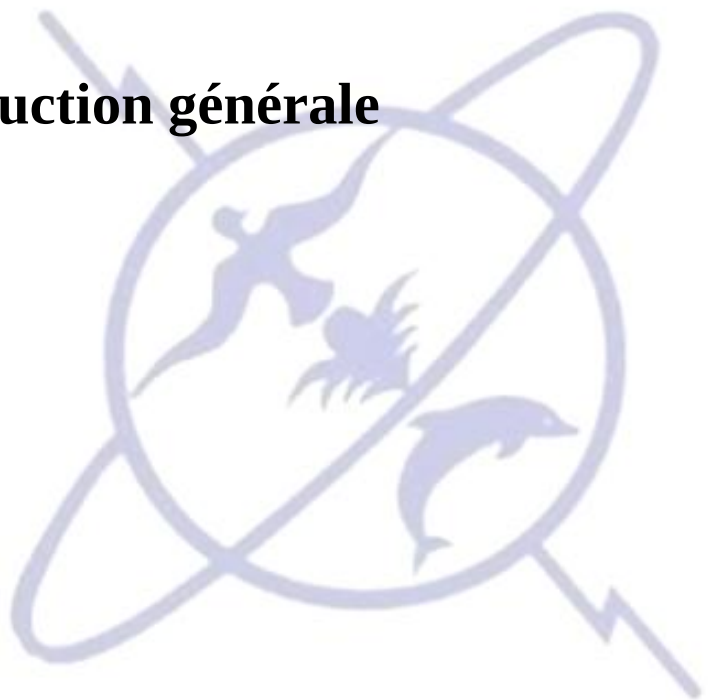
Table des matières

Dédicace	5
Remerciements	6
Les publications.....	Erreur ! Signet non défini.
Les participations nationaux et internationaux.....	Erreur ! Signet non défini.
Résumé	7
Abstract	8
Liste des figures	9
Liste des tableaux	10
Liste d'abréviations	11
Introduction générale.....	16
Introduction générale.....	17
Chapitre I : Revu bibliographie	19
1. Introduction.....	20
2. Généralités	21
2.1 Cycle hydrologique des eaux.....	21
2.2 L'eau potable et ses consommateurs	22
3. Ressource hydrique naturel.....	25
3.1 Eaux superficielles (de surface).....	25
3.2 Eaux souterraines.....	27
3.2.1 Différents types des nappes	28
4. Présentation générale de site d'Assaka	30
5. Diagnostique générale de la situation générale existante de site d'Assaka	32
6. Impact de la pollution d'eau sur l'écosystème.....	34
7. Contrôle qualité.....	35
7.1 Analyse physico-chimique	35
7.1.1 Les paramètres organoleptiques	35
7.1.2 Les paramètres physico-chimiques	36
7.1.3 Dosage volumétrique.....	39
7.1.4 Dosage spectrophotométries.....	39
8. Les normes de potabilité des eaux de consommation	40

8.1	National	40
8.2	International.....	40
9.	La législation des eaux au Maroc.....	41
10.	Conclusion.....	41
Chapitre II : Matériels et méthodes		42
1.	Introduction.....	43
2.	Présentation de la zone d'étude	43
2.1	Situation géographique	43
2.2	Situation climatique	46
3.	Méthode de prélèvement et échantillonnage.....	46
3.1	Lieu de prélèvement	46
3.2	Echantillonnage	47
4.	Méthode d'analyse	47
4.1	Analyse physico-chimique	47
4.1.1	Potentiel d'Hydrogène (pH)	49
4.1.2	Température.....	49
4.1.3	Conductivité électrique.....	49
4.1.4	Turbidité.....	49
4.1.5	Titre hydrotimétrique	50
4.1.6	Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet	50
4.1.7	Ion calcium Ca^{2+}	51
4.1.8	Ion de magnésium Mg^{2+}	52
4.1.9	Chlorure Cl^-	52
4.1.10	Sulfate SO_4^{2-}	52
4.1.11	Sodium et potassium	52
4.1.12	Nitrates	53
4.1.13	Nitrites.....	53
5.	Analyse statistique	53
Chapitre 3 : Résultats et discussion.....		55
1.	Introduction.....	56
2.	Evaluation de la qualité physicochimique de l'eau dans point d'étude dans d oued Assaka 56	
2.1	Présentation de résultat de suivi	56
2.2	Discussion des résultats d'analyse physico-chimique	56
2.2.1	Potentiel d'Hydrogène (pH)	56

2.2.2	Température.....	57
2.2.3	Conductivité Electrique.....	58
2.2.4	La turbidité.....	59
2.2.5	Les ions Chlorures.....	61
2.2.6	Magnésium Mg^{2+}	62
2.2.7	Nitrates NO_3^-	62
2.2.8	Calcium Ca^{2+}	63
2.2.9	Sulfate SO_4^{2-}	64
2.2.10	Dureté TH.....	65
2.2.11	Titre alcalimétrique complet (TAC).....	66
3	Evaluation de la qualité des éléments trace métallique de l'eau dans le point d'étude d'Oued d'Assaka	67
4	Etude statistique physicochimique de l'eau dans point d'étude dans d oued Assaka	70
4.2	Etude statistique.....	70
5	Etude statistique des éléments trace de l'eau dans l'Oued d'Assaka	73
5.2	Etude statistique.....	73
6	Association des propriétés du bassin d'Oued d'Assaka avec les métaux lourds	75
7.	Conclusion	77
Chapitre 4 : Stratégies de Gestion et de Protection		78
I.	Mesures d'adaptation aux changements climatiques.....	79
1.	Stratégies d'adaptation.....	79
2.	Exemples de mise en œuvre	80
II.	Stratégies de gestion des ressources en eau	81
1.	Gestion durable	81
2.	Politiques et recommandations.....	82
III.	Recommandations pour la protection contre la pollution	84
1.	Mesures de prévention	85
2.	Plans de gestion.....	88
Conclusion générale		91
Références		94
Annexe 1		116
Annexe 2		118
Annexe 3		120

Introduction générale



Introduction générale

L'eau est une ressource naturelle vitale pour la survie de tout écosystème. Pour une société confrontée à des besoins croissants en eau, la préservation de sa qualité demeure une priorité absolue [1], [2]. Il est crucial pour le développement socio-économique au niveau local, régional et national [3]. Par conséquent, la gestion des ressources en eau demeure un enjeu majeur, en particulier dans les pays ayant des climats arides ou semi-arides, où ces ressources sont cruciales pour le développement des activités humaines [4], [5], [6], économiques et sociales [7]. L'un des principaux problèmes environnementaux au Maroc est la question de l'eau en raison des conséquences sanitaires et économiques de la pollution de l'eau et de l'insuffisance de l'assainissement, ainsi que des pressions exercées sur les ressources en raison de l'augmentation des besoins en eau [8], [9]. La pollution de l'eau est un fléau qui menace le Maroc et d'autres pays africains. Le Maroc possède l'une des réserves d'eau naturelles les plus restreintes au monde [10]. Il y a 22 milliards de mètres cubes d'eau naturelle disponibles chaque année, soit environ 750 mètres cubes par habitant. En règle générale, ce nombre est considéré comme un seuil important, indiquant la possibilité de pénuries d'eau et d'une crise latente de l'eau [11], mais la pollution des eaux de surface reste un enjeu majeur pour les humains et leur environnement [12]. À l'origine, la ville de Guelmim, nichée dans le sud-ouest du Maroc, était une modeste agglomération rurale constituée de trois quartiers, entourée de tentes et de jardins [13], [14], [15]. La source de l'Oued Assaka émane d'une formation géologique de type calcaire géorgien, avec une nappe phréatique correspondante peu profonde et de nature géorgienne [16]. Au fil des siècles, elles ont permis la sédentarisation et l'irrigation de 2200 ha. Les eaux superficielles du bassin d'Assaka, s'étendant sur une superficie de 6 500 à 7 000 km², se déploie le long du versant sud de l'Anti-Atlas, en bordure du domaine saharien [17]. Ce complexe hydrique est constitué de quatre sous-bassins, chacun alimentant des oueds principaux on trouve Oued Assaka, alimenté par la confluence de trois oueds (Oum Achar, El Sayed et Ouernoun), se jette dans l'Atlantique. Il draine une superficie de 6 500 km², traversant l'extrémité sud du Massif Ifni à travers une étroite gorge rocheuse d'environ 21 km, avant de rejoindre l'océan Atlantique à Fout Assaka [18], [19], [20], [21].

A ce niveau, la région de la province de Guelmim a connu une augmentation des points critiques aux niveaux des problèmes liée quelques soit sur le système hydrique qui se définit par une dépression fertile ce qui menace par des crues inondantes, aussi que des

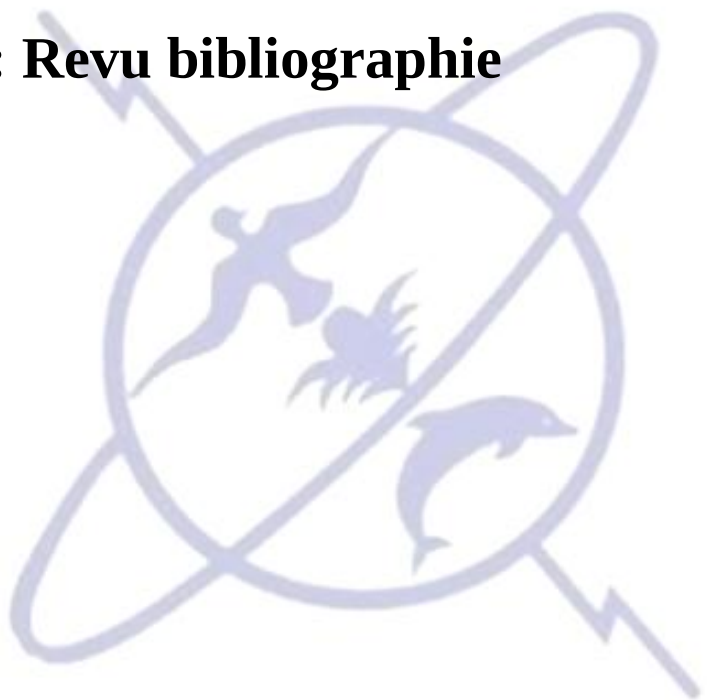
problèmes liés à la rareté des ressources en eau ainsi que l'érosion. On trouve même des menaces environnementales. Dans le cadre de la protection et de la préservation des ressources en eaux, cette étude s'est orientée donc vers, en conséquence et dans un premier temps, à évaluer la qualité des eaux superficielle d'oued Assaka de la province de Guelmim.

L'objectif de ce travail est de donner une vision claire sur l'état de la qualité des eaux d'oued Assaka de Guelmim, ainsi que de déterminer quelques origines de la pollution de ces eaux, dans la limite des analyses effectuées au niveau des différents points de réseau de la surveillance de qualité des eaux tout en basant sur des normes marocaines de la qualité des eaux et aussi sur l'étude hydrogéologique de la région.

Cette thèse est constituée de trois chapitres présentés comme suit :

- Suite d'une présentation dans le premier chapitre d'un contexte scientifique général centré sur l'intérêt des eaux superficielle dans l'évaluation de la qualité des eaux, nous présentons dans cette partie de ce travail un résumé sur le cycle hydrologique des eaux ainsi que la potabilité de l'eau chez les humanités tout en se focalisant sur les types des ressources hydriques naturellement disponible et les différentes nappes. Par la suite, on va décrire la zone choisie pour cette étude. Un aperçu géographique et géologique des zones étudiées a été détaillé dans cette partie.
- La seconde partie sera consacrée aux méthodes utilisées pour les prélèvements et pour l'échantillonnage ainsi que les méthodes d'analyse et les analyses statistique. Les corrélations de la qualité des eaux seront examinées. Cela nous a permis d'en tirer des conclusions importantes qui sont exposées à la fin de cette partie.
- La troisième partie, qui est la dernière de ce travail est dédiée aux résultats obtenus sur la qualité des eaux du points étudié d'oued Assaka par l'évaluation physicochimiques et aussi l'évaluation de la qualité des éléments trace de l'eau étudié, ainsi que l'étude statique, et on va conclure par une conclusion globale.

Chapitre I : Revu bibliographie



1. Introduction

Les principales causes de la dépollution des eaux usées avant leur éventuelle réutilisation sont la sécheresse au Maroc, les exigences de développement économique, la généralisation de l'accès à l'eau potable à tous les citoyens et la protection des milieux récepteurs [9]. Il est crucial pour le développement socio-économique au niveau local, régional et national. Par conséquent, la gestion des ressources en eau demeure un enjeu majeur, en particulier dans les pays ayant des climats arides ou semi-arides, où ces ressources sont cruciales pour le développement des activités humaines, économiques et sociales [22], [23].

Les ressources hydriques restent un enjeu majeur à préserver et à utiliser efficacement, en particulier dans les pays ayant des climats arides ou semi-arides. Ces réserves ont un impact significatif sur les activités humaines, économiques et sociales [24]. Les contraintes naturelles et humaines, ainsi que la gestion et l'économie de ces eaux, peuvent affecter la qualité des eaux naturelles de surface [25]. Lorsqu'on demande comment améliorer ou simplement conserver sans les dégrader, ces questions se posent. En raison de la croissance socio-économique et démographique du pays, une attention particulière est accordée à la préservation et à la préservation durable des systèmes hydrographiques [26], [27]. Cependant, comme la plupart des pays du monde, le Maroc est confronté à la pollution. Cependant, l'activité humaine continue d'être la principale cause de la dégradation de la qualité des eaux naturelles [28], [29].

Dans la province de Guelmim, il existe de nombreuses sources qui se trouvent fréquemment dans le lit des oueds. Elles sont utilisées dans la construction, jouent un rôle dans le développement du secteur agricole, constituent un point d'attraction touristique et un lieu de détente primordial [30]. La nappe phréatique exploitée dans la plaine de Guelmim constitue l'aquifère le plus important reconnu au Sud de l'Anti-Atlas [31]. L'expansion rapide des agglomérations de la région et le développement croissant de l'activité agricole ont entraîné une surexploitation de la nappe, ce qui a entraîné une baisse significative [32], [33], [34].

Sur la base de cette problématique, nous allons commencer dans ce chapitre par la présentation des généralités sur le cycle hydrologique des eaux ainsi que le circuit de l'eau potable chez les consommateurs, puis on va discuter les ressources hydriques qu'elles soient les eaux superficielles ou bien les eaux souterraines et les différents types de nappes. Dans ce chapitre, nous donnerons également un aperçu général sur le site d'Assaka, telle que

diagnostic global de la situation existante, impact de la pollution d'eau sur l'écosystème, puis le contrôle qualité et les normes de potabilité des eaux de consommation.

2. Généralités

2.1 Cycle hydrologique des eaux

La connaissance de l'origine de l'eau, de son cycle, de sa dynamique dans la nature et sa répartition dans l'espace et dans le temps est une donnée fondamentale. L'eau fait partie d'un cycle naturel en perpétuel mouvement entre la terre et l'atmosphère. Sous l'action du soleil, l'eau des océans, rivières, lacs s'évapore et gagne l'atmosphère. Au contact des couches d'air froid, la vapeur d'eau se condense en gouttelettes et forme des nuages. L'eau retombe ensuite lors des précipitations (sous forme de pluie, de neige ou grêle) directement dans les océans ou sur les continents. Sur terre, l'eau ruisselle alors jusqu'aux rivières ou s'infiltre dans les sols pour alimenter les nappes souterraines. L'eau qui ruisselle pénètre dans le sol où elle s'infiltre et va remplir les nappes souterraines. Elle traverse des couches de plus en plus profondes du sol et va abandonner dans son cheminement la quasi-totalité des impuretés dont elle s'était chargée.

Il est crucial de comprendre comment fonctionnent les systèmes hydrologiques, en particulier en ce qui concerne la gestion et la protection des ressources en eau de surface et souterraines, ainsi que la prévision des crues ou des risques d'érosion [35]. Le Maroc a des ressources en eau limitées. Il possède une surface d'eau d'environ 22,5 milliards de m³, mais seulement 16 milliards de m³ peuvent être utilisés en raison des conditions techniques et économiques actuelles [36]. La majorité de ces ressources se trouvent principalement dans les régions du Nord et du Nord-Ouest, ce qui laisse apparaître un déficit considérable dans le sud.

Ces dernières années, les périodes de sécheresse sont de plus en plus courantes, ce qui entraîne un déficit extrêmement important qui affecte presque tout le pays [37], [38]. Le bassin versant semble être une unité statique du paysage, mais hydrologiquement c'est une zone dynamique et changeante. Ainsi, le bassin versant est généralement délimité en surface par les lignes de crête, dont les pentes servent de partage des eaux entre les différents bassins versants [39], [40], [41]. Un aquifère se superpose en profondeur sur ce bassin versant qui n'a pas forcément les mêmes limites que le bassin versant, ce qui peut entraîner des échanges interbassins qui peuvent varier en fonction du temps [42], [43].

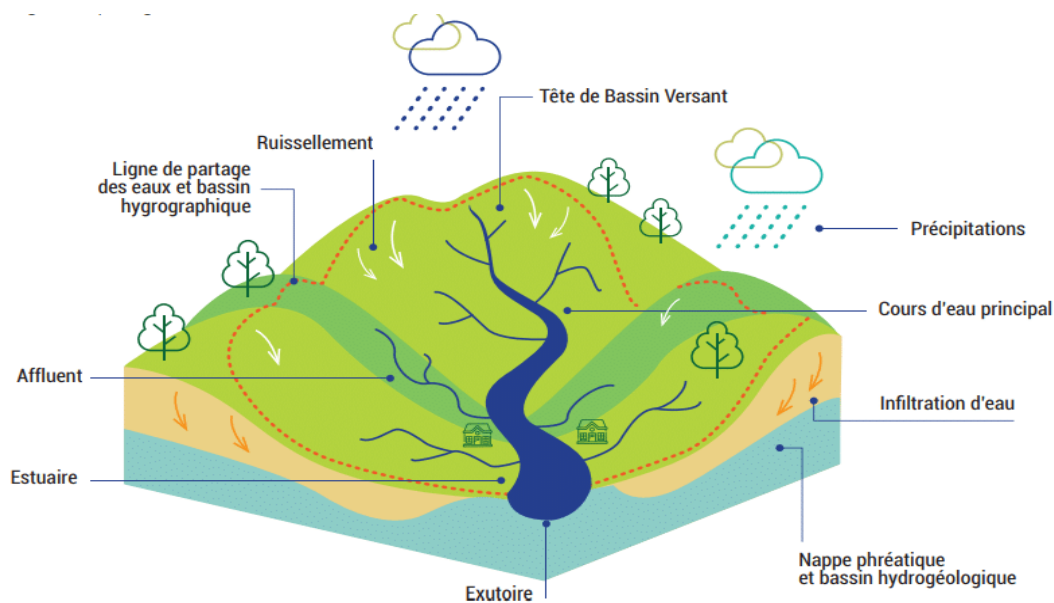


Figure 1: Les principaux processus hydrologiques d'un bassin versant

L'infiltration, la propagation du ruissellement à la surface des parcelles (i.e. ruissellement diffus) et l'écoulement dans les cours d'eau, l'évapotranspiration, la percolation dans le sol et les écoulements de nappe sont les principaux processus hydrologiques [44], [45]. Un large éventail de phénomènes naturels et humains a un impact sur la qualité de l'eau. Les caractéristiques des éléments et des composés chimiques de l'eau douce peuvent être altérées par divers processus naturels, tels que les processus hydrologiques, physiques, chimiques et biologiques. De plus, la qualité de l'eau peut être altérée par diverses activités humaines, telles que l'industrie, l'agriculture ou les chantiers d'ingénierie fluviale. Le ruissellement et l'infiltration sont les deux parties de l'apport en eau des précipitations à la surface du sol. Il existe deux conditions qui permettent la formation de ruissellement à la surface d'un sol. Dans le cas du "ruissellement par dépassement de la capacité d'infiltration", la couverture à la surface du sol est le principal facteur qui affecte le ruissellement [46], [47].

2.2 L'eau potable et ses consommateurs

Les eaux destinées à la consommation humaine sont les eaux de distribution publique (eau du robinet), eaux conditionnées (les eaux de source, les eaux minérales naturelles et les eaux rendues potables par traitement) et les eaux de puits privés utilisées pour la boisson. L'eau prélevée des milieux naturels, n'est généralement pas utilisable directement pour la consommation humaine. Elle doit subir des traitements selon les exigences réglementaires de qualité en tous points du réseau, pour pouvoir être consommée sans danger par l'ensemble de la population. Toutes les eaux de consommation n'ont pas la même composition chimique,

puisque'elles ne contiennent pas toutes les mêmes substances minérales considérées comme des paramètres spatio-temporels. Avec l'accroissement de la population mondiale et le développement économique de la planète, la consommation d'eau a presque doublé au cours de ces cinquante dernières années. De nombreux travaux ont déjà été menés sur la question de l'eau en Afrique, en particulier sur l'eau potable dans les grandes villes africaines situées dans des milieux arides ou semi-arides [48]. Dans les villes comme dans les campagnes, l'accès à l'eau potable était au cœur des politiques publiques. Les principaux outils de légitimation sociale et politique de l'État ont été les services d'eau et d'électricité [49], [50]. Ainsi, dans le domaine de l'eau potable en est-il du recours à l'achat d'eau en bouteille, de la collecte des eaux de pluie, ou du branchement à un réseau basique alimenté à partir d'un forage local [42], [51].

Tableau 1: L'évolution des besoins des agglomération urbaines, en eau potable dans Guelmim

Ville	2005	2010	2020
Guelmim	80	96	125
Bouizakarne	13	14	18
Taghjijt	7	10	13
Total	100	120	156

Au Maroc, les services d'eau potable et d'assainissement sont sous la responsabilité des communes. Cependant, certaines d'entre elles ont confié leur gestion à des associations d'usagers [52]. En agriculture irriguée, les investissements massifs conduits depuis les années 1960 par l'Etat marocain, au prix d'un effort budgétaire continu, ont permis d'atteindre en 2000 le chiffre emblématique de 1 million d'hectares de terres aménagées, dont les deux tiers sont gérés par les offices régionaux de mise en valeur agricole (ORMVA). Les coûts de distribution au sein de ces grands périmètres irrigués varieraient de 0,17 à 1,75 dirham/m³ [53].

Tableau 2: La demande en eau agricole dans l'unité du Guelmim jusqu'à 2020

Périmètre	SAU (ha)	Besoins (Mm ³ /an)	Volume d'eau utilisé (Mm ³ /an)	Taux de converture (%)
PMH	2000	30	20	67
Pompage privé	2200	20	10	50
Périmètre d'épandage	38000	110	40	36
Total	42600	160	70	44

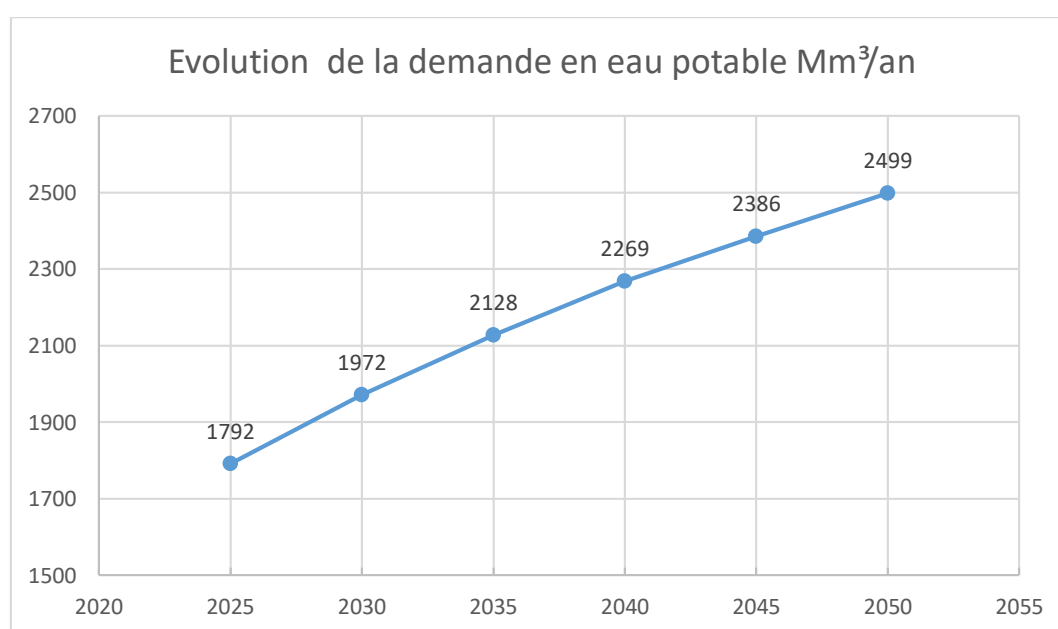


Figure 2: L'évolution de la demande en eau potable entre 2020-2055

Dès 2025, la demande d'eau potable devrait atteindre 1,8 milliard de mètre cubes par an ce qui est montré sur la courbe de la **Figure 2** et près de 2 milliards de mètre cubes en 2030 [54]. Si la valeur de l'eau potable pour chaque personne, de la côte atlantique au Sahara, est la même, la valeur totale, qui inclut le progrès économique de la région en question, est différente. Par conséquent, fournir de l'eau dans un village où la population va s'exiler en raison d'un manque d'activité économique est une forme d'acharnement thérapeutique. Même si elle est difficile à évaluer avec précision, discuter de cette valeur de l'eau permettra de concilier les choix d'allocation et les priorités d'aménagement du territoire [55]. Après la sécheresse de 2021-2022, l'une des pires de l'histoire du Maroc, le taux de réserve des barrages était de 25% au 1er septembre 2022, contre 40% en 2021 et 49% en 2020. Ce

nombre est particulièrement préoccupant car ces barrages sont de loin la principale source d'eau potable et d'irrigation du pays [56].

3. Ressource hydrique naturel

La répartition du temps de la disponibilité de l'eau est également inégale. Le régime hydrologique méditerranéen présente des crues au printemps et à l'automne et des étiages marqués en été en raison de la variabilité saisonnière des précipitations (nulles en été, faibles en hiver et des événements intenses voir extrêmes au printemps et à l'automne) et de la température (faible en hiver et haute en été) [57]. 79 % des écoulements de surface (environ 139 km³/an) et 21 % des réservoirs souterrains (environ 37 km³/an) constituent la source d'eau utilisée sur le pourtour méditerranéen. Néanmoins, seuls 30 % de ces cours d'eau sont stables et les ressources souterraines reposent principalement sur les aquifères carbonates karstiques, qui ont été caractérisés et exploités [58].

3.1 Eaux superficielles (de surface)

Elles sont constituées par les eaux des ruisseaux, mers, rivières, fleuves, étangs, lacs, barrages-réservoirs et glaciers. On ne doit pas oublier qu'elles se trouvent en contact étroit Avec le sol d'un côté et avec l'atmosphère de l'autre côté. Les flux d'eau de surface sont étroitement liés aux précipitations et sont donc caractérisés par des variables importantes : L'essentiel des débits écoulés au cours d'une même année sont sous forme de crues, qui sont souvent courtes et violentes : et les apports sont généralement concentrés sur quelques mois, voire quelques jours [59], [60], [61]. Les apports d'eau sont caractérisés par une grande variabilité sur plusieurs années, qui s'accroît du Nord vers le Sud. Les écoulements diminuent également du Nord au Sud [62].

Les eaux superficielles du pays ont un potentiel de 22.5 milliards de mètres cubes, dont 16 milliards sont mobilisables. La distribution du potentiel des eaux superficielles est la suivante [63] :

- Les oueds des bassins rifains du nord contribuent en moyenne à 4.200 M m³/an, soit 20 % environ des ressources superficielles du pays.
- Les bassins atlantiques du nord et du centre bénéficient grandement des ressources en eau générées par les chaînes montagneuses du Rif et de l'Atlas. Les bassins représentent 11.300 millimètres cubes par an, soit 56% des ressources en eau superficielles du Maroc.

- Les bassins de l'Oriental ont un apport annuel moyen estimé à 1.650 M m³/an.

La totalité d'un territoire topographique drainé par un cours d'eau et ses affluents est appelée bassin versant. Les limites naturelles d'un bassin versant sont définies par la ligne de partage des eaux ou la ligne de crête. Il s'agit alors d'un bassin versant géographique. Les eaux de précipitation ruissellent du point le plus haut jusqu'au cours d'eau principal, transportant avec elles des éléments en suspension ou dissous. En raison de la position géographique, ces exportations suivent la direction des pentes et se dirigent vers un point commun appelé exutoire (lac, mer ou océan). Le bassin atlantique sud En Afrique de l'Ouest, les bassins présahariens sud atlasiques et sahariens ont un apport annuel moyen de 780 millions de m³/an. Leur climat, qui varie de présaharien à saharien, les distingue du sud de l'Atlas. Les précipitations rapides et violentes de l'Atlas sont responsables de la quasi-totalité des apports, qui s'élèvent à 240 millions de m³ [64], [65], [66], [67].

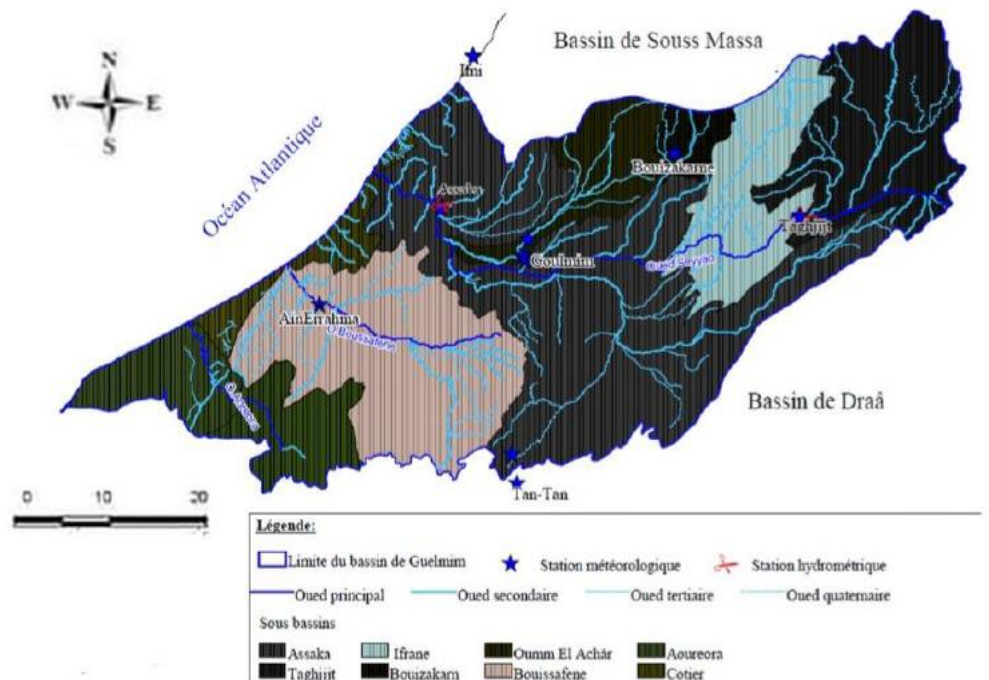


Figure 3: Province du bassin hydraulique de la région du Guelmim

Le réseau hydrographique de la zone de Guelmim comme c'est montré sur la **Figure 3** est constitué de 5 principaux oueds on trouve : L'oued Seyyad, L'oued Oum El Achar, L'oued Bouissaffen, L'oued Aouiroera et L'oued Assaka dont notre travail va s'intéresser sur l'étude de la qualité de cette dernière qu'il franchit les reliefs côtiers par une gorge et rassemble les

crues résiduelles de ce bassin complexe et d'un bassin complémentaire de 410 km² après leur épandage dans la plaine.

Tableau 3: Apports annuel moyens au niveau des 7 sous-bassins de l'Oued Assaka

Bassins partiels	Superficie (Km²)	Apports moyens (Mm³)
Oued Seyed jusqu'à Tarhjijt	1400	12
De Tarhjijt à Fask	1060	10
De Fask à Guelmim	460	5
De Oum EL Achar à Taghant	280	3
De Taghant à Guelmim	650	7
Oued Oung	1740	12
Bassin complémentaire jusqu'à Assaka	910	9
Total	6500	58

Les principales rivières de l'Oued Assaka, Séyad et Oum Laachar, ont été aménagées pour évacuer les eaux de pluie. La construction de sept seuils de dérivation en béton, maçonnerie ou gabions a permis de dériver des débits importants de 15 à 30 m³/s par ouvrage, ce qui donne une capacité de dérivation totale de 174 m³/s. Des canaux en tête de périmètre transportent le débit dérivé.

3.2 Eaux souterraines

Ce sont les plus potables, souvent de meilleure qualité du moins celles provenant de puits profonds. Cependant, les eaux d'infiltration qui alimentent les nappes souterraines se chargent de matière organique en traversant les couches supérieures des sols et s'enrichissent en sels minéraux provenant de terrains rencontrés sur leurs parcours. Le patrimoine hydraulique du Maroc est largement composé d'eaux souterraines. En raison de leur régularité et de leurs faibles coûts de mobilisation comparativement aux eaux de surface, elles présentent des avantages certains sur le plan de la couverture des besoins par rapport aux eaux de surface. De plus, il s'agit d'une ressource qui est mieux répartie géographiquement et moins exposée aux changements climatiques et à la pollution. Même si cette ressource est rare, elle est unique dans certaines régions, comme c'est le cas dans les régions sahariennes [63], [68]. Les eaux souterraines sont les eaux de sous-sol qui constituent une provision d'eau potable

inestimable pour l'humanité. Ils sont en interaction avec les autres types de masses d'eau, d'une part les eaux douces continentales (cours d'eau, zones humides, lacs...) et d'autre part avec les eaux marines en bordure littorale. Le sens de ces transferts peut varier au cours de l'année en fonction des conditions hydrologiques. Elles assurent souvent le débit de base des systèmes d'eaux continentales superficielles et de ce fait influencent leur qualité. En d'autres termes, les effets de l'activité humaine sur la qualité des eaux souterraines et les débits des nappes peuvent se répercuter sur la pérennité et la qualité écologique des écosystèmes aquatiques associés et des écosystèmes terrestres directement dépendants. Globalement, les ressources en eau souterraines s'élèvent à près de 9 milliards de mètres cubes par an, dont 3 milliards de mètres cubes par an s'écoulent via des sources contribuant à la régularisation des débits des eaux souterraines (débits de base) et 2 milliards de mètres cubes par an s'écoulent directement dans les mers. Par conséquent, il est estimé que les quantités d'eau souterraine exploitables sont de 4 milliards de mètres cubes par an [69], [70].

Dans les décennies à venir, le Maroc comptera sur l'eau souterraine comme un élément essentiel de son progrès. L'inquiétude est principalement due à l'augmentation de la population, aux différences et surtout aux changements climatiques, ainsi qu'aux besoins croissants en eau causés par le développement de la population, de l'industrie et de l'agriculture. L'eau est désormais un enjeu économique, social et politique, dont le contrôle et la bonne gestion s'avèrent utiles et même nécessaires grâce à des études spécialisées [63], [71]. Les principales réserves d'eau souterraine se trouvent dans l'aquifère de la plaine de Guelmim [17], [72]. Le débit total utilisé dans cette nappe pour fournir de l'eau potable est de 170 l/s, avec une adduction de 106 km, 120 l/s pour la ville de Guelmim et 50 l/s pour la ville de Tan Tan. Les principales réserves d'eau souterraines se trouvent dans l'aquifère plioquaternaire de la plaine de Guelmim [73], [74]. Elle est constituée de dépôts plioquaternaires d'origines variées répartis de manière hétérogène sur les formations schisteuses de l'Acadien [75].

3.2.1 Différents types des nappes

Les ressources en eau souterraine du bassin sont contenues dans trois types d'aquifères distincts : l'aquifère de la nappe phréatique de la plaine de Guelmim, qui s'étend à travers un dépôt plio-quaternaire au cœur du bassin, autour du Jbel Tayert ; les nappes alluviales de portée limitée le long des principales vallées, en particulier dans la partie montagneuse au nord-est du bassin ; et les aquifères profonds de l'Adoudounien, situés au nord de l'Anti-Atlas et au sud du Jbel Taïssa [76]. Le débit des sources du bassin de Guelmim est utilisé en grande

partie pour des besoins agricoles, le mode d'irrigation gravitaire est le plus pratiqué dans la plaine de Guelmim, on considère qu'une partie de ce débit évalué à 10% retourne à la nappe soit un débit de 9.5 l/s. comme si montré sur le tableau suivant :

Tableau 4: Les différentes entrées à la nappe du Guelmim

Recharge de la nappe	Débits
Infiltration à partir des eaux de pluie	206 l/s
Alimentation à partir des eaux de pluie	410 l/s
Infiltration à partir des eaux des crues et d'épandage	70 l/s
Infiltration à partir des eaux des sources	9.5 l/s
Réinfiltration des eaux d'irrigation prélevées	40 l/s
Le total des entrées est :	735.9 l/s

3.2.1.1 Aquifère Adoudounien

La transgression marine de l'Infracambrien, qui a couvert tout l'Anti-Atlas occidental et une partie de l'Anti-Atlas central, a créé des formations carbonatées dans la nappe adoudounienne. Ces formations ont une épaisseur considérable, parfois dépassant les 1 000 m. Ils se trouvent au nord du bassin dans le plateau d'Akhssas et au sud dans le Jbel Guir Taïssa. Etoit de cette nappe est constitué par une formation schisto-calcaire qui a été formée par la régression marine. L'eau circule dans des fissures et des fissures qui affectent les calcaires et les dolomies, en particulier dans la région de Lakhsass. La source thermique d'Abaynou résulte de la nappe adoudounienne située à la limite nord du bassin de Guelmim. Les eaux de cette source sont à 45°C. Son origine est profonde et il est probable qu'elle se trouve au niveau d'une faille affectant les calcaires géorgiens à l'W de Ouggoug. Il est possible que cette source soit l'un des exutoires naturels de cette nappe [77].

3.2.1.2 Aquifère Géorgien

La couche de calcaire et de dolomie du Cambrien inférieur, qui dépasse les 500 m d'épaisseur, montre une nouvelle transgression marine. Au nord du bassin de Guelmim et dans le massif du Bas-Drâa (Jbels Guir et Taïssa), les formations de la nappe géorgienne se trouvent sur une large zone de l'Anti-Atlas occidental (reliefs de Lakhssas, Ait Erkha et d'Ifrane). Les sources situées au niveau des bordures nord et nord-est de la plaine de Guelmim

montrent la nappe de calcaire géorgien. Les formations aquifères de ces zones sont en contact direct avec la couverture plio quaternaire, qui est le siège de la nappe phréatique [13], [77].

3.2.1.3 Les nappes alluviales

Localisées dans la section montagneuse du bassin de Guelmim, ces nappes linéaires à portée limitée se forment au sein des formations fissurées sous les lits des cours d'eau. Elles sont exploitées par environ 257 points d'eau, comprenant 236 sondages, 12 forages, 6 sources et 3 puits. La qualité des eaux de ces nappes varie. Dans la partie Est et Sud du bassin, les eaux sont généralement de bonne à moyenne qualité. En se déplaçant vers l'ouest et le sud-ouest, la qualité de l'eau tend à passer de moyenne à médiocre. Cependant, dans la partie aval du bassin d'Aouiroera, les eaux sont de bonne qualité [78], [79].

4. Présentation générale de site d'Assaka

Le bassin de Guelmim est un lieu où se présentent de nombreux défis liés à l'aménagement des ressources en eau. Le grand paradoxe de cette région est que le contexte de pénurie a déclenché un processus de surexploitation de cette ressource plutôt que d'économie. C'est le cas de la nappe phréatique de Guelmim, qui est le principal potentiel en eau mobilisable pour assurer l'alimentation en eau potable des villes de Guelmim et de Tan Tan. Cependant, ces dernières années, la nappe est également sollicitée par des pompages agricoles, ce qui a entraîné une baisse croissante de son niveau piézométrique. Le bassin de Guelmim est structuré en synclinal, avec le Jbel Tayert au centre et les barres quartzitiques du terminal Acadien. Les dépôts de couverture plio-quaternaire surmontent les schistes acadiens du substratum, formant les terrains de remplissage de part et d'autre de ces reliefs. Les limites de la plaine sont formées par des sols plus anciens qui sont des centres d'anticlinaux qui permettent de remonter le Précambrien jusqu'aux boutonnières d'El Kerdous au nord et d'Ifni au nord, ainsi qu'au niveau des Jbel Taïssa et Guir au sud. Des terrains plus récents datant de l'Ordovicien sont apparus au SE, représentant le flanc SE de l'anticlinal, dont le centre serait situé dans l'axe de Jbel Taïssa.



Figure 4: Présentation de l'oued d'Assaka de la province de Guelmim

Assaka, également connu sous le nom de centre du Targa-Wassay, se trouve à environ 20 km à l'est-ouest de Guelmim (Figure 4) et est desservi par la route provinciale RP1300. La rive gauche de l'oued Assaka est peuplée d'habitations et de terres cultivées. En plus des bâtiments administratifs tels que le siège de la Commune et les bureaux du Caïdat, on peut trouver quelques habitations et peu de terres cultivées sur la rive droite. En raison de la présence de la chaîne du Haut Atlas, qui empêche les perturbations pluvieuses en provenance du Nord, la zone d'étude est caractérisée par une aridité sévère. Malgré sa latitude, l'océan atlantique minimise l'impact de la continentalité saharienne [17], [80].



Figure 5: Situation géographique du site d'Assaka

La pluviométrie annuelle moyenne est d'environ 120 mm, mais il y a une grande variabilité aléatoire entre 15 mm et 300 mm. À son embouchure, le bassin de l'Oued Assaka, qui draine le bassin de Guelmim, s'étend sur une superficie de 6840 km². L'Oued Assaka, franchissant les reliefs côtiers par une gorge et rassemblant les crues résiduelles de ces bassins et d'un bassin complémentaire de 410 km², après leur épandage dans la plaine [72], [81].

5. Diagnostic générale de la situation générale existante de site d'Assaka

Selon la division administrative, la province de Guelmim a été établie le 3 avril 1975 par le Dahir n°1-74-688. Elle couvre une superficie de 9690 km² et est incluse dans la région de Guelmim-Es Smara. Elle est constituée de quatre cercles (Laqsabi, Guelmim, Bouizakarne, Fask) et de vingt communes, y compris deux communes urbaines (Guelmim et Bouizakarne) [18].

Assaka, également connu sous le nom de centre du Targa-Wassay, se trouve à environ 20 km à l'est-ouest de Guelmime et est desservi par la route provinciale RP1300. La rive gauche de l'oued Assaka est peuplée d'habitations et de terres cultivées. En plus des bâtiments administratifs tels que le siège de la Commune et les bureaux du Caïdat, on peut trouver quelques habitations et peu de terres cultivées sur la rive droite [76]. La commune de Targa-Wassay est située dans une zone rurale de la province de Guelmime, dans la région de Guelmime Es-Smara [82]. Les coordonnées Lambert suivantes fournissent sa définition :

$$X_1 = 24410 ; Y_2 = 241669 ; Z = 1296 \text{ m}$$

En raison de la présence de la chaîne du Haut Atlas, qui empêche les perturbations pluvieuses en provenance du Nord, la zone d'étude est caractérisée par une aridité sévère. Malgré sa latitude, l'océan atlantique minimise l'impact de la continentalité saharienne [83].

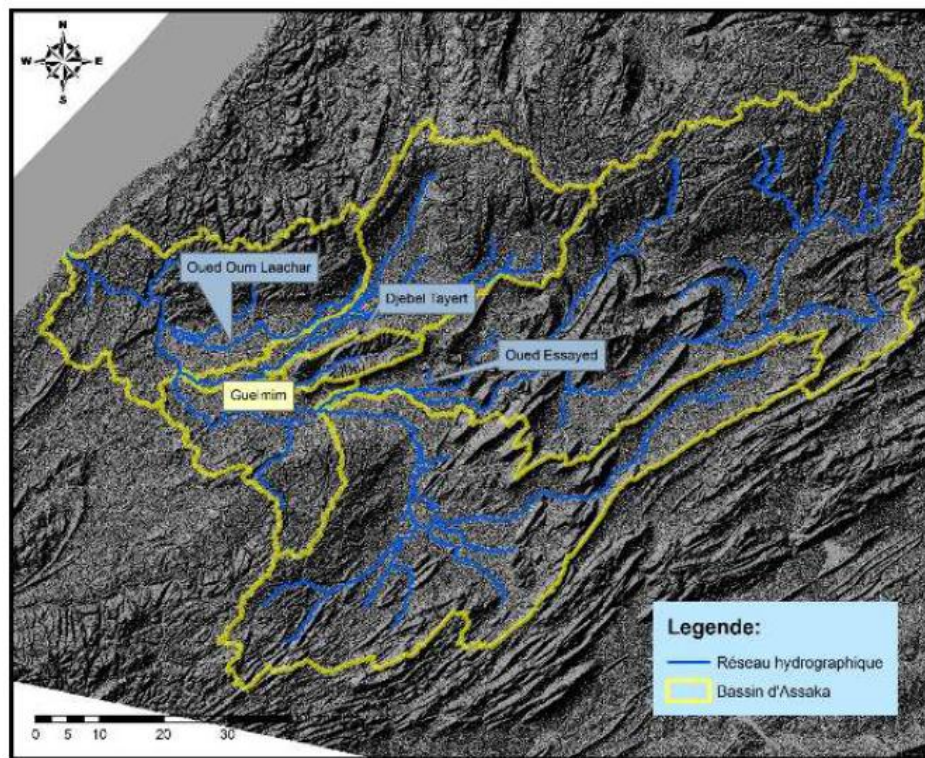


Figure 6: Délimitation des sous bassins versant d'Assaka

Elle est bordée par la province de Sidi Ifni au Nord, celle de Tata à l'Est, la province d'Assa Zag et Tan tan au Sud et l'Océan Atlantique à l'Ouest. La pluviométrie annuelle moyenne est d'environ 120 mm, mais il y a une grande variabilité aléatoire entre 15 mm et 300 mm. L'infrastructure d'assainissement de la ville présente des lacunes et une capacité insuffisante. De nombreux quartiers ne bénéficient pas de raccordement au réseau d'égout et gèrent l'assainissement de manière autonome à l'aide de puits perdus, destinés à l'évacuation des eaux usées [84].

Dans ces zones, les eaux domestiques sont déversées directement dans l'espace public. Les eaux pluviales provenant des bassins internes de la ville sont considérables et présentent un risque d'inondation pour les maisons riveraines de l'Assif Ouzro et de Targa Oufella. En l'absence d'une station d'épuration ou d'une décharge contrôlée pour le stabiliser, le produit de curage des puits perdus est rejeté directement dans le milieu naturel. Les eaux usées de l'abattoir municipal et les résidus des abattoirs sont également affectés. Lorsqu'il n'y a pas de station d'épuration, l'exutoire du réseau d'égout est situé dans le lit de l'oued Seyad ; les eaux usées transportées le long d'une grande partie de cet oued contaminent la nappe phréatique [7], [85], [86].

En cas de fortes précipitations, le centre Targa-Wassay rencontre un problème majeur : la circulation est perturbée pendant 3 à 4 jours au niveau du radier actuel de la RP1300. Ce qui est extrêmement préjudiciable à la population entièrement concentrée sur la rive gauche. La seule route qui a été construite et décorée est la RP 1300 en direction de Guelmime, qui se trouve entièrement sur la rive droite. En effet, dans le sens opposé, la route continue sur la rive droite et est interrompue à une distance d'un kilomètre.

Il s'agit d'un problème de communication routière entre les deux rives et, par conséquent, du département de l'équipement. Les constructions existantes sur le lit même des chaâbats et les obstacles hermétiques érigés sur le trajet des écoulements aggravent les risques d'inondations. La meilleure façon de réduire le temps de suspension de la circulation est d'améliorer le pont de traversée, afin de le ramener à un temps acceptable, qui ne dépasse pas quelques heures [29], [86], [87].

6. Impact de la pollution d'eau sur l'écosystème

La principale source de pollution organique des eaux au Maroc sont les eaux usées domestiques non épurées. Ils provoquent une diminution de la qualité des eaux superficielles et souterraines, ainsi que des eaux marines [88]. Les eaux superficielles sont de plus en plus contaminées. Des millions de tonnes de polluants provenant des rejets chimiques de nos industries, de notre agriculture et de nos activités quotidiennes les composent [89], [90]. Les eaux superficielles sont de plus en plus contaminées, notamment en raison des gaz à effets de serre, de la pollution des mers par des produits toxiques, des métaux lourds, des engrais et des pesticides transportés par les rivières, ainsi que des dizaines de millions de sacs plastiques flottant entre deux eaux [91], [92].

La pollution agricole est principalement causée par l'utilisation intensive et abusive d'engrais (chimiques et organiques) et de pesticides. La pollution causée par les pesticides tels que les herbicides, les insecticides et les fongicides a récemment fait l'objet d'une attention particulière. Les activités industrielles peuvent également détériorer les écosystèmes. Les effluents et les divers produits toxiques utilisés contribuent à cette pollution industrielle. Qu'ils soient ou non traités, les effluents sont déversés dans la mer, les rivières ou les sols. Ces effluents polluent les eaux de surface en transportant des polluants comme les colorants et les métaux lourds. Au cours des dernières décennies, les changements climatiques ont provoqué un stress hydrique, qui a eu un impact négatif sur la végétation et le niveau des barrages et des

retenues collinaires. Plus encore, il existe de nombreux facteurs de pollution domestiques et industriels qui dégradent la qualité de l'eau. L'utilisation intensive des pesticides et des engrais, la mauvaise gestion des décharges, les rejets d'eaux usées non traitées des industries, des hôpitaux et des ménages, ainsi que l'intensification des activités industrielles et agricoles, ainsi que la croissance rapide de la population, sont les principales sources de pollution des eaux de surface. La pollution des rivières et des fleuves est omniprésente dans toutes les régions de la Terre. Des millions de tonnes de polluants provenant des rejets chimiques provenant de nos industries, de notre agriculture et de nos activités quotidiennes les composent [93], [94], [95], [96], [97].

7. Contrôle qualité

7.1 Analyse physico-chimique

7.1.1 Les paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques désignent la façon dont les sens apprécient la qualité de l'eau, principalement la vue, le goût et l'odorat. Ces paramètres sont importants pour le plaisir du consommateur mais peuvent également être liés à la qualité hygiénique du produit dans certains cas. Au moment du prélèvement, ces diverses caractéristiques doivent être prises en compte : certaines odeurs peuvent disparaître pendant le transport ou l'apparence de l'échantillon peut changer au cours du stockage (apparition de coloration, de précipités, etc.) [98], [99].

7.1.1.1 Couleur

Une eau qui est potable ne doit pas avoir de couleur. Cependant, lorsque la coloration est due aux seules substances en solution, elle est dite vraie ou réelle. Quand les substances en suspension ajoutent leur propre coloration, elle est dite apparente. Les eaux souterraines sont généralement colorées par diverses substances d'origines différentes : des substances humiques ou fulviques provenant de la décomposition de la matière végétale ; des algues qui sont colorées en fonction des pigments qu'elles contiennent ; et des substances minérales, en particulier le fer et le manganèse, qui colorent les formes précipitées [99].

7.1.1.2 Odeur et saveur

Une eau destinée à l'alimentation ne doit pas avoir d'odeur. Toute odeur peut indiquer la présence de pollution ou de matières organiques en décomposition. Ces substances sont

généralement en quantité si minime qu'elles ne peuvent pas être identifiées par les méthodes d'analyse conventionnelles. Parfois, seul le sens olfactif peut le détecter. L'odeur inhabituelle de l'eau de distribution publique indique une dégradation de la qualité due à une pollution ou à un défaut de fonctionnement au stade de traitement ou de distribution de l'eau [99].

7.1.2 Les paramètres physico-chimiques

L'eau est un produit alimentaire dont la composition et les caractéristiques peuvent être modifiées lors du transport et du stockage, ce qui nécessite des analyses sur site pour éviter ces changements qui peuvent altérer les résultats d'analyses. De nombreux paramètres physicochimiques de l'eau ne peuvent être mesurés que sur le terrain car les valeurs des échantillons peuvent changer très rapidement. Le pH, la température, la conductivité électrique, la turbidité et l'oxygène dissous sont les principaux [99].

7.1.2.1 Temperature

La température de l'eau est l'un des paramètres qui change très rapidement après le prélèvement. Elle est importante pour la solubilité et la dissolution des sels dissous, la solubilité des gaz, la conductivité électrique et la détermination du pH. Ce paramètre crucial pour comprendre l'origine et l'écoulement de l'eau varie d'une station à l'autre. Cela implique des fluctuations de la température de l'atmosphère et un déplacement des altitudes élevées vers les basses [99].

7.1.2.2 Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le potentiel d'hydrogène dépend de plusieurs facteurs tel que l'oxygène dissous, le gaz carbonique et le taux de la matière organique. Ainsi une chute de pH marque l'augmentation de la teneur en CO₂, la diminution de la teneur en O₂ et l'accroissement de la teneur en matières organiques. Le pH indique le caractère acide ou basique de l'eau. Dans les eaux souterraines, il est déterminé, en partie, par la nature géologique du bassin de drainage. Le pH est également influencé par les précipitations acides, l'activité biologique et certains rejets industriels. Les valeurs du critère de qualité pour l'eau brute d'approvisionnement se situent entre 6,5 et 8,5 et entre 6,5 et 9,0 pour la protection de la vie aquatique. D'une manière générale, le pH ne constituerait jamais un facteur limitant en hydrobiologie sauf dans des situations exceptionnelles, bien entendu. [99].

7.1.2.3 Conductivité électrique

La conductivité électrique des eaux exprime la minéralisation globale, elle traduit la charge ionique de cette eau. Les pollutions domestiques et industrielles modifient souvent les teneurs naturelles de différents éléments, une modification de la conductivité permet ainsi de mettre en évidence ces pollutions. Elle est proportionnelle à la concentration des sels ionisables qui dépend elle-même, pour une part, de la température de l'eau. C'est un indice de l'abondance des ions dans l'eau. Les acides et les bases inorganiques ainsi que les sels contribuent fortement à la conductivité de l'eau. La conductivité électrique permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau, mais ne doit pas être considérée seule lors de l'étude d'aquifères inconnus. Parfois en effet, les fluctuations des valeurs de la conductivité sont, en grande partie, expliquées par les changements de régime hydrologique.

La mesure de la conductivité électrique de l'eau, qui est sa capacité à transporter le courant électrique en fonction des substances dissoutes qu'elle contient, permet d'évaluer la quantité totale de solides dissous dans l'eau. Il est possible de suivre l'évolution d'une pollution chimique grâce à sa variété. Il permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau car la majorité des matières dissoutes dans l'eau sont des ions chargés électriquement. La capacité d'une eau à favoriser le passage d'un courant électrique est appelée conductivité.

La nature des ions dissous et leurs concentrations l'influencent. La conductivité est également influencée par la température et la viscosité car la mobilité des ions augmente avec la température et diminue avec la viscosité. La conductivité est exprimée en Siemens par mètre, tandis que la résistivité est exprimée en Ohm par mètre. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation de l'eau dans son ensemble et de suivre son évolution. Le tableau montre comment la conductivité et la minéralisation des eaux naturelles sont liées [40], [57], [100].

7.1.2.4 Oxygène dissous

La quantité d'oxygène en solution dans l'eau à une température donnée est appelée oxygène dissous. La majorité des processus biologiques dans les écosystèmes aquatiques sont influencés par la teneur en Oxygène moléculaire dissous. La solubilité de l'oxygène dans l'eau varie selon la température et la pression atmosphérique. L'oxygène est soluble à 9 mg/l dans l'eau douce et à 7,4 mg/l dans l'eau salée à 35 ‰ à 20 °C. Ce sont les processus biologiques qui ont le plus d'impact sur les concentrations en oxygène dans l'eau. En raison de l'absence de végétaux photosynthétiques, du faible contact eau-atmosphère et de l'absence de turbulence

de l'eau, les teneurs en oxygène dissous des eaux souterraines sont relativement faibles par rapport à celles des eaux de surface. Cependant, dans les biotopes hyporhéiques, une circulation rapide assure parfois une bonne oxygénation de l'eau en milieu hypogé [99].

7.1.2.5 Turbidité

La turbidité est un symbole de l'opacité d'un milieu perturbé. Elle représente l'opposé de la clarté. La transparence d'un liquide diminue en raison de la présence de matières non dissoutes. Une eau trouble est plus ou moins trouble. La turbidité d'une eau est causée par la présence de particules colloïdales, telles que les argiles, les limons, les grains de silice, les matières organiques, etc. L'abondance de ces particules est mesurée par le degré de turbidité. Cela sera plus faible à mesure que le traitement de l'eau sera plus efficace.

La quantité de matières troublent un liquide est appelée turbidité. Les particules colloïdales absorbent, diffusent et/ou réfléchissent la lumière dans les cours d'eau. La néphélométrie, l'opacimétrie et la turbidimétrie sont des méthodes de photométrie des milieux troubles pour la mesurer. Il est exprimé en Unité de Turbidité Néphélométrique (UTN). L'étalonnage est effectué avec des témoins fiables [101].

7.1.2.6 Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension dans les eaux superficielles non polluées proviennent principalement du bassin versant en raison de l'érosion naturelle, des détritiques organiques (débris végétaux...etc.) et du plancton. Ainsi, les MES sont souvent minérales et ont un taux relativement bas, sauf pendant les périodes de crues des cours d'eau. Les eaux naturelles ne contiennent jamais de matière en suspension et la teneur autorisée est inférieure à 30 mg/l [99].

7.1.2.7 Total des solides dissous (TDS)

La détermination des solides dissoutes ou total des solides dissous (TDS) dans l'eau potable n'a pas de base fondée sur la santé. Leur présence dans l'eau favorise la corrosion. À teneur élevée, ils sont répréhensibles pour les consommateurs car ils entraînent un goût désagréable à l'eau. Se référant à ce paramètre, une eau est réputée bonne quand sa teneur en TDS est inférieure à 600 mg/l [99].

7.1.2.8 Ions Chlorures (Cl⁻)

Il y a des concentrations différentes de chlorures dans toutes les eaux, et ils peuvent provenir de diverses sources : Passage à travers des sols salés. Les nappes phréatiques sont infiltrées par l'eau marine, activités humaines et commerciales. Une forte variation des taux de chlorure au fil du temps peut être considérée comme un indice de pollution [99].

7.1.2.9 Sulfates (SO₄²⁻)

Les sulfates sont des composés naturels des eaux. Ils sont liés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent de certains minéraux, en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation des minéraux sulfureux. Les teneurs en sulfates des eaux naturelles sont variables de 5 à 200 mg/l. Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates [102].

7.1.3 Dosage volumétrique

Le dosage volumétrique est une méthode de dosage basée sur l'ajout progressif d'un réactif en solution à une solution d'un autre réactif. Cette méthode consiste à ajouter à une substance A à doser, en solution, une quantité équivalente d'un réactif B dissous et de déterminer cette quantité équivalente de B ajoutée. En effet, cette quantité équivalente est déterminée par mesure de volume de la solution de B dont on connaît la concentration. Dans le cas de titrage (dosages), il est plus avantageux d'exprimer les concentrations ou normalités plutôt qu'en molarités, car un équivalent de la substance à doser réagit toujours avec un équivalent du réactif titrant. Si les concentrations normales de deux solutions sont N_a et N_b et si un volume V_a de la substance A est neutralisé par le volume V_b du réactif B, on a [103] :

$$N_a V_a = N_b V_b$$

7.1.4 Dosage spectrophotométrique

Si une solution est colorée, il est possible de déterminer la concentration molaire de l'espèce chimique donnant la couleur à la solution en réalisant un dosage par étalonnage. Celui-ci repose sur la proportionnalité entre l'absorbance *A* et la concentration molaire *C* de l'espèce chimique colorante [104].

Pour un dosage par étalonnage, le seul paramètre qui varie est la concentration molaire *C* de l'espèce chimique colorante. Alors la relation de Beer-Lambert peut être simplifiée :

$$A = k \times C$$

C : la concentration molaire en mol. L⁻¹

k : la concentration de proportionnalité en L. mol⁻¹

A : l'absorbance sans unité

La relation de proportionnalité entre A et la concentration molaire C n'est vérifiée que pour des solutions dont la concentration est faible, alors les absorbances restent inférieures à 1,5 [105].

8. Les normes de potabilité des eaux de consommation

8.1 National

L'eau satisfaisant à la norme « N.M. 03.7.001 » : qualité des eaux d'alimentation humaine telle qu'homologuée par l'arrêté conjoint du ministre de l'industrie, du commerce et de la mise à niveau de l'économie et du ministre de l'équipement et du transport et du ministre de la santé n°221-06 du 3 moharrem 1427 (2 février 2006) ou toute autre norme équivalente la remplaçant. Eaux d'alimentation humaine : On comprend par eau d'alimentation humaine : toute eau destinée à la boisson quel que soit le mode de production et de sa distribution ; les eaux utilisées pour la préparation, le conditionnement, l'entreposage et ou la conservation des denrées alimentaires destinées au public [106], [107].

Les normes s'appuient généralement sur des recherches médicales établissant les doses maximales admissibles (DMA), c'est-à-dire la quantité de telle ou telle substance qu'une personne peut absorber sans danger tout au long de sa vie. On peut calculer la quantité maximale d'eau en prenant une marge de sécurité confortable sur cette base. Le consommateur ne s'expose pas nécessairement à un risque en dépassant la norme. Par exemple, même si la teneur maximale de l'eau en argent est fixée à 10 g par litre, une teneur de 11 g ne signifie pas qu'il y a un risque d'intoxication immédiat [108].

8.2 International

L'Organisation Mondiale de la Santé ou OMS (WHO pour World Organisation Health), à instaurer quelques lignes directrices concernant la qualité requise pour que l'eau soit dite potable. Ces lignes directrices sont les références internationales qui garantissent une eau saine et donc potable [109]. Les dernières lignes directrices en date sont celles qui ont été prononcées par l'OMS à Genève en 1993. Diverses sources naturelles telles que les eaux souterraines, eaux de surface (lac, rivière, etc), ou eau de mer sont à l'origine de l'eau potable [110]. Les normes de l'eau potable sont établies par l'Organisation Mondiale de la Santé ou par

l'Union Européenne [111]. L'eau potable doit être exempte de matières en suspension, micro-organismes et produits toxiques.

Les recommandations quant aux concentrations en minéraux varient de pays à pays avec toutefois pour la plupart des minéraux une concentration maximale afin de garantir une eau équilibrée et agréable à boire [112]. Pour l'eau potable municipale, une attention particulière doit être apportée à la corrosivité ainsi qu'au potentiel de colmatage de l'eau de façon à maintenir la conduite de distribution en bon état. L'eau suit alors la règle des trois 8: pH 8, TAC 8 et TH 8. Le goût de l'eau embouteillée peut varier avec la concentration en calcium, magnésium, sulfate et fer [113].

9. La législation des eaux au Maroc

Les règles qui régissent le domaine public hydraulique sont de diverses origines. Toutefois, au Maroc, le premier texte se rapportant à l'eau date de 1914. Il s'agit du dahir du 7 chaabane 1332 (1er juillet 1914) sur le domaine public qui, complété par les dahirs de 1919 et 1925, intègre toutes les eaux, quelle que soit leur forme, au domaine public hydraulique. Depuis cette date, les ressources en eau ne peuvent faire l'objet d'une appropriation privative, à l'exception des eaux sur lesquelles des droits ont été légalement acquis.

D'autres textes ont été élaborés par la suite, afin de faire face aux nouveaux besoins qui se sont fait sentir. Dans leur ensemble, les textes essentiels relatifs à l'eau remontent donc aux premières décennies de ce siècle. Ils ont été élaborés en fonction des besoins et des circonstances, de telle façon que la législation marocaine actuelle relative à l'eau se présente sous forme d'un ensemble de textes épars, mis à jour par étapes à des dates différentes. Cette législation n'est plus aujourd'hui adaptée à l'organisation moderne du pays et ne répond plus aux besoins de son développement socio-économique [114].

10. Conclusion

D'après cette étude bibliographique présentée dans le premier chapitre, on décrit d'une manière général le cycle hydrique des eaux, en suite on a présenté les types des ressources hydriques naturel au niveau du site choisi pour l'étude, et que la province du Guelmim représente des bassins hydrauliques variées où l'étude va concentrer sur le site d'oued Assaka qu'il reçoit plusieurs points critique dans l'absence d'une station d'épuration ce qui cause une contamination. Par conséquent, une évaluation de la qualité de ce type d'eau est fortement

proposée ce qui donne l'intérêt à l'évaluation des paramètres liée à la qualité. Afin de garantir la réalisation de cette évaluation, une analyse des paramètres physicochimiques et des dosages volumétrique et spectrophotométrique est demandée. Nous avons présenté les principes des dosages les paramètres qui caractérise la qualité de l'eau, les normes national et international, ainsi que la législation des eaux au Maroc.

Chapitre II : Matériels et méthodes



1. Introduction

Ce chapitre portera essentiellement sur la présentation de la zone d'étude qui est définie par l'oued d'Assaka de la province de Guelmim dont la présentation comprend une description sur la situation géographique du site d'étude et aussi une introduction sur la situation climatique de la zone. Par la suite, une présentation des méthodes de prélèvement et l'échantillonnage établie pour cette étude tell que lieu de prélèvement et ensuite on va décrire les méthodes d'analyses exploité pour l'établissement de l'étude notamment l'analyse physico-chimiques et l'analyse statistique.

2. Présentation de la zone d'étude

2.1 Situation géographique

La province de Guelmim, qui a été créée par le décret N° 2.79.123 du 01-01- 1979, est située au sud-est du Royaume et fait partie de la région Guelmim Oued Noun. Assaka ou le centre du Targa-Wassay se situe à l'est-Ouest de la ville de Guelmim à une vingtaine de kilomètres et desservi par la route provinciale RP1300. Les habitations et les terres cultivées sont concentrées sur la rive gauche l'oued Assaka [115], [116]. Sur la rive droite, en plus des constructions administratives : le siège de la Commune, les bureaux du Caïdat, il y a quelques habitations et peu de terres cultivées. La source de l'oued Assaka, également connue sous le nom d'oued Noun, se trouve à 250 km au Sud d'Agadir, à une latitude de Guelmim [17], [21]. Le bassin versant de cette région couvre une superficie de 6500 à 7000 km² et se trouve sur le versant sud de l'Anti-Atlas, qui domine la région saharienne. Les alluvions proviennent de formations géologiques granitiques, schisto-gréseuses et quartzitiques, ainsi que de calcaires. Elles sont liées au Précambrien supérieur (boutonnière d'Ifni) et au Paléozoïque inférieur, qui constituent une partie de la couverture sédimentaire anti-atlasique (**Figure 7**) [87].

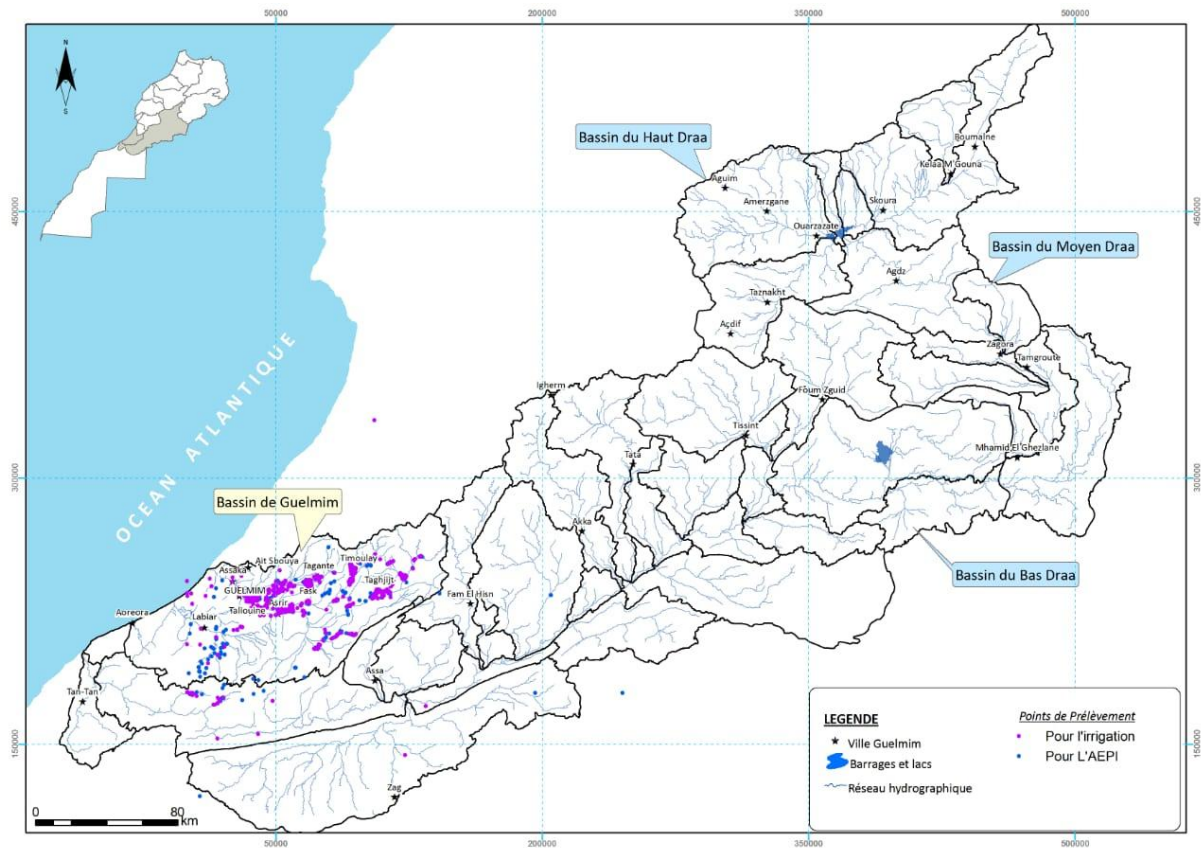


Figure 7: Présentation de la zone d'étude

Malgré la latitude, l'océan atlantique atténue plus ou moins l'effet de la continentalité saharienne. Le bassin de Guelmim (**Figure 8**) est structuré en synclinal, centré sur le Jbel Tayert, couronné par les barres quartzitiques de l'Acadien terminal. Les terrains de remplissage de part et d'autre de ces reliefs sont constitués par des dépôts de couverture plio-quaternaire surmontant les schistes acadiens du substratum [117], [118]. Les bordures de la plaine sont constituées par des terrains plus anciens qui correspondent à des cœurs d'anticlinaux qui font remonter le Précambrien du côté des boutonnières d'El Kerdous au NE et d'Ifni au NO et au niveau des Jbel Taïssa et Guir au SO. Au SE affleurent des terrains plus récents datés de l'Ordovicien, correspondant au flanc SE de l'anticlinal, dont le cœur serait situé dans l'axe de Jbel Taïssa [119], [120].

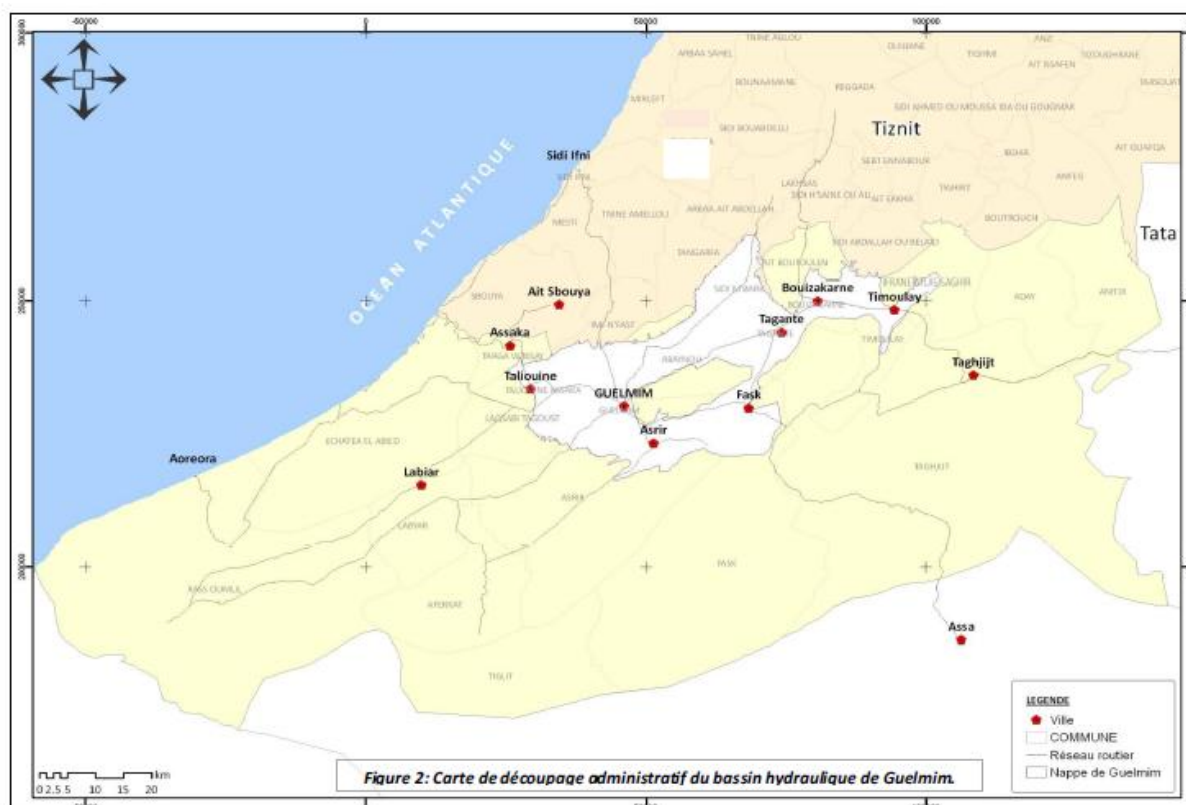


Figure 8: Distribution des bassins hydraulique de Guelmim

Le réseau hydrographique du Centre Targa Wassay est formé essentiellement de l'oued Assaka et Plusieurs écoulements convergents vers le centre de Targa-Wassay avant de se déverser dans l'oued Assaka [121], ainsi on distingue :

En rive gauche il y a :

- Chaâbat TAROUMIT : près d'Elyagouti (10 habitations menacées) ;
- Chaâbat BOUJLAYL : près de Dar Talib (6 habitations menacées) ;
- Chaâbat IGUER MOUSSA : près de la mosquée (20 habitations menacées) ;
- Chaâbat ABBOUDA : près du mur construit en travers la chaâbat (mur à démolir) ;
- Chaâbat BOUFOUSS : OA à prévoir pour franchissement de la piste ;
- Chaâbat OUM TEGATINE : près DAR BOURIQI ;
- Chaâbat : près DAR BIHI ;
- Chaâbat : près DAR BOUJENOU

En rive droite il y a :

- Chaâbat BARRY : près de l'oued AGNI ;
- Chaâbat SIDI INNO : près de Sakia (5 habitations menacées) ;

- Chaâbat LEJOUAD : près de MBARK LIZDI ;
- Chaâbat BOUYKHERBANE : près d'OULD LEKHLIFA ;
- Chaâbat TANGMOUT : près de MADANI ;
- Chaâbat OUM TAFERNOUT : près du siège de la CR.

Enfin l'oued Assaka, dans le quel déversent tous ces écoulements, qui est situé au milieu de Targa-Wassay et qui ne présente aucun risque d'inondation pour cette localité.

2.2 Situation climatique

La zone d'étude est caractérisée par un climat aride, Les vents sont très fréquents provoquant des accumulations de sables. La région d'étude est caractérisée par un climat pré saharien où la température bénéficie de l'influence océanique dans le bassin de Guelmim à très aride de type saharien avec des hivers rigoureux (entre -7°C et -1°C) et des étés chauds (44°C) dans le bassin de Drâa [122]. L'évaporation est très importante dans la région, elle est de l'ordre de 2000 à 3000 mm/an. La zone d'étude est caractérisée par une aridité sévère, en raison de la présence de la chaîne du Haut Atlas faisant obstacle aux perturbations pluvieuses en provenance du Nord [123]. Malgré la latitude, l'océan atlantique atténue plus ou moins l'effet de la continentalité saharienne. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 120 mm, mais avec une irrégularité aléatoire très importante, entre 15 mm et 300 mm [124], [125].

3. Méthode de prélèvement et échantillonnage

3.1 Lieu de prélèvement

Les prélèvements d'eaux utilisées pour l'analyse dans cette étude ont été prélevés durant la période du février 2021 jusqu'à janvier 2022, dont quatre points ont été logiquement sélectionnées pour échantillonner les eaux du bassin de l'Oued d'Assaka de la province de Guelmim et pour effectuer l'analyse physico-chimique ainsi que les autres analyses pour l'évaluation de la qualité. Les vitesses d'écoulement de l'eau aux points de relevés au moment des prélèvements de la masse d'eau même, la vitesse du courant est approximée en suivant un objet lâché sur un trajet de 10 m. Le débit (m^3/s^{-1}) a été calculé en multipliant la vitesse de l'eau par la surface totale (m^2) de la section mouillée au point de prélèvement. La conductivité électrique (CE) et le total des solides dissous (mg/l^{-1}) ont été relevés à l'aide d'un multi paramètre de terrain. Un volume d'eau prélevée au milieu du site du l'Oued d'Assaka ont été collectées pour l'analyse des paramètres évaluant la qualité de l'eau. La filtration des

échantillons s'effectue le jour même de prélèvement, les analyses chimiques se font dans les jours qui suivent dans le laboratoire.

3.2 Echantillonnage

Notre travail consiste à déterminer la qualité des eaux superficielles du bassins versant du l'Oued d'Assaka par le truchement des analyses physico-chimiques, afin d'évaluer les paramètres de qualité du bassin ainsi que de préciser l'affluent ou l'Oued le plus polluant du réseau alimentateur et interpellier ainsi les services concernés dans le but d'avoir une intervention visent à réduire le taux de la pollution.

La campagne d'échantillonnage a été faite en tenant compte de la diversité lithologique du bassin ainsi que la distribution des activités au niveau de quatre points sur une période de temps s'étalant sur douze mois, les prélèvements réalisées successivement pendant les mois qui début du 30 février 2021 vers 17 janvier 2022. La base de données comprend en tout quarante-quatre échantillons.

4. Méthode d'analyse

4.1 Analyse physico-chimique

Les paramètres physico-chimiques comprennent le pH, l'oxygène dissous OD, la conductivité électrique CE et la température T°C, mesurés (in situ) sur le terrain, et les sulfates (SO_4^{2-}), l'Ammonium (N-NH_4) et les Nitrates (N-NO_3) analysés au laboratoire. Ces paramètres ont été déterminés selon les méthodes d'analyses préconisées par les normes AFNOR. L'évaluation et la visualisation des résultats ont été effectuées à l'aide du logiciel Excel 2016.

L'étude de la contamination par les éléments traces métalliques des eaux de surface du bassin versant de l'Oued d'Assaka a porté sur les éléments Cr, Cd, Ni, Zn, Fe, Cu, Pb. Ces analyses ont été réalisées aussi au laboratoire d'analyse. Le tableau suivant (**Tableau 5**) résume tous les paramètres mesurés et leurs méthodes d'analyse utilisées :

Tableau 5: Description des paramètres mesurés, de leurs unités de mesure et de leurs méthodes d'analyse

Paramètre	Unité	Méthode
SO₄	mg/l	néphélométrique
Cl	mg/l	volumétrique par la nitrate mercurique
F	mg/l	Potentiomètre
Conductivité	µs/cm	Potentiomètre
TH	még/l	compléxométrique par EDTA
Ca	mg/l	compléxométrique par EDTA
pH	Unité pH	Potentiomètre
TAC	Még/l	Volumétrique (acido-basique)
NO₃	mg NO ₃ /l	Spectrophotometre
NH₄	mg NH ₄ /l	Spectrophotometre
SiO₃	mg SiO ₃ /l	Spectrophotometre
NO₂	mg NO ₂ /l	Spectrophotometre
Turbidité	NTU	Néphélométrique
Al	mg/l	Absorption atomique
As	mg/l	Absorption atomique
Ba	mg/l	Absorption atomique
Cd	mg/l	Absorption atomique
Cr	mg/l	Absorption atomique
Cu	mg/l	Absorption atomique
Fe	mg/l	Absorption atomique
Mn	mg/l	Absorption atomique
Pb	mg/l	Absorption atomique
Ni	mg/l	Absorption atomique
Se	mg/l	Absorption atomique
Zn	mg/l	Absorption atomique
Na	mg/l	Absorption atomique
K	mg/l	Absorption atomique
MES	mg/l	Gravimétrique
Resdu sec	mg/l	Gravimétrique

4.1.1 Potentiel d'Hydrogène (pH)

En solution aqueuse, le potentiel hydrogène varie de 0 à 14. Il permet d'identifier l'acidité d'une eau ($0 < \text{pH} < 7$) ou sa base ($7 < \text{pH} < 14$). La quantité de protons dans la solution détermine cela. Un pH neutre est égal à 7. La plupart des sources d'eau brute ont un pH de 6,5 à 8,5. Le pH est mesuré sur des prélèvements d'eau à l'aide d'un pH-mètre, vérifié et étalonné avec au moins deux solutions étalons (7 et 4) en fonction de la gamme de mesure à réaliser. Lorsque la température augmente de 25 °C, le pH diminue d'environ 0,45 dans l'eau pure. L'effet de la température dans les eaux ayant un pouvoir tampon dû aux ions bicarbonates, carbonates et hydroxydes est différent [126], [127].

4.1.2 Température

La température de l'eau est l'exemple même du paramètre qui évolue très vite après le prélèvement, elle joue un rôle important dans la solubilité et la dissolution des sels dissous, dans la solubilité des gaz, sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH. Ce paramètre important pour obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau, varie d'une station à l'autre. Ceci revient aux variations de la température de l'atmosphère ainsi que le déplacement des hautes vers les basses altitudes [101], [128].

4.1.3 Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique de l'eau, qui est sa capacité à transporter le courant électrique en fonction des substances dissoutes qu'elle contient, permet d'évaluer la quantité totale de solides dissous dans l'eau. Il est possible de suivre l'évolution d'une pollution chimique grâce à sa variété. Il permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau car la majorité des matières dissoutes dans l'eau sont des ions chargés électriquement [129], [130].

4.1.4 Turbidité

La turbidité désigne la teneur d'un liquide en matières qui le troublent. Dans les cours d'eau elle est généralement causée par des particules colloïdales qui absorbent, diffusent et/ou réfléchissent la lumière. Elle est mesurée par différentes méthodes de photométrie des milieux troubles comme la néphélométrie, l'opacimétrie et la turbidimétrie. Elle est exprimée en UTN (Unité de Turbidité Néphélométrique). L'étalonnage se fait à l'aide de témoins solides [131], [132].

4.1.5 Titre hydrotimétrique

Le titre hydrotimétrique (TH), ou dureté de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium (ions alcalino-terreux). Son principe est défini par un titrage complexométrique molaire des ions calcium et magnésium avec une solution disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) à pH 10. Le noir ériochrome T(NET), qui donne une couleur rose foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, et utilisé comme indicateur [133], [134].

L'expression des résultats est présentée par l'équation suivante :

$$TH = N.T_B.1000 / P_E$$

N : la normalité de la solution EDTA

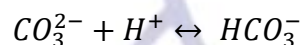
T_B : volume de point d'équivalence en ml

P_E : prise d'essai en ml

4.1.6 Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet

L'alcalinité d'une eau se définit comme sa capacité à réagir avec un acide. L'alcalinité est due principalement à la présence des ions carbonates, bicarbonates et hydroxydes. La mesure de l'alcalinité totale est augmentée par des apports d'origine urbaine (phosphates, ammoniac, matières organiques) ou industrielle (apports de produits basiques ou acides). L'Alcalinité complète d'une eau correspond à la présence des hydrogénocarbonates [135].

T.A : Le titre alcalimétrique ou T.A correspond à la neutralisation des ions hydroxydes et à la transformation des ions carbonates en hydrogénocarbonates par un acide fort.



T.A.C : Le titre alcalimétrique complet ou T.A.C. correspond à la neutralisation par acide fort des ions hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates [136].



L'échantillon est titré à l'aide d'une solution acide étalonnée à des valeurs fixes en présence d'indicateur coloré de PH spécifiques (Phénolphthaléine, Méthylorange) de points de virage de 8,3 et 4,5. Les points de virage, qui sont déterminés visuellement, sont les points

d'équivalence sélectionnés pour les déterminations des trois composants principaux : hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-). Le point de virage pH 8,3 s'approche par approximation des concentrations équivalentes de carbonates et dioxyde de carbone et représente le titrage d'environ tout l'hydroxyde et de la moitié de carbonate présent.

Soit alcalinité composite :

$$[\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}] = \text{TAC}$$

Le point de virage pH 4,5 s'approche par approximation du point d'équivalence pour les ions hydrogène et hydrogénocarbonate et permet la détermination de l'alcalinité totale de l'échantillon. Le résultat peut être exprimé en degré français (°F).

Soit alcalinité totale :

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

L'expression des résultats se fait par :

$$\text{TAC} = \text{TAC} = \frac{V \times N \times 100}{V_E}$$

V : volume de titrage H_2SO_4

N : normalité de H_2SO_4 (0.1N)

V_E : volume de la prise d'essai

4.1.7 Ion calcium Ca^{2+}

Toutes les eaux de sources, souterraines et superficielles naturelles, contiennent, suivant la roche avec laquelle elles ont été en contact, des sels de calcium en solution. Ils représentent généralement une part considérable du titre hydrotimétrique. Pour déterminer la concentration de l'ion Ca^{2+} dans une eau on utilise une réaction de complexation à l'aide de l'ion éthylène-diamine-tétra acétate (E.D.T.A.) [137].

La mesure est un dosage volumétrique par un réactif titrant complexant, l'EDTA (sel tétra sodique de l'acide éthylène diamine tétra-acétique). L'EDTA a la propriété de se combiner avec les ions (calcium) pour former des composés solubles. La fin du dosage est décelée par la couleur bleue de l'indicateur coloré (calcon), étant violet tant que les ions magnésium restent à l'état libre en solution [138].

Expressions des résultats : Au point de virage lorsque l'équivalence est atteinte :

$$[\text{Ca}^{2+}] = N \cdot T_B \cdot 1000 / P_E$$

N : la normalité de solution EDTA

T_B : volume de point d'équivalence en ml

P_E : prise d'essai en ml

4.1.8 Ion de magnésium Mg²⁺

La plupart des eaux naturelles contiennent généralement en petites quantités, du magnésium provenant le plus souvent des rochers dolomitiques. Expressions des résultats : La concentration en ion Mg²⁺ se détermine par calcul selon l'expression suivante [139], [140]:

$$[\text{Mg}^{2+}] = \text{TH} - [\text{Ca}^{2+}] \text{ en meq/l}$$

4.1.9 Chlorure Cl⁻

Le principe est basé sur les chlorures qui sont dosées, en milieu acide par du nitrate mercurique en présence d'un indicateur de pH à base diphénylcarbazon et de bleu de bromophénole. L'expression des résultats est comme suit [141], [142]:

$$[\text{Cl}] = \text{N} \cdot \text{T}_B \cdot 1000 / \text{P}_E$$

N : la normalité de nitrate mercurique

T_B : volume de point d'équivalence en ml

P_E : prise d'essai en ml

4.1.10 Sulfate SO₄²⁻

L'ion sulfate est précipité dans de l'acide chlorhydrique contenant du chlorure de Baryum d'une manière telle qu'il se forme des cristaux de sulfate de baryum de taille uniforme. L'absorbance de la suspension de sulfate de baryum est mesurée au néphélomètre ou par transmission au spectrophotomètre. La turbidité obtenue donne la concentration SO₄²⁻ dans la solution grâce à une courbe d'étalonnage faite à partir de la solution standard de sulfate. Mesure de la concentration à une longueur d'onde = 520 nm [143], [144].

4.1.11 Sodium et potassium

Nébulisation de l'échantillon (éventuellement après dilution) dans la flamme (acétylène – air) d'un spectromètre d'absorption atomique. Mesure de l'absorbance aux longueurs d'onde

de 589 nm pour le sodium et de 766,5 nm pour le potassium. Détermination de la concentration de l'élément dosé par la méthode directe à l'aide d'une courbe d'étalonnage [105].

Déduire de la courbe d'étalonnage (concentration en microgramme/l en fonction de la lecture optique) tracée à partir des solutions d'étalonnage les concentrations obtenues pour les solutions de dosage calculer à partir de ces valeurs, en tenant comptes des dilutions éventuelles lors du traitement de l'échantillon pour essai et lors des mesures, les concentrations des échantillons analysés. Exprimer le résultat en microgrammes par litre [145].

4.1.12 Nitrates

Les nitrates sont des composés chimiques faits d'azote et d'oxygène. On les trouve à l'état naturel dans certains légumes, dans les viandes en conserve et dans le sol. Il y en a aussi les engrais commerciaux et les déjections animales. Les nitrates sont nécessaires à la croissance des végétaux mais leur présence excessive dans le sol peut contaminer les sources d'alimentation en eau et soulever des préoccupations pour la santé. En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitro salicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique. Expression des résultats : Effectuer la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm [142], [146].

4.1.13 Nitrites

La diazotation de la sulfanilamide par les nitrites en présence de dichlorure de N-(1-Naphtyl, éthylène diamine) donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrométrique à une longueur d'onde $\lambda = 537$ nm [147], [148].

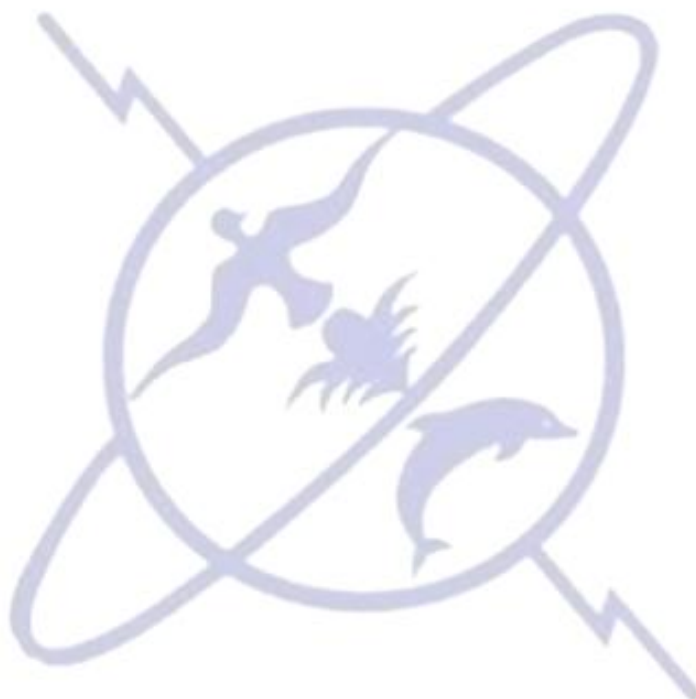
5. Analyse statistique

Dans cette thèse nous utilisons le logiciel statistique SPSS dans le but de faire traiter notre base des données qui sont liées aux facteurs environnementaux et aux paramètres physico-chimiques. L'analyse en composantes principales a été réalisée sur les valeurs moyennes annuelles des paramètres physico-chimiques caractérisant les quatre points de prélèvements. Cette analyse a permis de faire ressortir les corrélations existantes entre les différents paramètres de l'eau. Afin d'obtenir une meilleure affectation des individus à leur classe. Cette analyse a été complétée par une classification bien défini.

L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide de Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corp.) et SPSS Statistiques (SPSS Inc.). Les valeurs moyennes et les écarts types ont été déterminés. Des coefficients de corrélation de Pearson ont été réalisés. Des analyses de variance (ANOVA) ont également été réalisées pour déterminer les différences statistiquement significatives entre les paramètres du bassin étudié et les concentrations en métaux lourds entre les paramètres du bassin d'Oued d'Assaka et les concentrations en métaux lourds dans le bassin.



Chapitre 3 : Résultats et discussion



1. Introduction

Le but de ce chapitre est d'analyser et discuter les résultats expérimentaux obtenus pour comprendre et évaluer la qualité des eaux du bassin versant de L'Oued d'Assaka de la province de Guelmim (Analyse des paramètres physico-chimiques, évaluation des éléments traces métalliques) ainsi que d'interpréter les résultats de l'analyse statistique obtenus pour les différents échantillons d'eau étudiés.

2. Evaluation de la qualité physicochimique de l'eau dans point d'étude dans l'oued Assaka

2.1 Présentation de résultat de suivi

L'évaluation de la qualité des eaux superficielle de la zone d'étude du bassin versant du l'Oued d'Assaka de la province du Guelmim s'est fait d'après la détermination des paramètres physico-chimiques. Le suivi des paramètres physico-chimiques de l'eau dans le bassin versant de la province de Guelmim a révélé plusieurs tendances significatives au cours de la période de prélèvement. Les mesures de pH ont démontré une stabilité relativement constante, avec des valeurs moyennes oscillant entre 7.77 et 8.34, indiquant un équilibre satisfaisant de l'acidité notable, atteignant des valeurs maximales pendant les mois d'été, les températures moyennes mesurés pendant le prélèvement se situe entre 17.5°C et 26°C.

2.2 Discussion des résultats d'analyse physico-chimique

2.2.1 Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traverser. Dans les eaux de surface, le potentiel d'Hydrogène est déterminé en partie par la nature géologique du bassin de drainage. Le pH est également influencé par les précipitations acides, l'activité biologique et certains rejets industriels. Les valeurs du critère de qualité pour l'eau brute d'approvisionnement se situent entre 6.5 et 8.5 et entre 6.5 et 9.0 afin de garder la protection de la vie aquatique [149], [150].

D'une manière générale, le pH ne constituent jamais un facteur limitant en hydrobiologie sauf dans des situations exceptionnelles, bien entendu. Les variations du pH dans les eaux de surface est connue par des valeurs qui sont toujours moins élevées [151]. Les valeurs du pH du bassin versant d'Assaka montrent une stabilité visible sur la (**Figure 9**). La stabilité de la neutralité des eaux du bassin pourrait résulter d'un équilibre entre les fortes teneurs en

dioxyde de carbone et les bicarbonates de calcium dissous, stabilisées par l'effet tampon résultant de la forte minéralisation des eaux.

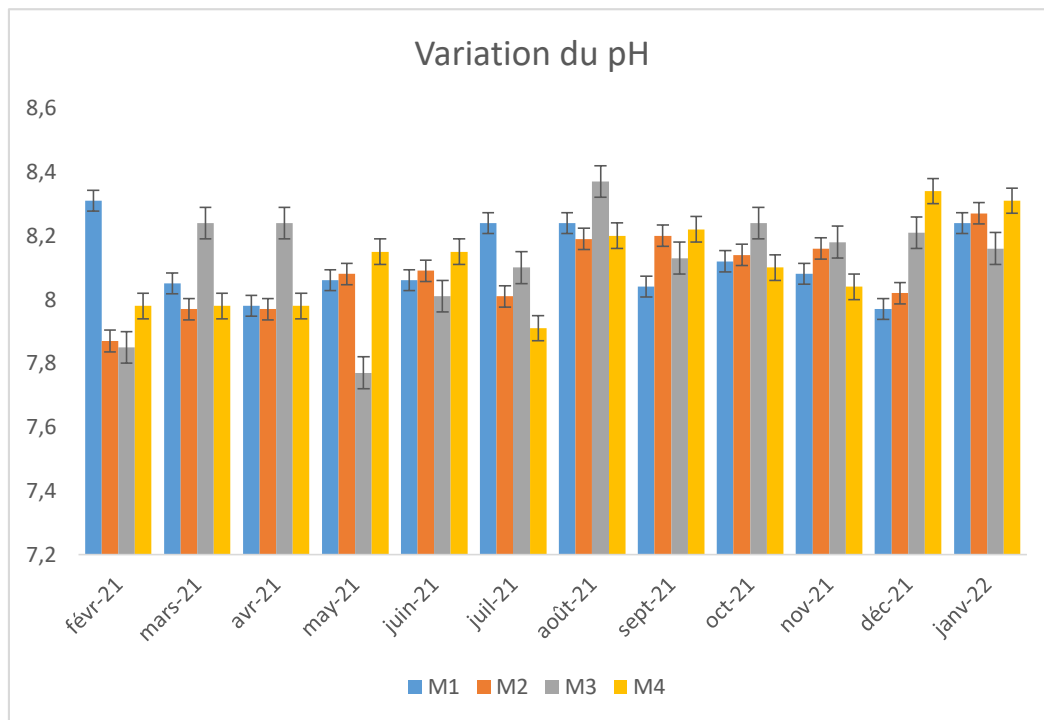


Figure 9: Variation du pH des quatre points du bassin d'Assaka pendant la période du prélèvement

2.2.2 Température

La température de l'eau joue un rôle important dans la modification des propriétés chimiques, physiques ainsi que les réactions biologiques, qui se caractérise comme un facteur physique fondamental dans les milieux aquatiques superficiels et terrestres [152], [153]. La variation de la température dans le bassin d'Assaka de la province du Guelmim présente des caractéristiques saisonnières distinctes, reflétant les fluctuations climatiques régionales les données recueillies sur plusieurs mois révèlent des tendances qui mettent en lumière les différences thermiques entre les saisons. Pendant les mois d'été, les températures ont tendance à atteindre des niveaux plus élevés, avec des pics observés généralement entre mois 9 et mois 12, en raison de l'augmentation de l'ensoleillement et des conditions météorologiques plus chaudes. En revanche, les mois du printemps affichent des températures plus basses, avec des valeurs minimales enregistrées entre mars et mai, attribuables à la réduction de l'ensoleillement et aux influences climatiques plus fraîches. Ces variations saisonnières de température dans le bassin d'Assaka jouent un rôle crucial dans la régulation des processus

écologiques et hydrologiques, influençant les habitats aquatiques, la biodiversité et les cycles biogéochimiques dans la région.

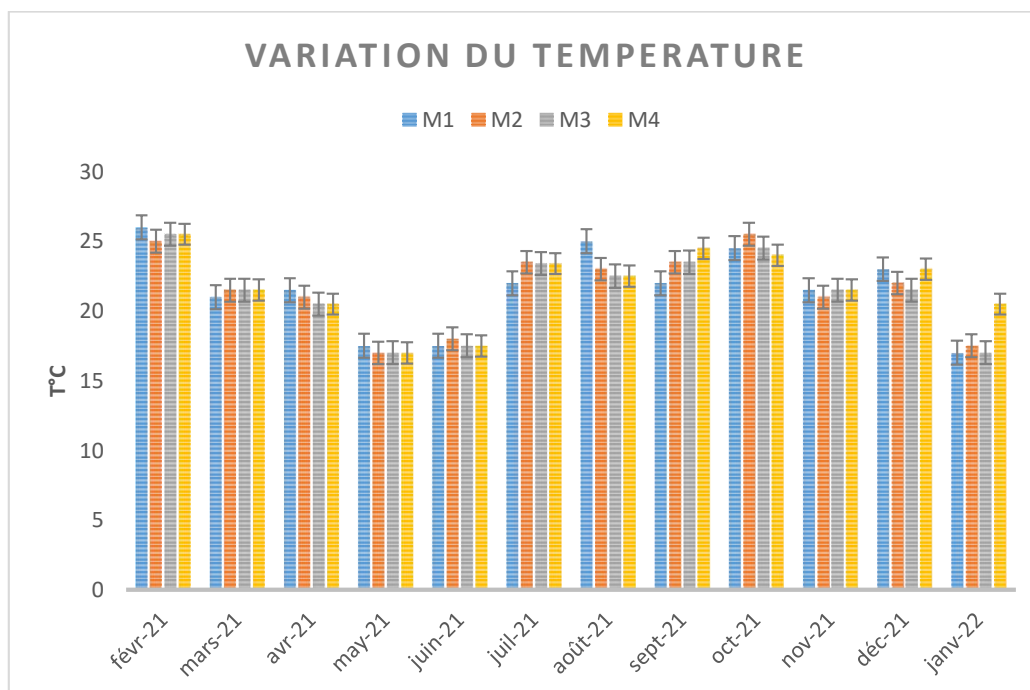


Figure 10: Variation de la température des quatre points du bassin d'Assaka pendant la période du prélèvement

2.2.3 Conductivité Electrique

C'est la mesure de la capacité de l'eau à conduire le courant électrique et elle dépend de la concentration en ions. C'est pour cela, elle peut être aussi une mesure indirecte des matières totales dissoutes (TDS). La conductivité électrique des eaux exprime la minéralisation globale, elle traduit la charge ionique de cette eau [154]. Les pollutions domestiques et industrielles modifient souvent les teneurs naturelles de différents éléments, une modification de la conductivité permet ainsi de mettre en évidence ces pollutions. Elle est proportionnelle à la concentration des sels ionisables qui dépend elle-même, pour une part, de la température de l'eau. C'est un indice de l'abondance des ions dans l'eau. Les acides et les bases inorganiques ainsi que les sels contribuent fortement à la conductivité de l'eau [149], [153].

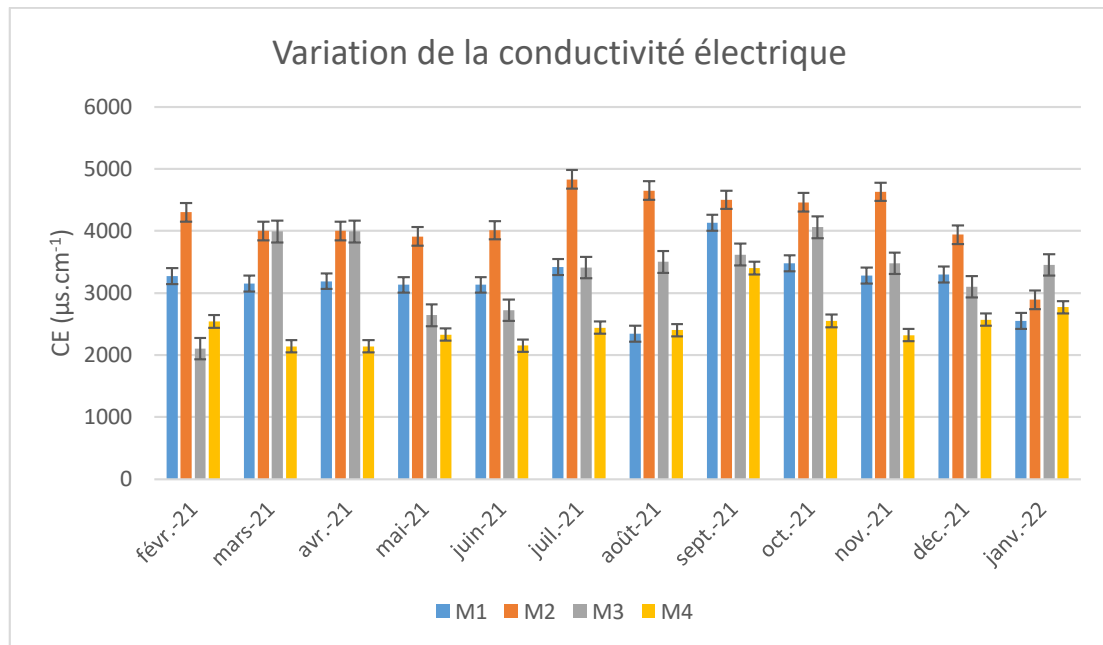


Figure 11: Variation de la conductivité électrique des quatre points du bassin d'Assaka pendant la période du prélèvement

Les eaux du bassin d'Assaka analysées présentent des valeurs de conductivité généralement élevées (**Figure 11**), dépassant largement la Valeur guide fixée par les normes européennes ($100 \mu\text{s.cm}^{-1}$). Elles sont, généralement comprises entre $2140 \mu\text{s.cm}^{-1}$ dans le point 4 de prélèvement et $4830 \mu\text{s.cm}^{-1}$ dans le point 2. La forte minéralisation de l'eau de ce point peut être due soit à l'existence d'une formation géologique saline locale soit à un impact particulièrement marqué des rejets.

2.2.4 La turbidité

Les données de turbidité recueillies à partir de quatre points de prélèvement différents révèlent une variation significative dans la clarté de l'eau dans le bassin d'Assaka à Guelmim. Les valeurs de turbidité vont de 16,80 NTU à 150 NTU (Figure 12), ce qui indique une gamme allant d'une eau légèrement trouble à très trouble.

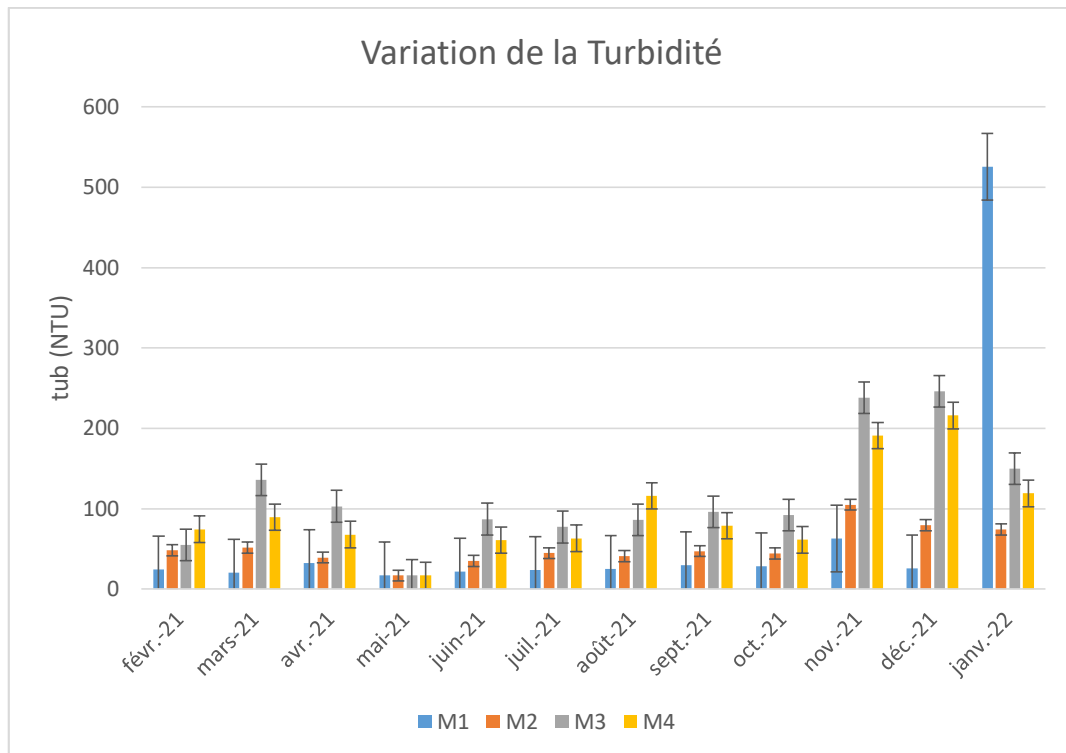


Figure 12: Evolution de la Turbidité dans le bassin des quatre points de prélèvement

Au point de prélèvement avec une turbidité de 16,80 NTU, on peut interpréter que l'eau est relativement claire, ce qui suggère une faible concentration de particules en suspension. Cela peut être attribué à une faible activité anthropique, à une végétation riveraine dense ou à des caractéristiques géologiques qui favorisent la filtration naturelle de l'eau.

En revanche, au point de prélèvement avec une turbidité de 150 NTU, l'eau est considérée comme très trouble, indiquant une forte concentration de particules en suspension. Cela pourrait être le résultat d'une activité humaine intense, comme la construction, l'agriculture non durable ou l'érosion des sols dans la région. Une turbidité élevée peut entraîner une réduction de la lumière pénétrant dans l'eau, ce qui peut avoir des effets néfastes sur la vie aquatique et les écosystèmes riverains.

Il est important de noter que les variations de turbidité entre les différents points de prélèvement peuvent être dues à des facteurs locaux tels que la topographie, l'utilisation des terres et la proximité des sources de pollution. Ces résultats soulignent la nécessité d'une gestion proactive de la qualité de l'eau dans le bassin d'Assaka à Guelmim, en mettant l'accent sur la réduction des sources de turbidité et la préservation des écosystèmes aquatiques dans la région.

2.2.5 Les ions Chlorures

Les chlorures peuvent avoir une triple origine dans les milieux aquatiques : naturelle, lorsqu'ils proviennent des intrusions marines ou dans les terrains salés, humaine (10 à 15 g de NaCl sont rejetés dans les urines par jour et par personne) ou encore industrielle (potasse, industrie pétrolière et agro-alimentaire) [155]. La concentration de chlore dans le bassin d'Assaka à Guelmim dépend de plusieurs facteurs, notamment les pratiques de traitement de l'eau, les activités industrielles, agricoles et urbaines, ainsi que les conditions géographiques et hydrologiques de la région.

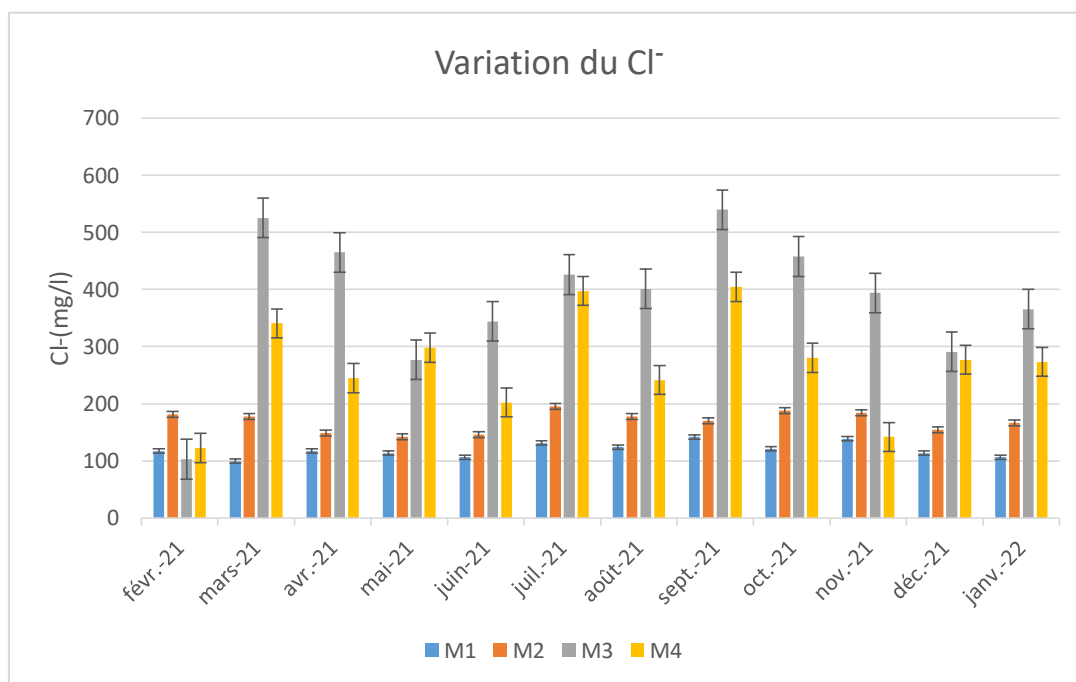


Figure 13: Concentration du Chlore dans le bassin d'Assaka

Les teneurs en ions Cl⁻ varient d'un point à l'autre (Figure 13). Elles sont situées entre 99.40 mg/l dans le point M1 et 539.60 mg/l dans le point M3. Selon les normes marocaines des eaux destinées à la production de l'eau potable, qui exigent un maximum de 300 mg/l et 750 mg/l (valeur impérative). Les eaux des points du prélèvement reconnue une gamme inférieure de celle de la norme surtout sur le point M1 et M2, par contre on trouve les valeurs données sur les points M3 et M4 qui sont dans la norme dans lequel la salinité est reste stable sur les derniers points.

2.2.6 Magnésium Mg^{2+}

Les résultats du suivi du magnésium dans Oued Assaka à Guelmim révèlent une variation significative des concentrations observées au fil du temps. Les valeurs mesurées varient de 2,43 mg/L à 202,34 mg/L, mettant en évidence une gamme étendue de concentrations de magnésium dans les eaux de cette zone.

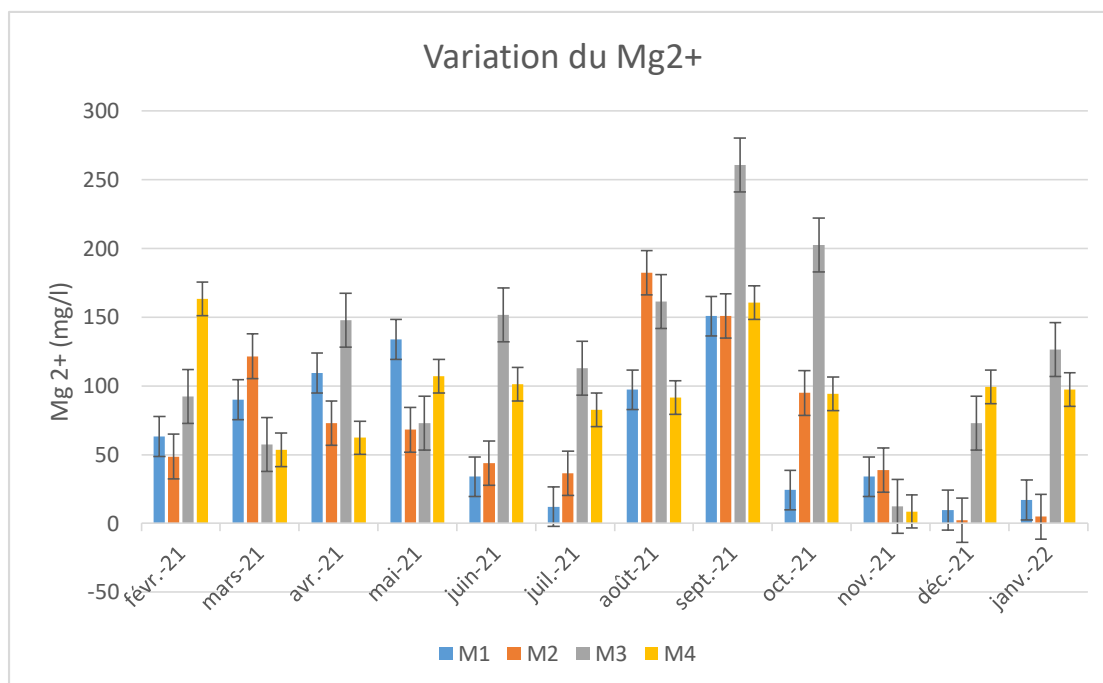


Figure 14: Concentration du Mg^{2+} dans le bassin d'Assaka

Les teneurs moyennes en Mg^{2+} sont très élevées dans la majorité des eaux du bassin d'Oued d'Assaka (**Figure 14**). Elles sont comprises entre 2,43 mg/l dans le point M2 et 202,34 mg/l dans le point M3. Ces différents teneurs sont en relation avec la nature dolomitique du substrat traversé par l'eau. Les ions Mg^{2+} contribuent considérablement à la dureté de l'eau.

2.2.7 Nitrates NO_3^-

Les résultats du suivi de la qualité de l'eau dans le bassin d'Assaka révèlent des niveaux élevés de nitrates, avec des concentrations dépassant largement les seuils recommandés pour une bonne qualité de l'eau. Vu le danger que peuvent présenter les nitrates dans l'eau de boisson, risque de méthémoglobinémie (cyanose) et formation de nitrosamines (carcinogènes), la valeur maximale admissible en cet élément a été fixée à 50 mg/l par la

totalité des normes internationales sauf les normes américaines qui fixent 45 mg/l comme valeur maximale admissible [156].

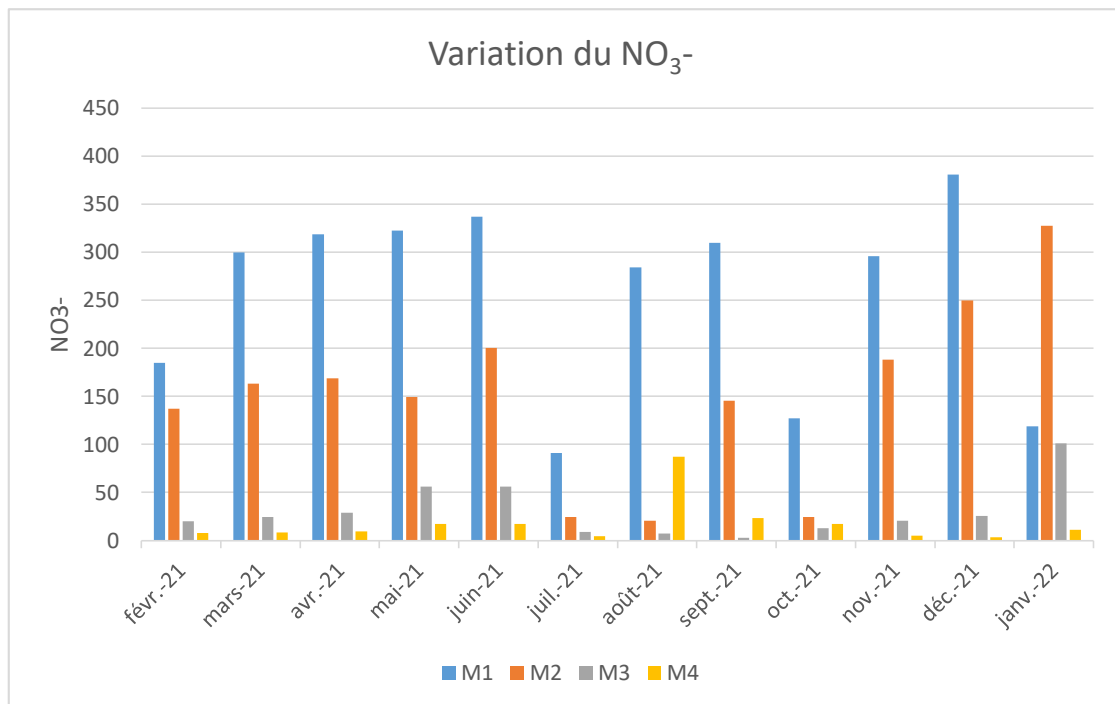


Figure 15: Concentration des nitrates dans le bassin

Les concentrations de nitrates dans divers points sont comprise entre 2.81 mg/l et 337.34 mg/l. La concentration la plus élevée est observée au point M1 (337.34 mg/l), qui se caractérise comme une valeur supérieure à la limite du WHO (qui est égale à 50 mg/l) (**Figure 15**). Cette valeur élevée peut être due à l'utilisation excessive d'engrais dans l'agriculture, aux déchets végétaux et animaux ainsi qu'aux effluents domestiques et industriels.

2.2.8 Calcium Ca^{2+}

La concentration en Ca^{2+} est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par les eaux. Les ions calcium résultent de l'attaque par l'eau chargée de dioxyde de carbone des roches calcaires ou de la simple dissolution des sulfates comme le gypse. Le calcium joue un rôle essentiel dans la constitution des squelettes et des coquilles, et dans les phénomènes de perméabilité cellulaire, il est concentré par les organismes à partir de l'eau ou des aliments. Il ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux très douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations.

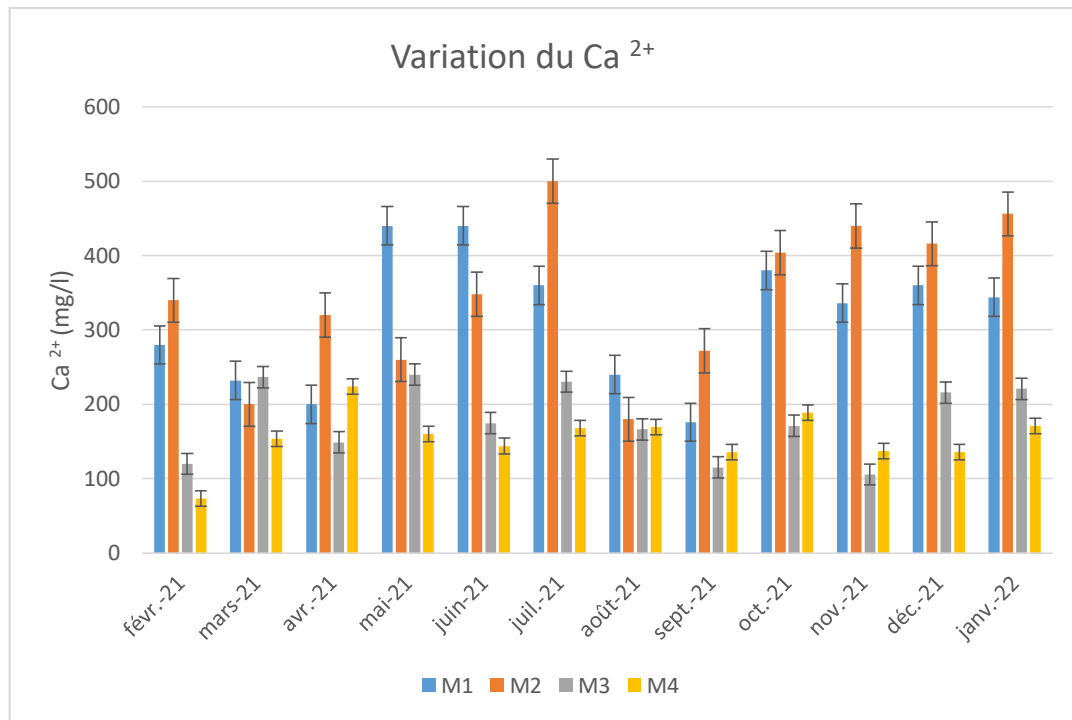


Figure 16: Concentration en Calcium Ca²⁺ dans le bassin d'Assaka

Dans l'ensemble des points étudiées dans le bassin d'Assaka de la province du Guelmim, les teneurs en ions calcium suivent une augmentation qui varie entre 73.60 mg/l dans le point M4 et de 456 mg/l dans le point M2. Elles sont très variables d'un point à l'autre. Dans le point M2 les teneurs en Ca²⁺ sont les plus élevées (456 mg/l). Alors que, les teneurs les plus faibles ont été enregistrées dans le point M4 pendant le mois du Février 2021 (période du prélèvement). Dans les autres points sans exception la concentration est légèrement supérieure à 100 mg/l, correspondant à la valeur guide fixée par les normes de l'OMS.

2.2.9 Sulfate SO₄²⁻

La présence des sulfates dans l'eau peut être liée à la dissolution de gypse, au lessivage des terrains pyrifères ; ou à l'oxydation des sulfures ou encore d'origine anthropique en relation avec une pollution industrielle ou urbaine.

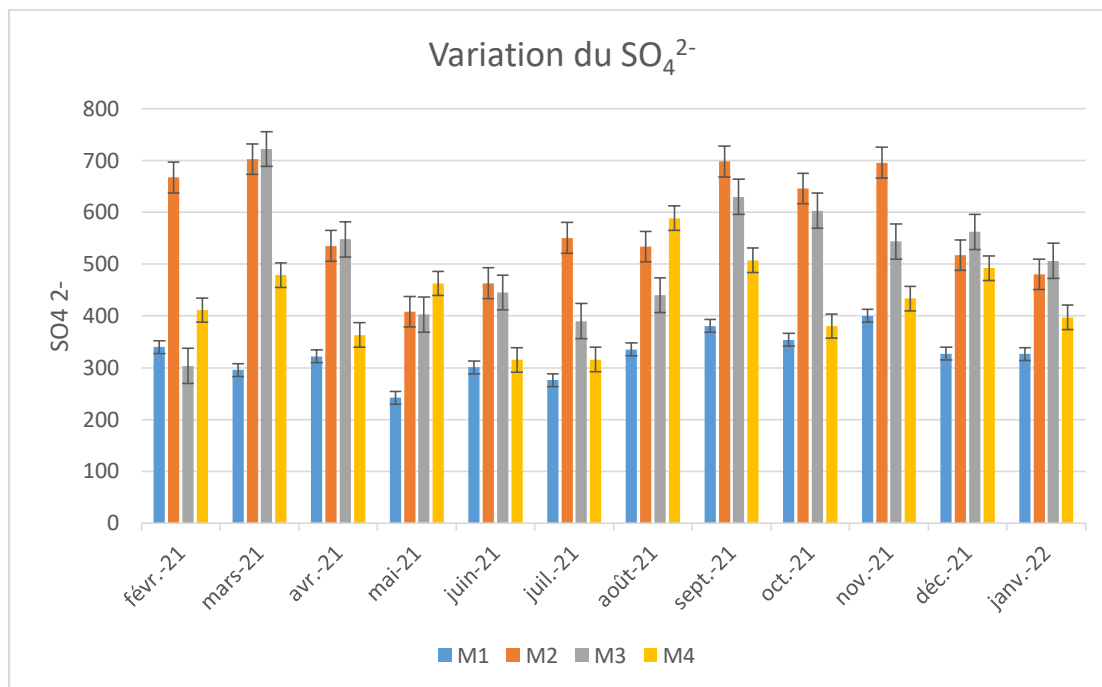


Figure 17: Concentration en sulfate dans le bassin d'Assaka

Les eaux du bassin étudiés sont séléniteuses, les teneurs en SO_4^{2-} sont largement variables d'un point à l'autre, allant de 295.94 mg/l dans le point M₁ vers 722.45 mg/l dans le point M₃ situé au bassin versant du l'Oued d'Assaka.

Selon le projet des normes marocaines de la qualité des eaux destinées à la production d'eau potable qui exigent une valeur limite de 200 mg/l de sulfate, la majorité des points prospectés ne répondent pas à cette valeur, ce qui déduit une contamination de ces eaux à partir de la décharge publique.

2.2.10 Dureté TH

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca^{2+} et Mg^{2+} et une dureté non carbonatée produite par les autres sels.

Selon les recommandations de l'OMS, la dureté totale de l'eau potable n'est généralement pas considérée comme un risque pour la santé humaine. Cependant, des niveaux élevés de dureté totale peuvent entraîner des problèmes de dépôts calcaires dans les appareils ménagers et les canalisations, ainsi qu'une consommation accrue de détergents pour obtenir une mousse suffisante lors du lavage.

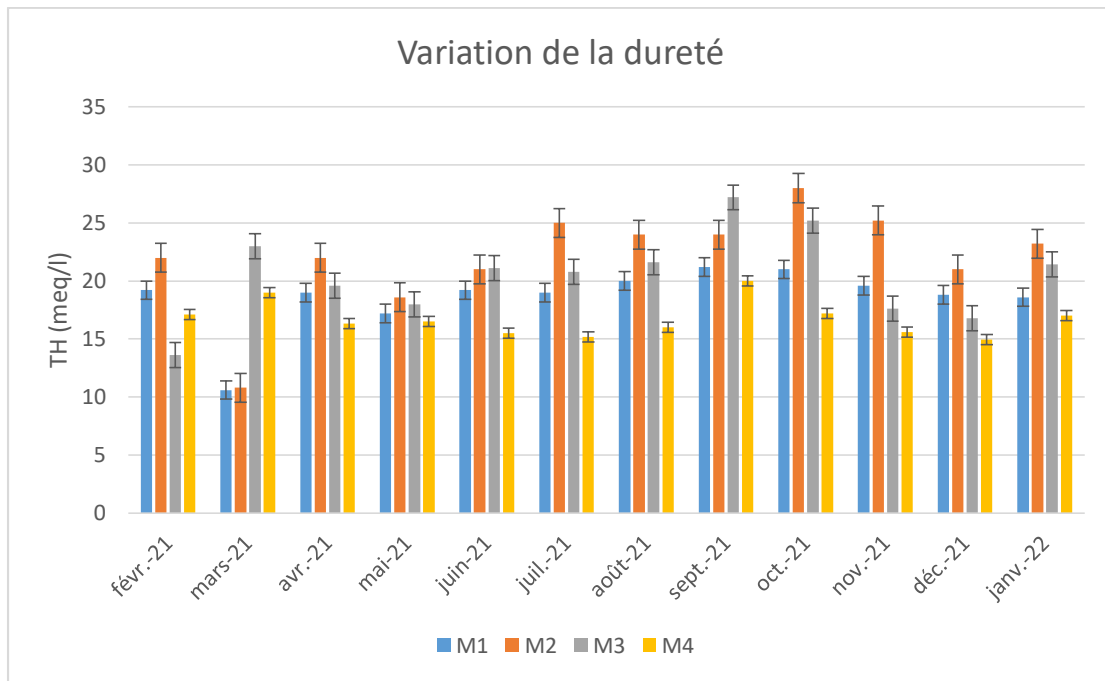


Figure 18: Dureté de l'eau du bassin d'Assaka

La dureté totale de l'eau des points prospectés est variée entre 17 meq/l dans le point M4 et 28 meq/l dans le point M2. L'ensemble de l'eau étudié présente une gamme de valeur de la dureté qui est généralement dans les normes proposées qui se défini comme une faible dureté selon le classement proposé par l'OMS (Faible dureté : moins de 60 mg/l de carbonate de calcium CaCO_3).

2.2.11 Titre alcalimétrique complet (TAC)

En raison de divers facteurs, tels que la géologie régionale, l'activité biologique, le ruissellement des eaux de pluie et les rejets d'eaux usées, la teneur totale en alcalinité de l'eau des surfaces peut varier considérablement. Une alcalinité totale plus élevée peut indiquer une présence accrue de carbonates, de bicarbonates et d'hydroxydes, ce qui peut rendre l'eau plus basique (pH plus élevé) et lui donner une meilleure capacité à résister aux changements de pH provoqués par l'acidification. Une alcalinité totale élevée dans les écosystèmes aquatiques peut contribuer à maintenir un pH stable et à offrir un habitat favorable à une variété d'espèces aquatiques. Cependant, des niveaux d'alcalinité totale excessivement élevés peuvent également indiquer une pollution ou un déséquilibre écologique.

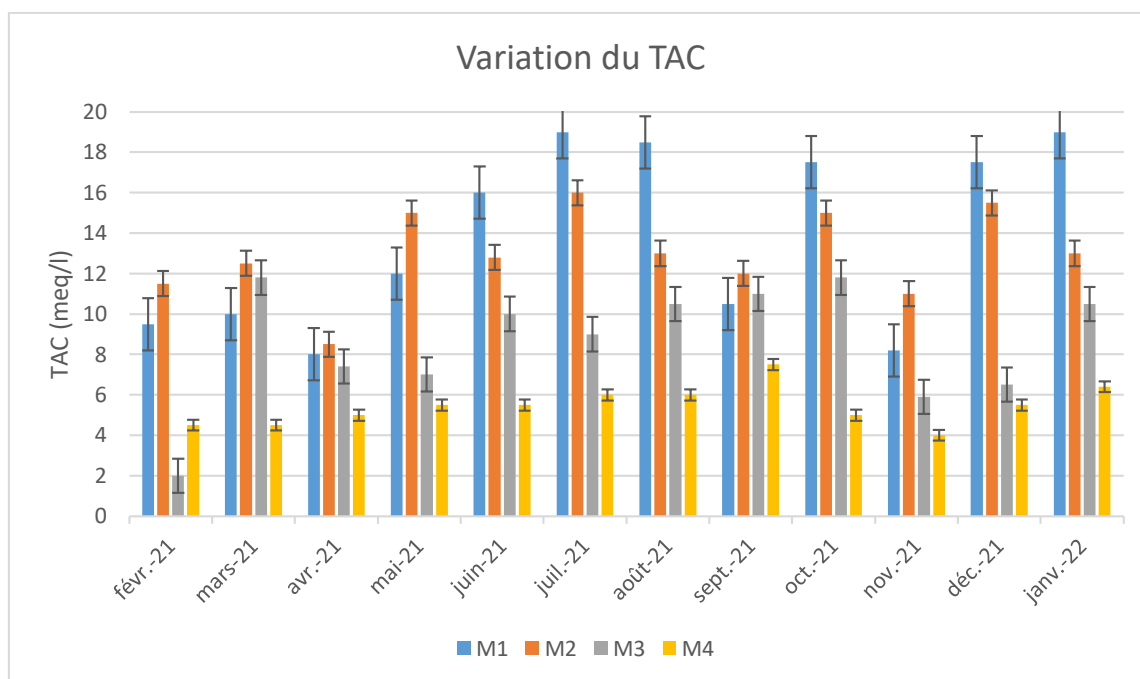


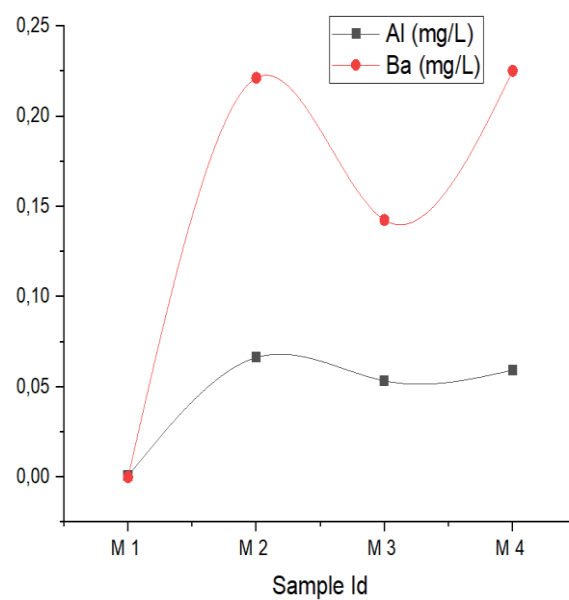
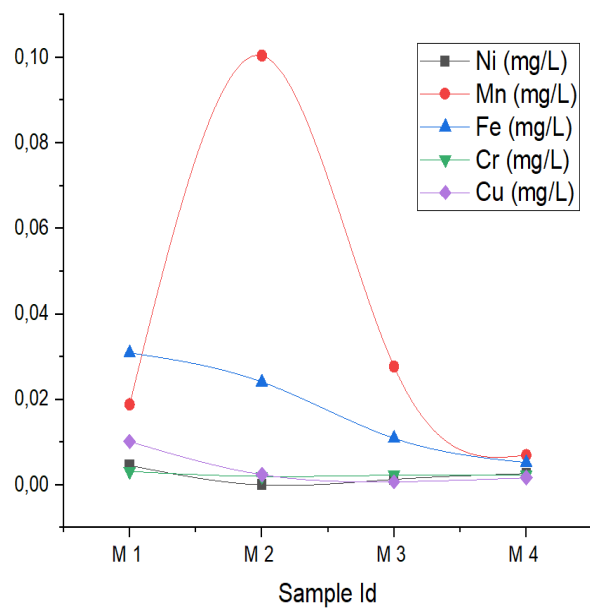
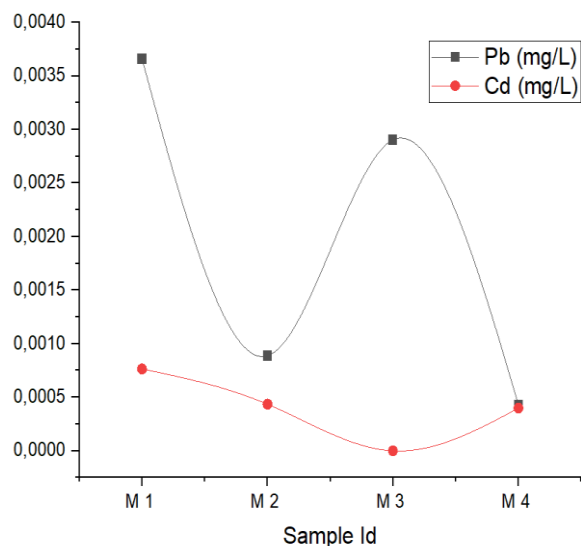
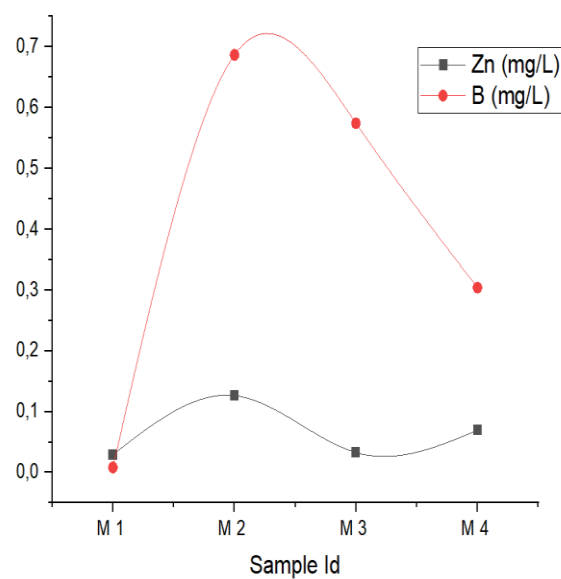
Figure 19: Variation du TAC du bassin de l'Oued d'Assaka

La plage de valeurs observées, allant de 4 meq/l à 19 meq/l, suggère une variation significative de l'alcalinité totale dans le bassin versant de l'Oued d'Assaka. Cette variation peut être influencée par une gamme de facteurs, y compris la géologie locale, l'activité biologique, les pratiques agricoles et les décharges potentielles de sources anthropiques. Les variations observées dans les niveaux de TAC peuvent être attribuées à diverses sources, y compris la composition géologique des sols et des roches dans le bassin versant, les processus biogéochimiques naturels tels que la décomposition des matières organiques, ainsi que les activités humaines telles que l'agriculture et le ruissellement des eaux de pluie.

3 Evaluation de la qualité des éléments trace métallique de l'eau dans le point d'étude d'Oued d'Assaka

Le bassin d'Assaka, qui se trouve à proximité de Guelmim au Maroc, se distingue par la présence de traces métalliques, qui sont des composés métalliques qui sont présents à des concentrations très faibles dans l'environnement. Ces composants peuvent provenir de diverses sources naturelles et humaines, et leur présence peut avoir un impact sur l'écosystème aquatique et la santé humaine. Le bassin d'Assaka contient de nombreux éléments métalliques courants, tels que le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le nickel (Ni), le chrome (Cr) et le manganèse (Mn). Ces métaux peuvent provenir de

processus géologiques naturels, d'activités industrielles, minières, agricoles et urbaines, ainsi que de diverses activités.



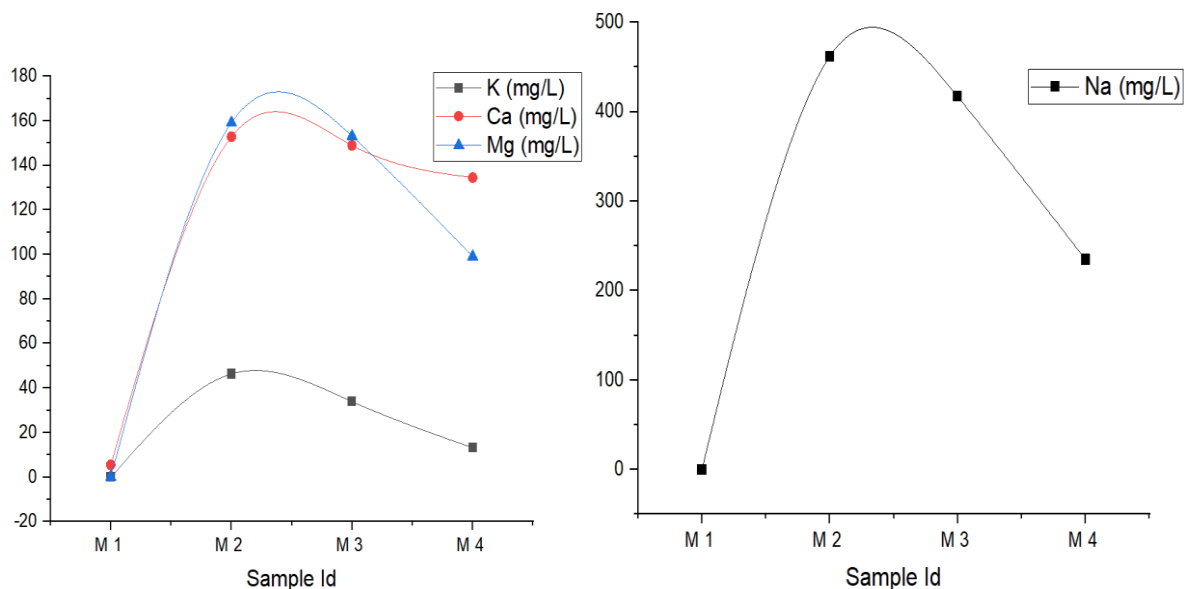


Figure 20: L'ensemble des éléments traces présent dans le bassin d'Assaka

Les résultats relatifs à la concentration en éléments traces métalliques dans les échantillons du bassin prélevés dans les quatre points différents sont présentées sur la **Figure 20**.

Ces résultats indiquent une forte concentration en éléments traces dans les effluents du bassin hydraulique étudié d'Assaka de la province du Guelmim qui joue un rôle important dans la pollution d'une forte dose où les valeurs du Pb et Ba ainsi que Na est élevée surtout sur les points M2 et M3. On peut constater que les valeurs des métaux lourds dans l'eau diminuent avec l'éloignement de la source de pollution.

La présence d'éléments traces métalliques dans l'eau peut avoir des conséquences néfastes sur la qualité de l'eau et sur les organismes aquatiques [149]. Par exemple, le plomb et le cadmium sont connus pour être toxiques pour les organismes aquatiques et peuvent s'accumuler dans les tissus des poissons, ce qui peut entraîner des problèmes de santé pour les populations qui consomment ces poissons [156]. De même, le mercure est un métal très toxique qui peut avoir des effets graves sur la santé humaine, en particulier lorsqu'il est ingéré sous forme de méthylmercure présent dans les poissons [157], [158], [159], [160].

4 Etude statistique physicochimique de l'eau dans point d'étude dans d oued Assaka

4.2 Etude statistique

Les principales sources de pollution par les métaux lourds dans l'environnement général sont anthropiques [161]. Plusieurs études indiquent que les bassins sont pollués par des métaux lourds, y compris en faibles concentrations, en raison de pratiques humaines telles que l'élimination des déchets industriels, le recyclage, l'exploitation minière, la fusion et les pratiques agricoles, y compris l'utilisation de boues d'épuration, de fumier animal, de produits agrochimiques et d'engrais inorganiques, qui posent problème dans le monde entier [162], [163].

Tableau 6: Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau du bassin d'Assaka par saison

Saison	T eau °C	PH	Cond µs/cm	DBO5 mg/l	DCO mg/l	MES mg/l	Ca 2+ meq/l	Mg2+ mg/l	Cl- mg/l	SO42- mg/l	NO32- mg/l
Printemps	19,8	8	3219,2	65,4	153,1	114,5	234,6	91,4	245,8	457,1	130,7
Été	21,3	8,1	3250	87,1	262,4	139	259,9	92,3	241,1	413	94,4
Automne	21,3	8,1	3659,2	114,5	234,9	102,8	238,5	102,7	263,6	522,8	97,7
Hiver	22	8,1	3065	85	264,8	172	262,8	66,5	189,4	444,3	130,4

Tableau 7: les statistiques des concentrations des paramètres physico-chimiques dans le bassin d'Assaka

Paramètres physico-chimiques	Moyenne	Ecart type
Température de l'eau °C	21,100	0,9274
pH	8,075	0,0500
Conductivité électrique µs/cm	3298,350	253,8158

DBO ₅ mg/l	88,000	20,1893
DCO mg/l	228,800	52,2579
MES mg/l	132,075	30,5934
Ca ²⁺ meq/l	248,950	14,4551
Mg ²⁺ mg/l	88,225	15,3643
Cl ⁻ mg/l	234,975	31,8913
SO ₄ ²⁻ mg/l	459,300	46,2089
NO ₃ ⁻ mg/l	113,300	19,9645

Les échantillons d'eau du bassin d'Assaka présentaient un pH alcalin entre 8 et 8.1 avec une moyenne de 8.075. Les valeurs moyennes saisonnières du pH varient de 8 pendant printemps et 8.1 dans l'été est reste constante pour le reste des saisons (**Tableau7**), ce qui permet de dire y'a pas de changement visible au niveau de la concentration du pH les valeurs observées se situent toutefois dans les limites de la sécurité pour la consommation selon l'OMS. Une tendance similaire a également été observée dans le cas de la conductivité. Les valeurs de conductivité varient de 3219.2 μ s/cm et 3065 μ s/cm avec une valeur moyenne globale de 3298.35 μ s/cm. Le tableau 7 montre les valeurs saisonnières moyennes de la conductivité. En ce qui concerne la conductivité la plus élevé au bassin d'Assaka, les points de prélèvements peut être due au degré des ions dissous, de polluants, de matière organique et de la température de l'eau.

Tableau 8: Corrélation de Pearson des caractéristiques physico-chimiques de l'eau du bassin d'Assaka

	Température de l'eau °C	pH	Conductivité électrique $\mu\text{s}/\text{cm}$	DBO ₅ mg/l	DCO mg/l	MES mg/l	Ca ²⁺ meq/l	Mg ²⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁺ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l
Température de l'eau °C	1										
pH	0,934	1									
Conductivité électrique $\mu\text{s}/\text{cm}$	-0,063	0,208	1								
DBO ₅ mg/l	0,566	0,746	0,787	1							
DCO mg/l	0,954*	0,966*	-0,046	0,548	1						
MES mg/l	0,638	0,383	-0,808	-0,272	0,588	1					
Ca ²⁺ meq/l	0,776	0,662	-0,581	-0,005	0,834	0,895	1				
Mg ²⁺ mg/l	-0,467	-0,138	0,841	0,401	-0,331	-0,935	-0,680	1			
Cl ⁻ mg/l	-0,543	-0,226	0,816	0,334	-0,416	-0,958*	-0,737	0,996**	1		
SO ₄ ²⁺ mg/l	-0,056	0,032	0,819	0,650	-0,213	-0,646	-0,672	0,493	0,496	1	
NO ₃ ⁻ mg/l	-0,254	-0,581	-0,663	-0,695	-0,457	0,384	-0,066	-0,673	-0,604	-0,148	1
*. La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).											
**. La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).											

L'analyse de Pearson a permis d'établir la matrice du **Tableau 7**. D'après les données du tableau de corrélation, on trouve une forte corrélation entre pH et DCO avec une valeur positive et significative ($r = 0.966^*$), ceci revient sur plusieurs facteurs notamment l'activité biologique telle que la décomposition de la matière, qui peut entraîner une diminution du pH en raison de la production d'acides organiques, ce qui conduit à une corrélation significative forte entre pH et la DCO. Ainsi que les substances chimiques présentes dans l'eau qui peuvent influencer à la fois le pH et la DCO. Certains composés présents dans l'eau peuvent réagir avec d'autres pour former des acides ou des bases, influençant sur le pH et la DCO. Les activités humaines dans le bassin d'Assaka de Guelmim peuvent entraîner une augmentation

de la pollution organique et chimique dans l'eau, ce qui renforcerait la corrélation entre le pH et la DCO.

Cette analyse fait apparaître, entre la température et la DCO y'a une forte corrélation d'une valeur de ($r = 0.954$) une corrélation positive et significative. De même pour le cas des ions chlorures et magnésium avec une valeur de ($r = 0.996$), l'explication de cette forte corrélation peuvent revient au contenu du bassin notamment les minéraux riches en chlorure et en magnésium, d'après l'écoulements de l'eau à travers ces matériaux, une dissolution des ions est faite, ce qui augmente de la concentration dans l'eau [164], [165]. Les sources d'eau dans le bassin d'Assaka, telle que les aquifères et les rivières peuvent être influencées par les mêmes processus géologiques qui favorisent des matériaux. L'activité anthropiques telles que l'irrigation agricole [166], [167], [168], l'industrie et l'utilisation de sels de déglacage peuvent augmenter les concentrations des ions ce qui déduit une forte corrélation [169], [170].

5 Etude statistique des éléments trace de l'eau dans l'Oued d'Assaka

5.2 Etude statistique

Les principales sources de pollution par les métaux lourds dans l'environnement général sont anthropiques [171], [172]. Plusieurs études indiquent que les sols sont pollués par des métaux lourds, y compris en faibles concentrations, en raison de pratiques humaines telles que l'élimination des déchets industriels, le recyclage, l'exploitation minière, la fusion et les pratiques agricoles [173], y compris l'utilisation de boues d'épuration [174], [175], de fumier animal, de produits agrochimiques et d'engrais inorganiques, qui posent problème dans le monde entier [176], [177].

Tableau 9: Les caractéristiques des métaux lourds de l'eau du bassin d'Assaka par saison

Saison	Zn 206,200 (mg/L)	Pb 220,353 (mg/L)	Cd 228,802 (mg/L)	Fe 259,939 (mg/L)	Cu 327,393 (mg/L)
Printemps	0,030	0,004	0,001	0,031	0,010
Été	0,127	0,001	0,000	0,024	0,002
Automne	0,033	0,003	0,000	0,011	0,001

Hiver	0,070	0,000	0,000	0,005	0,002
--------------	-------	-------	-------	-------	-------

Tableau 10: Les statistiques des concentrations des métaux lourds dans le bassin d'Assaka

	Moyenne	Ecart type
Zn	0,06500	0,045159
Pb	0,00200	0,001826
Cd	0,00025	0,000500
Fe	0,01775	0,011871
Cu	0,00375	0,004193

Parmi les métaux lourds étudiés dans ce travail, nous avons fixé notre attention sur les concentrations des cinq types qui sont montrées une modifications saisonniers significatifs qui est observées sur les tableaux 9 et 10, telle que Zn, Pb, Cd, Fe et Cu.

Tableau 11: Corrélation de Pearson des caractéristiques des métaux lourds de l'eau du bassin d'Assaka

	Zn	Pb	Cd	Fe	Cu
Zn	1				
Pb	-0,703	1			
Cd	-0,517	0,730	1		
Fe	0,047	0,600	0,744	1	
Cu	-0,437	0,653	0,994**	0,755	1
**. La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).					

Les concentrations médianes de métaux lourds dans le bassin d'Assaka sur la province de Guelmim pendant les saisons de l'année étaient de 0.06500, 0.00200, 0.01775, 0.00375 mg/L pour Zn, Pb, Cd, Cu et Fe, respectivement, sur le site d'étude. Les résultats montrent clairement que le bassin d'Oued Assaka est contaminée d'une manière diminuée par les métaux lourds, dont les concentrations ne dépassent pas les niveaux normaux. Une partie d'échantillon d'eau qui reconnut par un niveau élevé de la contamination surtout au niveau Cd et Cu. Bien que les concentrations restent acceptable selon les normes, la présence de métaux lourds non essentiels, même à des niveaux inférieurs, suscite des inquiétudes quant aux dommages potentiels surtout pour la santé humaine [178], [179], [180]. Les tableaux 10 et 11 présentent le nombre de métaux lourds dans le bassin d'Assaka en fonction de la concentration moyenne pour chaque saison. Sur la base des résultats de l'analyse de corrélation Pearson pour les métaux lourds dans le bassin d'Oued d'Assaka a montré la différenciation entre les concentrations en métaux lourds dans le bassin des différents points de prélèvements qui ont montré un niveau de signification élevé ($r = 0.994^{**}$) entre Cd et Cu. En ce qui concerne les autres métaux, la concentration moyenne ne diffère pas de manière significative pour Zn, Pb et Fe.

Ceci peut être expliqué par l'utilisation des pesticides et des fertilisations ainsi que d'engrais contenant du cadmium et cuivre qui peuvent entraîner leur lessivage dans les eaux de surface, en particulier lors d'événements de ruissellement. Cela peut également contribuer à la corrélation observée entre ces deux métaux [181], [182], [183].

6 Association des propriétés du bassin d'Oued d'Assaka avec les métaux lourds

La matrice de corrélation entre les métaux lourds étudiés et les paramètres physico-chimiques (**Tableau 12**) montre que ces corrélations sont supérieures au seuil de « significativité ». La corrélation entre la plupart des métaux est assez bonne ($r > 0.60$). Ce résultat confirme des études antérieures indiquant que les métaux s'associent de préférence à la concentration associée au l'eau. Pb, Cd, et Cu présentent une affinité avec MES, Cu et pH respectivement ($r > 0.90$), pour les autres corrélations montrées sur le tableau présentent une faible corrélation ce qui explique par le fait que ces métaux préfèrent d'autres supports [184], [185], [186], [187].

Tableau 12: Association de corrélation entre les métaux lourds étudiés et les propriétés du bassin d'Oued d'Assaka

	Zn	Pb	Cd	Fe	Cu	Température	pH	Cond	DBO5	DCO	MES	Ca	Mg	Cl	SO4	NO3
Zn	1															
Pb	-0,703	1														
Cd	-0,517	0,730	1													
Fe	0,047	0,600	0,744	1												
Cu	-0,437	0,653	0,994**	0,755	1											
Température	0,446	-0,866	-0,935	-0,872	-0,909	1										
pH	0,517	-0,730	-1,000**	-0,744	-0,994**	0,935	1									
Cond	-0,376	0,516	-0,208	-0,090	-0,311	-0,063	0,208	1								
DBO5	-0,047	-0,107	-0,746	-0,620	-0,816	0,566	0,746	0,787	1							
DCO	0,666	-0,877	-0,966*	-0,695	-0,930	0,954*	0,966*	-0,046	0,548	1						
MES	0,526	-0,902	-0,383	-0,460	-0,289	0,638	0,383	-0,808	-0,272	0,588	1					
Ca²⁺	0,809	-0,983*	-0,662	-0,442	-0,574	0,776	0,662	-0,581	-0,005	0,834	0,895	1				
Mg²⁺	-0,207	0,715	0,138	0,451	0,057	-0,467	-0,138	0,841	0,401	-0,331	-0,935	-0,680	1			
Cl⁻	-0,265	0,775	0,226	0,502	0,145	-0,543	-0,226	0,816	0,334	-0,416	-0,958*	-0,737	0,996**	1		
SO₄²⁻	-0,783	0,535	-0,032	-0,338	-0,140	-0,056	0,032	0,819	0,650	-0,213	-0,646	-0,672	0,493	0,496	1	
NO₃⁻	-0,442	0,036	0,581	0,000	0,616	-0,254	-0,581	-0,663	-0,695	-0,457	-0,384	-0,066	0,673	-0,604	-0,148	1

*. La corrélation est significative au niveau 0,05 (bilatéral).

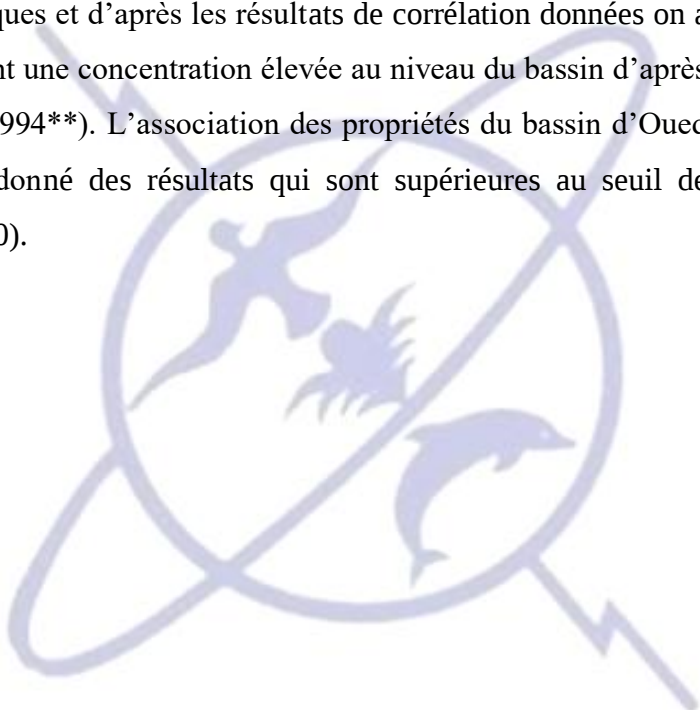
**. La corrélation est significative au niveau 0,01 (bilatéral).

Sur la base des données de cette matrice (**Tableau 12**), nous avons regroupé tous les métaux dont l'évolution peut être considérée comme comparable afin de minimiser les paramètres à surveiller dans les études futures et adapter une stratégie de décontamination pour ce bassin. Compte tenu de l'état des concentrations de métaux lourds dans l'eau, on peut conclure que l'eau du bassin d'Assaka doit avoir une surveillance pour minimiser la charge excessive en métaux lourds d'eau qui peut être attribuée au rejet d'effluents industriels et de déchets municipaux, à la géologie du lit du bassin versant [173], [188], [189].

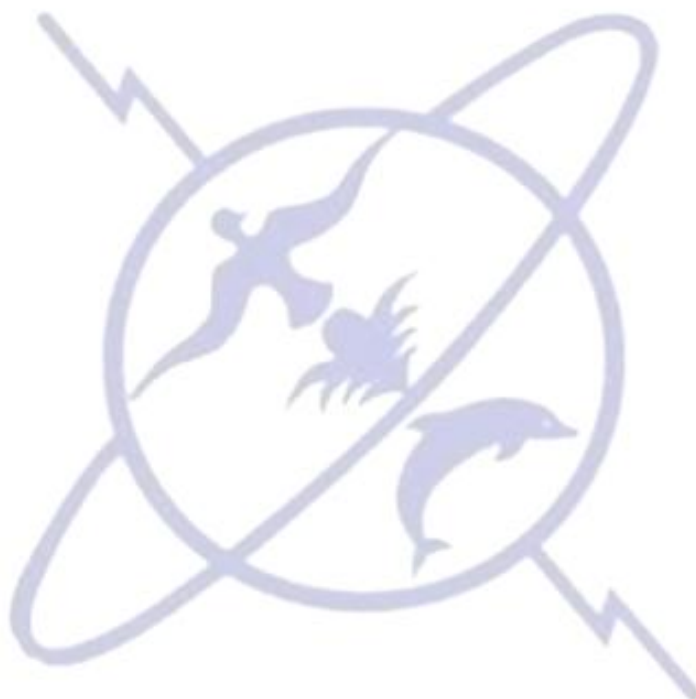
7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donc abordés des points très importantes dans le but de comprendre la qualité de l'eau étudié d'Oued d'Assaka de la province du Guelmim d'après les analyses effectuées telle que les analyses physico-chimiques et aussi évaluation des concentrations en propriétés de l'eau et en métaux lourds, et d'après les résultats données on a pu arriver a trouvé que le pH est stable au niveau du bassin qui résulte un équilibre bien déterminé avec un intervalle se situent entre (6.5 et 8.5). Pour la température, on a trouvé que les valeurs reflétant sur les fluctuations climatiques régionales avec les différences thermiques entre les saisons, c'a peut expliquer pendant la saison d'été ou on a pu avoir une température qui atteindre des niveaux plus élevés entre mois 9 et mois 12.

Au niveau des autres paramètres on trouve des variations différentes qui se diffère selon la qualité de l'eau et sa construction. Une analyse statistique des donnés est faite selon la corrélation de Pearson dans le but de déterminer les différences statistiques significatives quelques soit pour les paramètres physico-chimiques qui nous a donné une forte corrélation entre la température et DCO par une valeur de ($r = 0.954$) et entre les ions chlorures et magnésium donne une valeur de ($r = 0.996$). Ainsi que, pour les analyses statistiques concernant les éléments traces métalliques et d'après les résultats de corrélation données on a pu remarquer que Cd et Cu représentant une concentration élevée au niveau du bassin d'après leur corrélation significative de ($r = 0.994^{**}$). L'association des propriétés du bassin d'Oued d'Assaka avec les métaux lourds a donné des résultats qui sont supérieures au seuil de significativité qui est assez bien ($r > 0.60$).



Chapitre 4 : Stratégies de Gestion et de Protection



I. Mesures d'adaptation aux changements climatiques

En plus de toutes les mesures que nous pouvons prendre pour diminuer les émissions et ralentir le processus de réchauffement de la planète, il est essentiel de s'ajuster aux conséquences de ces changements, afin de préserver notre sécurité et celle de nos populations. Les conséquences varient en fonction du lieu de résidence. Il peut s'agir de feux ou d'inondations, de sécheresses, de températures plus ou moins élevées ou plus basses pendant la journée ou de l'élévation du niveau marin [190]. En raison du changement climatique, l'accès à l'eau potable va diminuer et les risques de sécheresse augmenteront. D'ici 2050, l'augmentation du niveau de la mer pourrait entraîner l'exil d'un million de personnes [191]. La santé humaine et animale sera également affectée par le changement climatique, avec une augmentation des maladies infectieuses et la propagation d'espèces invasives. Environ 20 à 30% des espèces animales et végétales pourraient également être menacées d'extinction en cas de réchauffement climatique supérieur à 2,5°C [192]. Le secteur agricole est confronté à de considérables défis qui ont un impact direct ou indirect sur la vie quotidienne des agriculteurs [193]. Parmi ces problématiques, on peut citer les enjeux relatifs à la fertilité des sols, à la disponibilité des terres arables, à la gestion des ravageurs des cultures, à l'accès aux services de crédit agricole, etc. En plus de ces difficultés, les producteurs agricoles sont confrontés aux défis posés par les changements climatiques [194]. Afin d'atténuer les conséquences de ces changements, ils mettent en place des stratégies. Certaines stratégies mises en place par les producteurs agricoles abordent divers problèmes, parmi lesquels les changements climatiques ont un impact supplémentaire. D'autres stratégies, en revanche, sont spécifiquement conçues pour faire face aux changements climatiques [195]. En d'autres termes, il serait réducteur d'attribuer uniquement aux effets des changements climatiques toutes les stratégies adoptées par les producteurs agricoles pour assurer leur sécurité alimentaire et accroître leurs revenus [196].

1. Stratégies d'adaptation

Avant que les conséquences du changement climatique ne soient largement médiatisées, les pays du Maghreb ont élaboré des stratégies visant à accroître l'approvisionnement en eau par le biais d'une politique de mobilisation hydraulique, notamment à travers la construction de barrages et la réalisation de forages [197]. Au cours des cinquante dernières années, les volumes régulés, qui sont proches des volumes prélevés, ont augmenté de manière significative pour atteindre plus de 22,50 km³ en 2010. Cependant, ces quantités se sont révélées insuffisantes pour répondre à l'augmentation des besoins en eau [198]. La

concurrence pour l'eau devient plus intense à cause de sa rareté, surtout avec l'augmentation des besoins en irrigation. Au Maroc, ces besoins représentent 86 % du total, ce qui est plus élevé que dans d'autres pays [29]. Pour diminuer cette pression sur les ressources en eau, on encourage l'utilisation de techniques d'irrigation qui économisent l'eau [95].

Il est prévu d'atteindre environ 80 % des terres irriguées d'ici 2030. En utilisant des méthodes d'irrigation économes en eau, on peut stimuler la production agricole tout en réduisant la consommation d'eau et l'érosion des sols [199]. Le bénéfice varie de 40 à 60 % en comparaison avec l'irrigation gravitaire. Au Maroc, l'utilisation de l'irrigation localisée permet de réduire de 30 % le coût de l'eau par rapport à celui du développement traditionnel de nouvelles ressources en eau [200].

2. Exemples de mise en œuvre

Au Maroc, la gouvernance de l'eau repose sur une approche participative qui implique différentes parties prenantes, telles que les administrations qui ont des activités et des responsabilités liées à l'eau, ainsi que les institutions et organismes concernés aux niveaux nationaux, régional et local [201]. Dans le domaine de l'eau, cette stratégie propose des orientations générales et des directives en collaboration avec d'autres secteurs. Cette stratégie fournit les fondements de toute planification des ressources en eau, servant ainsi de cadre de référence pour l'élaboration du Plan National de l'Eau (PNE). Ce plan est soumis à divers avis consultatifs et de concertation émanant des institutions de gouvernance et de suivi, notamment la Commission Spécialisée de l'Eau et de la Concertation (CSEC), la Commission Interministérielle de l'Eau (CIE) et le Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat, avant d'être approuvé par décret [63], [202]. Plusieurs exemples et études sur les relations développées entre les communautés et leurs ressources offrent des leçons précieuses pour comprendre ces relations et s'en inspirer pour les actions adaptatives d'aujourd'hui [203].

Grâce à des pratiques et des institutions favorables à la flexibilité, les agropasteurs de la bordure saharienne dans le Sud-ouest du Maroc ont développé une réactivité des activités agropastorales face aux changements climatiques [204]. La mobilité des troupeaux, l'adaptation des cultures en fonction des précipitations, l'accès aux ressources et la répartition du travail encouragent la réactivité et la gestion des risques, tandis que la réciprocité et la flexibilité offrent des solutions potentielles aux défis climatiques en cours [205].

II. Stratégies de gestion des ressources en eau

La durabilité de la gestion des ressources en eau repose sur diverses stratégies essentielles qui visent à garantir la disponibilité et la qualité de l'eau pour les générations à venir. Cela comprend l'optimisation de l'utilisation de l'eau grâce à des technologies de préservation, la réutilisation des eaux usées traitées et l'adoption de pratiques agricoles durables qui réduisent au minimum l'utilisation de l'eau. Les écosystèmes aquatiques jouent également un rôle essentiel dans la régulation des cycles de l'eau, ce qui rend leur protection indispensable. En outre, il est essentiel d'avoir une gouvernance inclusive qui intègre les communautés locales dans la prise de décision, ainsi que des politiques solides de gestion de l'eau, afin de garantir une distribution juste et d'éviter toute surintensité [193], [206], [207], [208].

1. Gestion durable

Depuis la fin des années 1990, des progrès ont été observés au Maroc grâce à la révision constante de la tarification, à la généralisation des compteurs et à la suppression de la facturation forfaitaire dans les petites villes où l'ONEP intervient. Au Maroc, le pourcentage de récupération de l'eau potable (incluant les pertes en réseau collectif) dépasse 99 % [209]. L'approche économique est un moyen de contrainte qui se manifeste par une diminution progressive des consommations d'eau, en particulier chez les grands consommateurs (classes aisées, industries, bâtiments collectifs, etc.). L'élimination graduelle des bornes fontaines permet d'accroître les taux de raccordement et, par conséquent, de redistribuer les volumes économisés, en réduisant les coûts de développement et de fonctionnement des réseaux [210].

Le Maroc accorde une grande importance à la gestion durable des ressources en eau en raison de la pénurie d'eau et des défis climatiques de plus en plus importants. Les stratégies comprennent la mise à jour des infrastructures hydrauliques afin d'optimiser l'efficacité des barrages et des systèmes d'irrigation, notamment dans le domaine agricole, qui utilise la plupart de l'eau. Elle encourage également la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), qui a pour objectif de coordonner l'utilisation de l'eau entre les divers secteurs tout en préservant les écosystèmes aquatiques [211]. Différentes initiatives sont également en cours afin de diversifier les sources d'approvisionnement, comme la construction de stations de dessalement et le traitement des eaux usées pour la réutilisation. De plus, au Maroc, des initiatives de sensibilisation sont mises en œuvre afin de promouvoir une utilisation plus rationnelle de l'eau parmi la population, tout en renforçant la gouvernance de l'eau afin de garantir une gestion équitable et durable long terme [212].

2. Politiques et recommandations

Les politiques de gestion des ressources en eau au Maroc sont orientées par divers cadres stratégiques et législatifs afin de faire face à la pénurie d'eau et aux défis climatiques. L'objectif de la Stratégie Nationale de l'Eau (SNE), adoptée en 2009, est de sécuriser l'accès à l'eau d'ici 2030 en mettant l'accent sur la gestion intégrée des ressources en eau, la modernisation des infrastructures hydrauliques et l'amélioration de l'utilisation de l'eau, en particulier dans l'agriculture, qui représente près de 80 % de la requête d'eau [93], [95], [213]. L'adoption de la Loi sur l'eau n° 36-15 en 2016 établit des dispositifs visant à contrôler l'utilisation de l'eau et à renforcer la préservation des ressources. Elle encourage une approche globale qui prend en considération les exigences environnementales, sociales et économiques. Elle incite les communautés locales et les acteurs privés à participer à la prise de décision et à la gestion des ressources hydriques. Le forage de puits et l'extraction des eaux souterraines sont strictement limités par la loi afin d'éviter une surexploitation [18], [209].

Afin d'améliorer la gestion durable des ressources en eau au Maroc, il est possible d'envisager plusieurs recommandations essentielles [214]. Il est primordial de renforcer les compétences des institutions, en particulier au niveau des agences de bassin hydraulique, en leur offrant les ressources humaines, techniques et financières requises pour assurer une gestion efficace [75], [111], [130]. Il est essentiel de mettre en œuvre des systèmes de suivi et d'évaluation continus des ressources en eau afin de conformer les stratégies aux données hydrologiques et climatiques mises à jour. Des dispositifs de gestion des conflits d'usage de l'eau sont également suggérés pour résoudre les tensions entre les divers secteurs consommateurs, tels que l'agriculture, l'industrie et les besoins domestiques [215].

3. Planification et Gestion des Ressources en Eau

Élaborer le plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau, les plans locaux de gestion des eaux et le plan de gestion de la pénurie d'eau en cas de sécheresse et de veiller à leur mise en œuvre ;

Cette mission englobe des aspects cruciaux de la gestion intégrée et durable des ressources en eau dans la région. Voici une expansion détaillée de cette mission :

Élaboration du Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau :

L'Agence joue un rôle clé dans l'élaboration du Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau. Ce plan global intègre les aspects quantitatifs et qualitatifs des ressources en eau, définissant des orientations à long terme pour leur gestion durable.

Plans Locaux de Gestion des Eaux :

En complément au plan directeur, l'Agence collabore avec les autorités locales pour élaborer des Plans Locaux de Gestion des Eaux. Ces plans tiennent compte des spécificités locales, des usages prioritaires, et des besoins de la population, contribuant ainsi à une gestion décentralisée et adaptée.

Plan de Gestion de la Pénurie d'Eau en Cas de Sécheresse :

L'Agence élabore un plan spécifique de gestion de la pénurie d'eau en cas de sécheresse. Ce plan prévoit des mesures d'urgence, des actions de conservation de l'eau, et des mécanismes de coordination pour atténuer les impacts de la sécheresse sur les ressources hydriques.

Évaluation des Ressources et des Besoins :

Avant l'élaboration des plans, l'Agence réalise une évaluation approfondie des ressources en eau disponibles et des besoins prévus. Cela inclut l'analyse des demandes actuelles et futures, en tenant compte des changements démographiques, des activités économiques, et des tendances climatiques.

Identification des Zones Sensibles :

L'Agence identifie les zones sensibles où les ressources en eau sont particulièrement vulnérables. Cela peut inclure des zones écologiquement fragiles, des bassins versants critiques, ou des zones sujettes à des pressions anthropiques importantes.

Allocation Équitable des Ressources :

Les plans élaborés par l'Agence visent à assurer une allocation équitable des ressources en eau entre les différents usages, tels que l'agriculture, l'industrie, l'approvisionnement en eau potable, et les besoins environnementaux. Cette allocation est basée sur des critères de durabilité et de justice sociale.

Incorporation des Enjeux Environnementaux :

La planification intègre des stratégies spécifiques pour la préservation des écosystèmes aquatiques, la protection des habitats naturels, et la promotion de pratiques respectueuses de l'environnement.

4. Stratégies d'Adaptation aux Changements Climatiques :

Les plans élaborés par l'Agence intègrent des stratégies d'adaptation aux changements climatiques. Cela inclut la prise en compte des variations prévues dans les régimes hydrologiques, des événements climatiques extrêmes, et la promotion de pratiques résilientes.

Mesures de Conservation de l'Eau :

Les plans comprennent des mesures spécifiques de conservation de l'eau, telles que la réutilisation des eaux usées, l'optimisation des réseaux d'irrigation, et la promotion de technologies efficaces pour réduire les pertes d'eau.

Promotion de la Gestion Participative :

L'Agence encourage la gestion participative en impliquant les parties prenantes locales, les communautés, et les utilisateurs d'eau dans le processus de planification. Cela favorise une approche collaborative et une meilleure acceptation des mesures mises en place.

Mise en Œuvre des Plans :

L'Agence veille à la mise en œuvre effective des plans élaborés. Cela implique la coordination avec les autorités locales, les organismes gouvernementaux, et d'autres parties prenantes pour garantir la concrétisation des actions prévues.

Évaluation Régulière des Plans :

Les plans sont soumis à des évaluations régulières pour s'assurer de leur pertinence et de leur efficacité. Les ajustements nécessaires sont apportés en fonction des changements dans l'environnement, la démographie, et les demandes en eau.

III. Recommandations pour la protection contre la pollution

Il est essentiel de mettre en place un ensemble de mesures préventives rigoureuses pour prévenir la pollution des ressources en eau [216]. Le rejet des polluants industriels, agricoles et domestiques dans les cours d'eau doit être réglementé de manière rigoureuse, avec un traitement préalable des eaux usées avant leur déversement [217]. Il est essentiel de favoriser

les pratiques agricoles durables, telles que la diminution de l'utilisation de pesticides et d'engrais chimiques, ainsi que l'adoption de méthodes d'agriculture biologique afin de réduire au minimum le ruissellement des substances toxiques vers les nappes phréatiques [218]. Il est également conseillé de créer des zones tampons végétalisées le long des rivières et des lacs afin de filtrer naturellement les polluants avant qu'ils ne pénètrent dans les masses d'eau. En outre, il est nécessaire d'organiser des campagnes de sensibilisation afin d'informer les agriculteurs, les industriels et le grand public sur les conséquences de la pollution de l'eau et sur les meilleures méthodes pour la prévenir [211]. Enfin, il est essentiel de renforcer la surveillance environnementale en effectuant des contrôles réguliers de la qualité de l'eau et en mettant en place des sanctions rigoureuses en cas de non-conformité afin de garantir une protection durable des ressources en eau contre la pollution [219].

1. Mesures de prévention

La prévention de la pollution est l'action de préserver l'environnement en empêchant ou en réduisant la production de polluants et de déchets plutôt que de les réduire ou de les traiter après leur production [220]. De plus, elle implique de modifier la mentalité afin qu'elle ne se concentre pas sur des mesures de dépollution et de traitement des déchets, mais plutôt sur une approche plus préventive de protection de l'environnement visant à empêcher la production des polluants [221]. À la réussite de cette approche d'amélioration des activités de protection de l'environnement, il est essentiel de privilégier les mesures visant à prévenir, éliminer ou empêcher la production de polluants [222]. On a donc pensé à établir une hiérarchie des différentes options de gestion de l'environnement, avec la prévention au sommet et l'évacuation à la base [223].

Au Maroc, il existe différentes mesures préventives pour préserver les ressources en eau contre la pollution. Les réglementations strictes sur le rejet des effluents sont établies par la Loi sur l'eau n° 36-15, ce qui oblige les industries à traiter leurs eaux usées avant de les déverser [209], [215]. La construction de stations d'épuration a été financée par le pays, en particulier dans les zones urbaines, et le Programme National d'Assainissement Liquide a été mis en place afin d'améliorer l'accès à l'assainissement et de promouvoir la réutilisation des eaux usées traitées. Les contrôles réguliers sont effectués par les agences de bassin hydraulique afin de surveiller la qualité de l'eau et d'assurer la conformité des rejets [209]. En même temps, des initiatives de sensibilisation sont mises en place afin de favoriser des méthodes agricoles durables et diminuer l'usage de pesticides et d'engrais chimiques. Enfin, il

est recommandé de créer des zones tampons végétalisées autour des cours d'eau afin de filtrer naturellement les polluants, ce qui contribue à la préservation des ressources hydriques du pays [224].

L'objectif stratégique principal de la stratégie nationale de l'eau est de préserver la qualité des ressources en eau, car le Maroc a connu un retard considérable dans ce domaine [225]. Cette initiative s'appuie sur une compréhension approfondie de la qualité des ressources en eau et des sources de pollution, ainsi que sur la proposition d'un programme de prévention et de lutte contre cette détérioration [209]. Son objectif est de :

- Encourager la mise en place rapide du programme national d'assainissement et d'épuration des eaux usées : atteindre un taux d'accès à l'assainissement de 90% d'ici 2030 ;
- Créer un Programme National d'Assainissement Rural : viser un taux d'accès à l'assainissement de 90% d'ici 2030 ;
- Créer un Programme National de Prévention et de Lutte contre la Pollution Industrielle ;
- Mise en place d'un plan national pour la gestion des déchets ménagers et autres.

2. Évaluation et Suivi des Ressources en Eau

Effectuer les mesures et les investigations et de réaliser les études nécessaires à l'évaluation et au suivi de l'évolution de l'état des ressources en eau sur les plans quantitatif et qualitatif ainsi que celles relatives à la planification, la gestion et la préservation de l'eau et la prévention des effets des phénomènes climatiques extrêmes, notamment, les inondations et la sécheresse ; Cette mission est cruciale pour garantir une gestion informée, durable et proactive des ressources en eau de la région. Voici une expansion détaillée de cette mission :

Mesures et Investigations :

L'Agence régionale mène des mesures régulières sur le terrain, collectant des données quantitatives et qualitatives sur les ressources en eau. Cela peut inclure la mesure des débits des cours d'eau, la surveillance des niveaux d'eau, et l'analyse des caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

Études pour l'Évaluation Quantitative :

Des études approfondies sont entreprises pour évaluer quantitativement la disponibilité des ressources en eau. Cela inclut l'analyse des régimes hydrologiques, la quantification des réserves d'eau souterraine, et la projection des tendances à long terme en fonction des besoins prévus.

Études pour l'Évaluation Qualitative :

L'Agence régionale réalise des études approfondies pour évaluer la qualité de l'eau dans la région. Cela comprend l'analyse des paramètres physiques, chimiques et biologiques pour s'assurer de la salubrité de l'eau et identifier tout risque de pollution.

Suivi de l'Évolution de l'État des Ressources :

Un suivi continu est mis en place pour surveiller l'évolution de l'état des ressources en eau. Cela permet d'identifier rapidement les changements, d'anticiper d'éventuels problèmes, et d'ajuster les stratégies de gestion en conséquence.

Planification de la Gestion des Ressources en Eau :

Sur la base des évaluations quantitatives et qualitatives, l'Agence participe à la planification de la gestion des ressources en eau. Cela implique l'élaboration de stratégies pour l'allocation équitable des ressources, la définition de priorités d'utilisation, et la promotion d'une utilisation durable.

Gestion des Épisodes Climatiques Extrêmes :

L'Agence régionale intègre la gestion des phénomènes climatiques extrêmes tels que les inondations et la sécheresse dans ses études et plans. Cela inclut la mise en place de mesures préventives, la gestion des crises pendant ces événements, et la planification de l'adaptation aux changements climatiques.

Systèmes d'Alerte Précoce :

En cas de risques liés aux phénomènes climatiques extrêmes, l'Agence développe des systèmes d'alerte précoce. Ces systèmes permettent de prévenir la population locale, les autorités et les intervenants en temps opportun, minimisant ainsi les impacts négatifs.

Modélisation Hydrologique :

L'Agence régionale utilise des modèles hydrologiques avancés pour simuler et anticiper les variations des ressources en eau. Cela permet d'évaluer les scénarios possibles, d'optimiser la gestion des débits, et d'améliorer la planification des usages de l'eau.

Sensibilisation aux Économies d'Eau :

Les résultats des évaluations et du suivi sont utilisés pour sensibiliser la population locale aux enjeux de l'eau. Des campagnes d'éducation sont organisées pour encourager les économies d'eau, l'adoption de technologies efficaces, et la participation active à la préservation des ressources hydriques.

Coordination avec les Acteurs Régionaux :

L'Agence coordonne ses activités d'évaluation et de suivi avec d'autres acteurs régionaux tels que les autorités locales, les services météorologiques, les organisations de gestion de l'environnement, et d'autres partenaires pour assurer une approche intégrée.

Recherche et Développement :

En partenariat avec des institutions scientifiques et des laboratoires spécialisés, l'Agence contribue à la recherche et au développement de nouvelles méthodologies et technologies pour améliorer l'évaluation et le suivi des ressources en eau.

Rapports Périodiques :

L'Agence publie des rapports périodiques sur l'état des ressources en eau dans sa zone d'action. Ces rapports fournissent des informations transparentes sur les tendances, les défis et les actions entreprises pour une gestion durable de l'eau.

3. Plans de gestion

Les stratégies de gestion des ressources en eau sont cruciales au Maroc afin de garantir une utilisation durable et équitable des ressources en eau, en réponse à des défis croissants tels que la sécheresse et une demande croissante. La Stratégie Nationale de l'Eau (SNE) 2009-2030 oriente ces plans, en mettant l'accent sur la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) [200]. L'objectif de cette méthode est de contrôler les utilisations de l'eau entre les divers

secteurs (agriculture, industrie et consommation domestique) tout en préservant les écosystèmes aquatiques. Des plans de gestion adaptés à chaque bassin versant sont élaborés par les Agences de Bassin Hydraulique, en tenant compte des spécificités locales et des besoins en eau [19], [122]. De son côté, le Plan National de l'Eau (PNE) prévoit la création de nouvelles infrastructures, telles que des barrages et des retenues collinaires, afin d'accroître la capacité de stockage et d'améliorer la gestion des eaux de surface. En outre, des actions sont entreprises afin de moderniser les systèmes d'irrigation, diminuer les pertes d'eau et promouvoir l'adoption de technologies respectueuses de l'environnement [226]. Des plans de gestion des sécheresses ont également été mis en place au Maroc afin de prévoir les périodes de pénurie et réduire leurs conséquences sur l'agriculture et l'approvisionnement en eau potable. Des initiatives de coopération internationale sont mises en place pour soutenir ces plans et échanger les meilleures pratiques afin de renforcer la résilience du pays face aux défis climatiques [227].

4. Recherche et Développement

Contribuer aux travaux de recherche et de développement des techniques de mobilisation, d'utilisation rationnelle et de protection des ressources en eau en partenariat avec les institutions scientifiques et les laboratoires spécialisés. Cette mission reflète l'engagement de l'agence à rester à la pointe des avancées scientifiques et technologiques pour une gestion efficace et durable des ressources en eau. Voici une expansion de cette mission :

a. Développement de Techniques de Mobilisation des Ressources en Eau :

L'Agence s'engage à développer des techniques innovantes pour mobiliser les ressources en eau de manière efficace. Cela peut inclure des méthodes avancées d'irrigation, des technologies de captage et de stockage des eaux de pluie, ainsi que des solutions pour optimiser l'utilisation des ressources disponibles.

b. Utilisation Rationnelle de l'Eau :

La mission de recherche et développement vise à promouvoir l'utilisation rationnelle de l'eau. Cela implique le développement de pratiques agricoles et industrielles plus économes en eau,

l'intégration de technologies d'économie d'eau, et la sensibilisation des utilisateurs aux enjeux de la conservation de l'eau.

c. Protection des Ressources en Eau :

L'Agence s'attache à concevoir des mesures de protection des ressources en eau. Cela peut inclure des stratégies pour prévenir la pollution, assurer la qualité de l'eau, et protéger les écosystèmes aquatiques. La recherche peut porter sur des technologies de dépollution, des systèmes de surveillance de la qualité de l'eau, et des pratiques agricoles durables.

d. Partenariats avec les Institutions Scientifiques :

Pour mener à bien ses missions de recherche et développement, l'Agence collabore étroitement avec des institutions scientifiques. Ces partenariats peuvent inclure des universités, des centres de recherche spécialisés dans les sciences de l'eau, et d'autres organismes travaillant sur des aspects liés à l'hydrologie, l'hydrogéologie, et la gestion des ressources en eau.

5. Collaboration avec les Laboratoires Spécialisés :

En plus des institutions scientifiques, l'Agence coopère avec des laboratoires spécialisés. Ces laboratoires peuvent être dédiés à l'analyse de la qualité de l'eau, à la recherche sur les nouvelles technologies hydrauliques, ou à l'évaluation des impacts environnementaux.

a. Projets de Recherche Collaboratifs :

L'Agence participe à des projets de recherche collaboratifs, en associant son expertise à celle d'autres organismes. Ces projets peuvent être financés par des organismes nationaux ou internationaux, et visent à résoudre des défis spécifiques liés à la gestion des ressources en eau.

b. Diffusion des Connaissances :

Une fois les résultats de la recherche obtenus, les Agences s'engagent à partager les connaissances acquises. Cela peut se faire par le biais de publications scientifiques, de

formations, de conférences, et d'ateliers destinés à sensibiliser les parties prenantes aux dernières avancées dans le domaine de la gestion de l'eau.



Conclusion générale

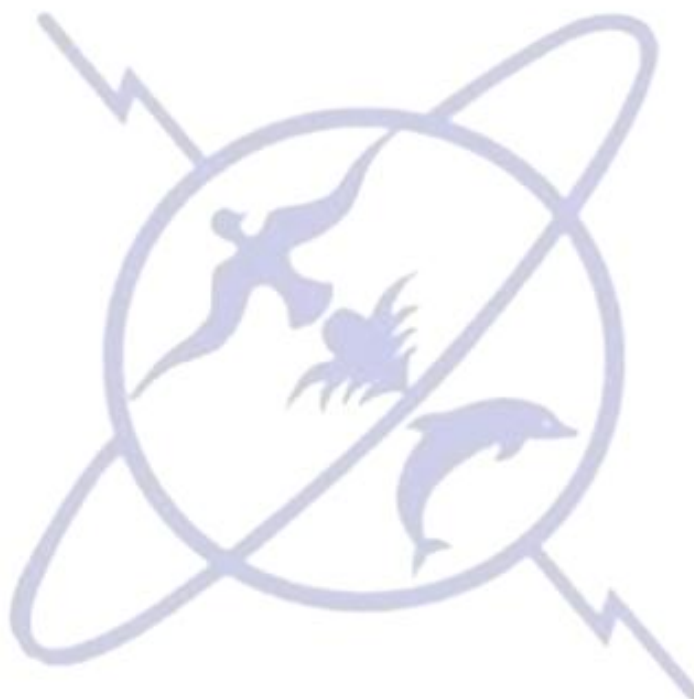
L'activité industrielle et agricole pollue l'eau, ce qui a des effets environnementaux et sanitaires dangereux. Les polluants organiques et les métaux lourds sont les principaux polluants. La charge élevée et les effluents complexes rendent la capacité d'assimilation de l'eau inefficace dans la plupart des cas. Il est donc essentiel de trouver des traitements efficaces et accessibles.

Dans cette étude, nous avons fait une analyse sur la qualité de l'eau du bassin d'Oued d'Assaka de la province du Guelmim. Ainsi que, on a effectuée des analyses statistiques basant sur la corrélation de Pearson quelques soit pour les paramètres physico-chimiques analysés dans cette étude notamment le pH, la température, la DCO les matières en suspensions, les ions chlorures, magnésium, sulfate nitrate, la turbidité, la dureté de l'eau et d'autres, aussi pour les éléments traces métalliques contenant dans le bassin telle que Pb, Zn, Cd, Cu, Fe et d'autres, et par la suite on a effectué une association entre les paramètres physico-chimiques et les métaux lourds pour mieux comprendre la situation de la qualité de l'eau du zone d'étude.

Les résultats obtenus pour ces analyses dans le bassin versant d'Assaka étudié ont montré une stabilité ou niveau alcalinité de l'eau vu que le potentiel d'Hydrogène et prend sa stabilité entre l'intervalle de 6.5 et 8.5 par des valeurs moyennes oscillant entre (7.77 et 8.34) indiquant un équilibre satisfaisant de l'acidité notable. La température du site d'étude connue une différence saisonnières selon les changements chimiques régional, ces variations jouent un rôle crucial dans la régulation des processus écologiques et hydrologiques. La conductivité électrique du bassin d'Assaka présente une augmentation des valeurs qui dépassent les normes par $2140 \mu\text{s.cm}^{-1}$ sur le point 4 et $4830 \mu\text{s.cm}^{-1}$ sur le point 2 du prélèvement. La dureté totale de l'eau des points prospectés est variée entre 17 meq/l dans le point M4 et 28 meq/l dans le point M2. Pour le TAC, la plage de valeurs observées, allant de 4 meq/l à 19 meq/l, suggère une variation significative de l'alcalinité totale dans le bassin versant de l'Oued d'Assaka. La dureté totale de l'eau des points prospectés est variée entre 17 meq/l dans le point M4 et 28 meq/l dans le point M2. Les teneurs en SO_4^{2-} sont largement variables d'un point à l'autre, allant de 295.94 mg/l dans le point M1 vers 722.45 mg/l dans le point M3 situé au bassin versant. Les teneurs en ions calcium suivent une augmentation qui varie entre 73.60 mg/l dans le point M4 et de 456 mg/l dans le point M2. Les concentrations de nitrates dans divers points sont comprise entre 2.81 mg/l et 337.34 mg/l. La concentration la plus élevée est

observée au point M1 (337.34 mg/l). Les teneurs moyennes en Mg^{2+} sont très élevées dans la majorité des eaux, elles sont comprises entre 2.43 mg/l dans le point M2 et 202.34 mg/l dans le point M3. Les teneurs en ions Cl^- varient d'un point à l'autre. Elles sont situées entre 99.40 mg/l dans le point M1 et 539.60 mg/l dans le point M3.

Les paramètres physico-chimiques ont montré une forte corrélation entre la température et le DCO avec une valeur de ($r = 0.954$), tandis que les ions chlorures et magnésium ont montré une valeur de ($r = 0.996$) d'après l'analyse statistique des données qui est effectuée en utilisant la corrélation de Pearson. Ainsi que, pour les analyses statistiques concernant les éléments traces métalliques et d'après les résultats de corrélation données on a pu remarquer que Cd et Cu représentant une concentration élevée au niveau du bassin d'après leur corrélation significative de ($r = 0.994^{**}$). L'association des propriétés du bassin d'Oued d'Assaka avec les métaux lourds a donné des résultats qui sont supérieures au seuil de significativité qui est assez bien ($r > 0.60$).



Références

- [1] Y. Zhao, X. H. Xia, Z. F. Yang, et F. Wang, « Assessment of water quality in Baiyangdian Lake using multivariate statistical techniques », *Procedia Environ. Sci.*, vol. 13, p. 1213-1226, janv. 2012, doi: 10.1016/j.proenv.2012.01.115.
- [2] H. E. Azhari *et al.*, « Assessment of Surface Water Quality Using the Water Quality Index (IWQ), Multivariate Statistical Analysis (MSA) and Geographic Information System (GIS) in Oued Laou Mediterranean Watershed, Morocco », *Water*, vol. 15, n° 1, Art. n° 1, janv. 2023, doi: 10.3390/w15010130.
- [3] C. Afi, J. Hallam, A. Mimouni, F. Msanda, et N. Ait Aabd, « Saline Water Irrigation Effect on Oil Yield and Quality of Argan Trees Domesticated in Laâyoune, Morocco », *Environ. Sci. Proc.*, vol. 16, n° 1, Art. n° 1, 2022, doi: 10.3390/environsciproc2022016045.
- [4] N. Sasakova *et al.*, « Pollution of surface and ground water by sources related to agricultural activities », *Front. Sustain. Food Syst.*, vol. 2, p. 42, 2018.
- [5] Y. Panagopoulos, C. Makropoulos, et M. Mimikou, « Reducing surface water pollution through the assessment of the cost-effectiveness of BMPs at different spatial scales », *J. Environ. Manage.*, vol. 92, n° 10, p. 2823-2835, oct. 2011, doi: 10.1016/j.jenvman.2011.06.035.
- [6] R. Rodriguez-Proteau et R. L. Grant, « Toxicity Evaluation and Human Health Risk Assessment of Surface and Ground Water Contaminated by Recycled Hazardous Waste Materials », in *Water Pollution: Environmental Impact Assessment of Recycled Wastes on Surface and Ground Waters; Risk Analysis*, T. A. Kassim, Éd., in *The Handbook of Environmental Chemistry.*, Berlin, Heidelberg: Springer, 2005, p. 133-189. doi: 10.1007/b11434.
- [7] A. Talhaoui, A. El Hmaidi, H. Jaddi, H. Ousmana, et I. Manssouri, « Calcul De L'indice De Qualité De L'eau (IQE) Pour L'évaluation De La Qualité Physico-Chimique Des Eaux Superficielles De L'Oued Moulouya (NE, Maroc) », *Eur. Sci. J. ESJ*, vol. 16, n° 2, janv. 2020, doi: 10.19044/esj.2020.v16n2p64.
- [8] Z. Ellassassi *et al.*, « Spatial and Temporal Variations of the Water Quality of the Tiflet River, Province of Khemisset, Morocco », *Water*, vol. 14, n° 12, Art. n° 12, janv. 2022, doi: 10.3390/w14121829.

- [9] A. Karmaoui, S. F. Balica, et M. Messouli, « Analysis of applicability of flood vulnerability index in Pre-Saharan region, a pilot study to assess flood in Southern Morocco », *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, p. 1-24, avr. 2016, doi: 10.5194/nhess-2016-96.
- [10] S. Ouhamdouch, M. Bahir, et P. Carreira, « Impact du changement climatique sur la ressource en eau en milieu semi-aride : exemple du bassin d'Essaouira (Maroc) », *Rev. Sci. L'eau J. Water Sci.*, vol. 31, n° 1, p. 13-27, 2018, doi: 10.7202/1047050ar.
- [11] « Ministère de l'équipement et de l'eau ». Consulté le: 29 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.equipement.gov.ma/eau/patrimoine/sauvegarde-patrimoine/Pages/preservation-qualite-eau.aspx>
- [12] M. Makhoukh, M. Sbaa, A. Berrahou, et M. Van Clooster, « Contribution a l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental) », *LARHYSS J. P-ISSN 1112-3680E-ISSN 2521-9782*, n° 9, 2011.
- [13] M. AOURAGH, « Mapping of soil degradation and vulnerability in the Noun Syed watershed by water erosion: what impacts of climate change approach by remote sensing and GIS », *Environ. Water Sci. Public Health Territ. Intell. J.*, vol. 4, n° 3, p. 442-450, 2020.
- [14] H. Nassali, H. BOUIH, A. Srhiri, et M. Dhahbi, « Influence des rejets des eaux usées sur la composition des eaux de surface et des sédiments superficiels du lac Merja Fouarate au Maroc », *Afr. Sci.*, vol. 1, n° 1, p. 145-165, 2005.
- [15] S. Albab, A. Ezaidi, M. Benssaou, et B. Kabbachi, « Le patrimoine naturel - géologique et oasien - au service du développement géotouristique dans la province de Sidi Ifni et son arrière-pays oasien (Maroc) », *Collect. EDYTEM Cah. Géographie*, vol. 14, n° 1, p. 117-130, 2013, doi: 10.3406/edyte.2013.1229.
- [16] P. B. Mohammed et I. B. Anas, « Analyse climatique et hydrologique du bassin de Draa et l'unité de Guelmim et proposition des mesures pour garantir la sécurité hydrique ».
- [17] H. Atbir, « Les facteurs de dégradation de l'espace oasien dans la province de Guelmim, Sud-Ouest Marocain », *Cinq Cont*, vol. 9, p. 103-124, 2019.
- [18] N. E. Mahmoudi, M. E. Wartiti, S. A. Wissem, S. Kemmou, et S. E. Bahi, « Utilisation des systèmes d'information géographiques et des modèles hydrologiques pour l'extraction des caractéristiques physiques du bassin versant d'Assaka (Guelmim, sud du Maroc) », vol. 16, n° 2, 2016.

- [19] « وكالة الحوض المائي لدرعة واد نون ». Consulté le: 29 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.abhdon.ma/page/Eaux-de-surface>
- [20] A. Qninba, P. Bergier, et M. Thevenot, « Quelques précisions sur les sites du Sahara Atlantique marocain », 2023.
- [21] A. HUMBERT, « LES PALMERAIES DU PAYS DES ID BRAHIM ET DES AÏT HERBIL: UN ESPACE EN CRISE DU SUD-OUEST MAROCAIN (PROVINCE DE GUELMIM) », 2013.
- [22] M. Weng, X. Zhang, P. Li, H. Liu, Q. Liu, et Y. Wang, « Exploring the Impact of Land Use Scales on Water Quality Based on the Random Forest Model: A Case Study of the Shaying River Basin, China », *Water*, vol. 16, n° 3, Art. n° 3, janv. 2024, doi: 10.3390/w16030420.
- [23] N. G. A. Oumara et L. El Youssfi, « Salinization of Soils and Aquifers in Morocco and the Alternatives of Response », *Environ. Sci. Proc.*, vol. 16, n° 1, Art. n° 1, 2022, doi: 10.3390/environsciproc2022016065.
- [24] M. Agoussine, « Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Guelmim (Anti-Atlas occidental marocain). Modélisation et gestion des ressources en eau souterraines », Thèse 3ème cycle, université Cadi Ayyad, Marrakech, 1993.
- [25] S. El Mrissani, S. Haida, J.-L. Probst, et A. Probst, « Multi-Indices Assessment of Origin and Controlling Factors of Trace Metals in River Sediments from a Semi-Arid Carbonated Basin (the Sebou Basin, Morocco) », *Water*, vol. 13, n° 22, Art. n° 22, janv. 2021, doi: 10.3390/w13223203.
- [26] Y. Ouyang, « Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis », *Water Res.*, vol. 39, n° 12, p. 2621-2635, juill. 2005, doi: 10.1016/j.watres.2005.04.024.
- [27] R. Noori, M. S. Sabahi, A. R. Karbassi, A. Baghvand, et H. Taati Zadeh, « Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set », *Desalination*, vol. 260, n° 1, p. 129-136, sept. 2010, doi: 10.1016/j.desal.2010.04.053.
- [28] A. Ezaidi et A. Ait Tirri, « Une approche sur la collecte d'eau au niveau du Bassin versant: le cas du Bassin Talkjounte au Maroc », *Water Harvest. Mediterr. Zones Impact Assess. Econ. Eval.*, p. 25, 2002.
- [29] R. Bouaicha et A. Benabdelfadel, « Variabilité et gestion des eaux de surface au Maroc », *Sécheresse*, vol. 21, n° 4, p. 325-326, oct. 2010, doi: 10.1684/sec.2010.0272.

- [30] M. B. ATTOU, « La nouvelle stratégie de l'Etat dans l'espace présaharien, Guelmim à l'heure de la «régionalisation élargie» », *Rev. AFN Maroc N*, vol. 15, p. 16, 2014.
- [31] F. Addi, F. Elame, et O. Chadli, « Gestion du système d'irrigation dans l'espace oasien: Modélisation par la théorie des jeux », *Rev. Marocaine Sci. Agron. Vét.*, vol. 6, n° 4, p. 590-596, déc. 2018.
- [32] A. B. Moussa, A. Chahlaoui, E. H. Rour, M. Chahboune, et A. Aboulkacem, « ÉTUDE DU CHANGEMENT DE L'ETAT DES EAUX DE L'OUED KHOUMANE A LA CONFLUENCE AVEC LES EAUX THERMALES DE LA SOURCE AIN HAMMA MOULAY IDRIS MAROC », *LARHYSS J. P-ISSN 1112-3680 E-ISSN 2521-9782*, n° 11, Art. n° 11, nov. 2012, Consulté le: 28 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/view/136>
- [33] K. F. Benbrahim, M. Ismaili, S. F. Benbrahim, et A. Tribak, « Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation: impact du phénomène au Maroc », *Sci. Chang. PlanétairesSécheresse*, vol. 15, n° 4, p. 307-320, 2004.
- [34] M. Boulal, M. Boulanouar, M. Ghamizi, et C. Boutin, « Qualité de l'eau et faune aquatique des puits dans la région de Tiznit (Anti-Atlas occidental, Maroc) », *Bull. Société D'Histoire Nat. Toulouse*, vol. 153, p. 25-41, 2017.
- [35] J. Lemoalle, « Le fonctionnement hydrologique du lac Tchad », *Dév. Lac Tchad Situat. Actuelle Futurs Possibles*, p. 1-58, 2014.
- [36] S. Gharbi, « Le bassin-versant de ras el maa (maroc) : etude hydrologique », These de doctorat, Toulouse 2, 1986. Consulté le: 29 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/1986TOU20045>
- [37] S. Marofi, « Role des echanges nappes-fosses dans le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant en milieu mediterraneen cultive », These de doctorat, École nationale supérieure agronomique (Montpellier ; 1960-2006), 1999. Consulté le: 29 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/1999ENSA0005>
- [38] R. B. Taleb, M. Naimi, M. Chikhaoui, D. Raclot, et P. M. Sabir, « Evaluation Des Performances Du Modele Agro-Hydrologique SWAT à Reproduire Le Fonctionnement Hydrologique Du Bassin Versant Nakhla (Rif occidental, Maroc) », *Eur. Sci. J.*, vol. 15, p. 311-333, 2019.
- [39] R. B. TALEB, M. NAIMI, M. CHIKHAOUI, et M. SABIR, « Utilisation de SWAT pour la modélisation hydrologique et l'évaluation du rendement des sédiments dans le

- bassin versant de Nakhla, Maroc », *Rev. Marocaine Sci. Agron. Vét.*, vol. 9, n° 4, p. 616-628, 2021.
- [40] H. Ouzanni, K. Nafia, et M. E. Ghachi, « Analyse du fonctionnement hydrologique de la source d'ASKKAR: suivi, mesure et analyse 2022-2023 (Bassin versant de l'Oued El Abid-Maroc-) », *Rev. Int. Rech. Sci. Rev.-IRS*, vol. 1, n° 5, Art. n° 5, oct. 2023, doi: 10.5281/zenodo.8400908.
- [41] M. Dakki, B. El FELLah, et A. Qninba, « Rivers' natural reservoirs: new inputs to the classification of Mediterranean and Saharan wetlands », *Bull. L'Institut Sci. Rabat Sér. Sci. Vie*, p. 1-14, 2020.
- [42] A. Bayed *et al.*, « Caractérisation morphométrique et physicochimique des poches d'eau de la sebkha d'Imlili (Sud marocain) », *Sebkhat Imlili Région Dakhla-Oued Eddahab Une Zone Humide Saharienne Relique*, p. 33-40, 2020.
- [43] A. Emran *et al.*, « Le fonctionnement de la Sebkha d'Imlili dévoilé par les images Radar Palsar. Un reliquat de passé dans le Sahara marocain témoin de la dernière variation climatique dans des conditions géologiques improbables », *Sebkhat Imlili Région Dakhla-Oued Eddahab Une Zone Humide Relique Qninba Semlali ML Pariselle Himmi O Ed. AZ Éditions Rabat*, p. 19-32, 2020.
- [44] L. Alibardi et R. Cossu, « 6.1 - Leachate Generation Modeling », in *Solid Waste Landfilling*, R. Cossu et R. Stegmann, Éd., Elsevier, 2018, p. 229-245. doi: 10.1016/B978-0-12-407721-8.00013-9.
- [45] A. Ladson, « Chapter 10 - Using WSUD to Restore Predevelopment Hydrology », in *Approaches to Water Sensitive Urban Design*, A. K. Sharma, T. Gardner, et D. Begbie, Éd., Woodhead Publishing, 2019, p. 209-228. doi: 10.1016/B978-0-12-812843-5.00010-1.
- [46] L. Laloui et A. F. Rotta Loria, « Chapter 9 - Analytical modelling of transient heat transfer », in *Analysis and Design of Energy Geostuctures*, L. Laloui et A. F. Rotta Loria, Éd., Academic Press, 2020, p. 409-456. doi: 10.1016/B978-0-12-816223-1.00009-6.
- [47] R. D. Stewart *et al.*, « An analytical approach to ascertain saturation-excess versus infiltration-excess overland flow in urban and reference landscapes », *Hydrol. Process.*, vol. 33, n° 26, p. 3349-3363, 2019, doi: 10.1002/hyp.13562.
- [48] R. Mondot, « Les consommateurs face aux heurs et malheurs de la gestion de l'eau », *Ann. Mines - Responsab. Environ.*, vol. 112, n° 4, p. 47-49, 2023, doi: 10.3917/re1.112.0047.

- [49] A. Lagni et M. Elghachi, *Les sites Hydromorphodynamiques: Potentialités Naturelles Face aux Contraintes de la Sauvegarde et de l'Intégration Touristique, dans le bassin versant de l'Oued Assif Ghazzaf, bassin d'Oum Errabia, Maroc* UNIVERSITE SULTAN MOULAY SLIMANE BENI MELLAL Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Département de Géographie Laboratoire: Dynamique des paysages, risques et patrimoine. 2023.
- [50] E. Lavie et N. H. El-Tayib, « Du robinet au consommateur : qualité de l'eau potable dans le contexte domestique de l'agglomération de Khartoum, Soudan », *Cybergeo Eur. J. Geogr.*, févr. 2014, doi: 10.4000/cybergeo.26157.
- [51] A. Bennasr et É. Verdeil, « Gestion publique de l'eau potable, développement urbain durable et Majel-s (citernes d'eau pour l'eau de pluie) à Sfax en Tunisie », *Flux*, vol. 76-77, n° 2-3, p. 38-50, 2009, doi: 10.3917/flux.076.0038.
- [52] J. Le Tellier, « Gouvernance urbaine et accès à l'eau potable au Maroc : Partenariat Public-Privé à Casablanca et Tanger-Tétouan », p. 1-280, 2005.
- [53] M. Tenneson et D. Rojat, « La tarification de l'eau au Maroc : comment servir différentes causes ? », *Afr. Contemp.*, vol. 205, n° 1, p. 151-169, 2003, doi: 10.3917/afco.205.0151.
- [54] « Le Maroc se mobilise contre la rareté de l'eau et l'inflation alimentaire, grands défis de 2024 », Médias24. Consulté le: 30 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://medias24.com/2024/01/01/le-maroc-se-mobilise-contre-la-rarete-de-leau-et-linflation-alimentaire-grands-defis-de-2024/>
- [55] C. de Miras et J. Le Tellier, « Gouvernance urbaine et accès à l'eau potable au Maroc », 2005.
- [56] admin, « Le Maroc, un pays bientôt sans eau ? », Nechfate. Consulté le: 30 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://nechfate.ma/maroc-un-pays-bientot-sans-eau/>
- [57] L. Collet, « Capacité à satisfaire la demande en eau sous contraintes climatique et anthropique un bassin méditerranéen », Thèse de doctorat, Montpellier 2, 2013. Consulté le: 30 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2013MON20129>
- [58] B. Mambwe kitambo, « Étude de la ressource en eau en lien avec le climat dans le bassin du Congo : approche intégrée utilisant des données in situ, la télédétection et la modélisation hydrologique », Thèse de doctorat, Toulouse 3, 2023. Consulté le: 30 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2023TOU30101>
- [59] A. N. Taïbi *et al.*, « La ressource en eaux non conventionnelles facteur de développement en zone saharienne », présenté à Conférence internationale « Hydrologie

- des régions méditerranéennes et semi-arides », ENSA, 2003. Consulté le: 30 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://shs.hal.science/halshs-00477734>
- [60] M. Savean, « Modélisation hydrologique distribuée et perception de la variabilité hydro-climatique par la population du bassin versant de la Dudh Koshi (Népal) », These de doctorat, Montpellier 2, 2014. Consulté le: 30 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2014MON20222>
- [61] L. Bouchaala, N. Charchar, et A. Gherib, « Ressources hydriques: traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie », *Algerian J. Arid Environ.*, vol. 7, n° 1, p. 84-95, 2017.
- [62] P. Branchet, « Caractérisation de l'impact des activités humaines sur la qualité de la ressource en eau en milieu urbain sub-saharien : étude de la contamination du bassin versant de la Méfou (Région Centre du Cameroun) par les pesticides et les résidus pharmaceutiques », These de doctorat, IMT Mines Alès, 2018. Consulté le: 30 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2018EMAL0003>
- [63] A. Agoumi et A. Debbarh, « Ressources en eau et bassins versants du Maroc: 50 ans de développement », *Rep. Prep. Framew. "Water Manag. Scarcity" Organ. Assoc. Moroc. Eng. Bridg. Roads*, p. 13-62, 2005.
- [64] A. Qadem, « Quantification, modélisation et gestion de la ressource en eau dans le bassin versant du Haut Sebou (Maroc) », These de doctorat, Université de Lorraine, 2015. Consulté le: 30 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2015LORR0263>
- [65] C. Nicolas-Artero, « Appropriation de l'eau et production de l'espace. La dimension spatiale du droit de l'eau dans la vallée d'Elqui (Chili) », These de doctorat, Paris 3, 2019. Consulté le: 30 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2019PA030033>
- [66] F. Temani, « Évaluation des performances des cultures annuelles en agroforesterie Méditerranéenne sous différents régimes hydriques : cas des systèmes agroforestiers à base d'oliviers au Maroc », These de doctorat, Montpellier, SupAgro, 2020. Consulté le: 30 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2020NSAM0032>
- [67] R. Leouifoudi, « Approches de développement territorial par la mise en tourisme montagnard au Maroc : cas de la province d'Azilal », These de doctorat, Angers, 2021. Consulté le: 30 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2021ANGE0031>

- [68] H. Quarouch, M. Kuper, E. H. Abdellaoui, et S. Bouarfa, « Eaux souterraines, sources de dignité et ressources sociales: cas d'agriculteurs dans la plaine du Saïss au Maroc », 2014.
- [69] F. Molle et O. Tanouti, « La micro-irrigation et les ressources en eau au Maroc: un coûteux malentendu », *Altern. Rural.*, vol. 5, p. 22-39, 2017.
- [70] P.-L. Mayaux et M. Rousseau, « Extraire la ressource, s'extraire du conflit. Réguler la surexploitation des mines et des eaux souterraines au Maroc », *Rev. Int. Polit. Comparée*, vol. 28, n° 3, p. 125-153, 2021.
- [71] K. D. Vecchio et M. Kuper, « La mise en visibilité des eaux souterraines au Maroc: un processus historiquement lié aux politiques de développement de l'irrigation », *Dév. Durable Territ. Économie Géographie Polit. Droit Sociol.*, vol. 12, n° 3, 2022.
- [72] K. Majdouli *et al.*, « Exploring the Links between Climate Change and Meteorological Drought in the Draa Basin », 2023.
- [73] S. Brouyère, R. Glaude, J. Hutzemakers, P. Orban, et P. Goderniaux, « Impact du changement climatique sur les ressources en eaux souterraines de Wallonie: des prédictions du passé aux observations du présent », in *Journée d'étude 2022. Eau potable: de la protection des ressources à la consommation*, 2022.
- [74] I. Mekki, I. Ferchichi, N. Taoujouti, N. Faysse, et A. A. Zaïri, « Analyse de l'extension des palmeraies oasiennes et de son impact sur les ressources en eau souterraine dans la région de Kébili, sud-ouest de la Tunisie », 2021.
- [75] S.-A. BELLAL, A. BAICHE, et O. DARI, « SECHERESSE ET FLUCTUATIONS DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINES: LE CAS DU PLATEAU DE MOSTAGANEM (OUEST ALGERIEN) », *EAU Environ. Territ. Soc.*, vol. 14, p. 107, 2020.
- [76] A. CHARIF, H. ATBIR, H. A. MALEK, et B. AKDIM, « Évolution Plio-Quaternaire de la région de Lakhsass-Guelmim (versant sud de l'Anti-Atlas occidental, Maroc) », *Rev. Marocaine Géomorphologie*, n° 5, 2021.
- [77] M. Zouiden, P. B. Mohammed, P. B. Lahcen, P. E. G. Abdelkader, et P. R. Naoual, « MEMOIRE DE FIN D'ETUDES ».
- [78] A. Irizi, M. Aourir, M. A. El Agbani, et A. Qninba, « Correlates of persistent electrocution-related mortality of raptors in Guelmim-Oued Noun province, Morocco », *Ostrich*, vol. 92, n° 2, p. 85-93, 2021.

- [79] M. H. M'BARK et M. B. LAHCEN, « LA PROMOTION DE L'ENTREPRENEURIAT DANS LE SECTEUR TOURISTIQUE: CAS DE LA REGION DE TATA », *X FORO Int. Tur. MASPALOMAS COSTA Canar. FITMCC*, p. 60, 2022.
- [80] K. Del Vecchio et P.-L. Mayaux, « Gouverner les eaux souterraines au Maroc. L'État en aménageur libéral », *Gouv. Action Publique*, vol. VOL. 6, n° 1, p. 107-130, 2017, doi: 10.3917/gap.171.0107.
- [81] A. Khaddari *et al.*, « A Comparative Analysis of Analytical Hierarchy Process and Fuzzy Logic Modeling in Flood Susceptibility Mapping in the Assaka Watershed, Morocco », *J. Ecol. Eng.*, vol. 24, p. 62-83, juin 2023, doi: 10.12911/22998993/165958.
- [82] « Présentation générale de site Assaka.pdf ».
- [83] J.-B. Charlier, « Fonctionnement et modélisation hydrologique d'un petit bassin versant cultivé en milieu volcanique tropical », UM2, 2007.
- [84] L. Wengler *et al.*, « Enregistrement fluvatile et paléoenvironnements au Pléistocène supérieur sur la bordure méridionale atlantique de l'Anti-Atlas (Oued Assaka, SO marocain) », *Quaternaire*, vol. 13, p. 179-192, janv. 2002, doi: 10.3406/quate.2002.1710.
- [85] S. Talha, M. Maanan, A. Hilali, et H. Rhinane, « PREDICTION OF FLASH FLOOD SUSCEPTIBILITY USING FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (FAHP) ALGORITHMS AND GIS: A STUDY CASE OF GUELMIM REGION IN SOUTHWESTERN OF MOROCCO », *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, vol. XLII-4/W19, p. 407-414, déc. 2019, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W19-407-2019.
- [86] A. Khaddari *et al.*, « Evaluation of Precipitation Spatial Interpolation Techniques using GIS for Better Prevention of Extreme Events: Case of the Assaka Watershed (Southern Morocco) ».
- [87] S. Amouch, A. Akhssas, L. Bahi, et R. Bennouna, « Characterisation of Recent and Future Climatic Trends in the Region of Guelmim (Morocco) », *E3S Web Conf.*, vol. 150, p. 03021, janv. 2020, doi: 10.1051/e3sconf/202015003021.
- [88] L. Boukaya, S. Saoud, et H. Bahida, « Le facteur humain dans la durabilité écologique : le pouvoir du comportement humain pour parvenir à la transition écologique au Maroc », *SHS Web Conf.*, vol. 175, p. 01017, 2023, doi: 10.1051/shsconf/202317501017.
- [89] F. KHALID et L. EL MOUJAHID, « LA GESTION DE L'EAU AU MAROC: VERS UN NOUVEAU MODE DE GOUVERNANCE ».

- [90] Z. El Attaoui, F. Z. A. Sossi, et Y. El Khatori, « La gestion des risques menaçant la qualité de l'eau: application du PGSSE et la méthode HACCP », in *SHS Web of Conferences*, EDP Sciences, 2023, p. 01037.
- [91] L. BENNIS, « La finance verte au Maroc: enjeux et perspectives à l'ère du changement climatique », *Rev. Fr. Econ. Gest.*, vol. 4, n° 4, 2023.
- [92] K. AKOUDAD et F. JAWAB, « Externalités environnementales négatives dues au transport international: Cas de la Pollution atmosphérique au Maroc ».
- [93] M. Astrid, « «Vers une ambition zéro pollution de l'air, de l'eau et des sols»: consultation publique–Infogreen », 2024.
- [94] O. EL GHMARI, I. EL GHMARI, et E.-D. Mohammed, « La démarche RSE dans l'environnement Marocain, entre opportunité et menace », *Int. J. Account. Finance Audit. Manag. Econ.*, vol. 5, n° 1, p. 195-208, 2024.
- [95] N. A. NOUREDDINE, O. KHARBACH, A. SABIL, et A. BENICHO, « Vers une Économie Circulaire au Maroc: Défis, Stratégies et Perspectives. », *Rev. Fr. Econ. Gest.*, vol. 5, n° 1, 2024.
- [96] C. Bonnineau, V. Tardy, E. Lyautey, et S. Pesce, « Défis méthodologiques et conceptuels autour des mesures de tolérance microbienne aux polluants pour mieux diagnostiquer l'impact de la contamination », in *Séminaire Irstea DSS Biodiversité*, Rouen, France, nov. 2018, p. 20. Consulté le: 4 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.inrae.fr/hal-02608094>
- [97] L. Touzani, « LES ENERGIES RENOUVENABLES AU MAROC: ENERGIE SOLAIRE », *Rev. Déconomie Environ.*, vol. 3, n° 1, p. 28-44, 2023.
- [98] A. Mossion, « Étude de la composition minérale et organique des liqueurs de thé et de leurs caractéristiques organoleptiques: influence des paramètres physico-chimiques de l'eau », 2007.
- [99] O. Si Abderrahmane, « Contribution à l'évaluation du système management qualité et des paramètres physicochimiques, bactériologiques et organoleptiques des eaux des stations de traitement Taksebt et Boudouaou. », Université Mouloud Mammeri, 2016.
- [100] A. A. Mahamane et B. Guel, « Caractérisations physico-chimiques des eaux souterraines de la localité de Yamtenga (Burkina Faso) », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 9, n° 1, p. 517-533, 2015.
- [101] F. Merhabi, H. Amine, et J. Halwani, « Evaluation de la qualité des eaux de surface de la rivière Kadicha », *J. Sci. Liban.*, vol. 20, n° 1, p. 10-34, 2019.

- [102] M. Lagnika, M. Ibikounle, J. C. Montcho, V. D. Wotto, et N. G. Sakiti, « Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'ouest) », *J. Appl. Biosci.*, vol. 79, p. 6887-6895, 2014.
- [103] B. Maamar et M. A. Yakoub, « Etude l'effet inhibitrice de (N-mésitylimidazole) contre la corrosion d'acier (XC70) dans un milieu acide (H₂SO₄ 0.5 M) par la méthode de dosage volumétrique », 2013.
- [104] R. GT, « Analyse du plutonium en solution par spectrophotométrie d'absorption: vue d'ensemble des techniques mises en œuvre au Laboratoire de Conversion des Actinides et Radiolyse ».
- [105] M. Masson, N. Guigues, M. Arhror, S. Raveau, C. Brosse, et N. Forquet, « Caractérisation de la matière organique d'eaux résiduaires et d'eaux de surface par les sondes spectrophotométriques UV-Visible », *Agence Fr. Biodiversité*, 2019.
- [106] « Les Normes de L'eau Potable - Eau Du Maroc | PDF | Boire de l'eau | Magnésium », Scribd. Consulté le: 6 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.scribd.com/document/627955873/Les-Normes-de-l-Eau-Potable-Eau-Du-Maroc>
- [107] F. Zidane, B. Lekhlif, A. Boulanger, S. Chenguiti, et R. Hachim, « Evaluation de la qualité de l'eau potable alimentant Casablanca-Maroc », *Cah. Assoc. Sci. Eur. Pour Eau Santé*, vol. 9, n° 1, p. 49-58, 2004.
- [108] M. El-Mghari Tabib, L. Laraki, et L. Echihabi, « Renforcement du contrôle de la qualité de l'eau potable au Maroc. Situation actuelle et perspectives », *Tech. Sci. Méthodes Fr.*, vol. 97, n° 12, 2002.
- [109] « Normes sur l'eau potable ». Consulté le: 6 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-eau-potable.htm>
- [110] « Production d' eau potable - Lenntech ». Consulté le: 6 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.lenntech.fr/applications/potable/eau-potable.htm>
- [111] O. mondiale de la Santé, « Stratégie de l'OMS sur l'eau, l'assainissement et l'hygiène 2018-2025 », Organisation mondiale de la Santé, 2019.
- [112] R. Bos, *Manuel des Droits de l'Homme à l'Eau Potable et à l'Assainissement à l'intention des Praticiens*. IWA Publishing, 2018.
- [113] J. Adams, J. Bartram, Y. Chartier, et J. Sims, *Normes Relatives À l'Eau, l'Assainissement En Milieu Scolaire Dans Les Environnements Pauvres En Ressources*. World Health Organization, 2010.
- [114] S. d'Etat à l'Environnement, *Lois 10-95 sur l'eau promulguée par le dahir n 1-95-154 du 18 rabii I 1416 (16 août 1995)*. Rabat. site officiel < [http://www. water. gov. ma](http://www.water.gov.ma), 1995.

- [115] N. El Mahmoudi, M. El Wartiti, S. A. Wissem, S. Kemmou, et S. El Bahi, « Utilisation des systèmes d'information géographiques et des modèles hydrologiques pour l'extraction des caractéristiques physiques du bassin versant d'Assaka (Guelmim, sud du Maroc)[The use of geographic information system for the extraction of physical characteristics of assaka watershed: sub-basins of sayed and oum laachar wadis (southern Morocco)] », *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, vol. 16, n° 2, p. 370, 2016.
- [116] H. C. au Plan, « LE DEVELOPPEMENT REGIONAL ET LES PROGRAMMES DES COLLECTIVITES LOCALES-Région de Guelmim-Es-Smara », 2002.
- [117] S. HOUSNI, A. CHEKROUNI, R. HASNAOUI, et Y. BOUTAKHNIFT, « L'évaluation de la politique d'emploi des jeunes dans le cadre de la mise en œuvre du modèle de développement pour les provinces du Sud du Maroc: Cas de la région Guelmim-Oued Noun », *Rev. Int. Cherch.*, vol. 3, n° 2, 2022.
- [118] S. El Arabi, « L'accueil des migrants subsahariens à Tiznit: géographie et éthique de la villerefuge », *LocalAcc Monogr. Monogr.*, n° 1, 2021.
- [119] S. MIRARI, « Développement du tourisme durable à travers l'approche du Marketing Territorial dans la province de Guelmim-Maroc », *Espace Géographique Société Marocaine*, vol. 1, n° 57, 2022.
- [120] F. Z. Darouiche, S. Assaoud, et D. Ouarhache, « La dynamique de la désertification dans le Nord-Est du Maroc au cours des deux dernières décennies: Etat des lieux et précision des zones d'intérêt. », *Mots Com. D'organisation*, p. 228, 2015.
- [121] R. du Maroc, « LES SOURCES D'EAU DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN ».
- [122] « SIREDD Guelmim-Oued Noun ». Consulté le: 10 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://siredd.environnement.gov.ma/Guelmim-Oued-Noun/SIG/SigIndex>
- [123] « Meteo Targa Wassay ⵜⴰⵔⴳⴰ ⵡⴰⵙⵙⴰⵢ - Maroc (Guelmim-Oued Noun) : Prévisions Meteo GRATUITE à 15 jours », La Chaîne Météo. Consulté le: 10 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.lachainemeteo.com/meteo-maroc/ville-867922/previsions-meteo-targa-wassay-aujourd'hui>
- [124] P. BERGIER, « Où voir les oiseaux dans le Sahara Atlantique marocain », *Go-South Bull.*, vol. 6, p. 1-71, 2009.
- [125] A. Barthes *et al.*, « Dynamiques d'innovations des arrières pays arides marocains. Le cas du figuier de barbarie, une ressource territoriale en émergence? », *Terroirs Au Sud Vers Un Nouv. Modè*, p. 145-158, 2016.

- [126] C. Rozain, « Développement de nouveaux matériaux d'électrodes pour la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau », Paris 11, 2013.
- [127] H. Rayane, « Élaboration de nouveaux matériaux d'électrode pour la production d'hydrogène par l'électrolyse de l'eau », Faculté des Sciences et Technologies, 2021.
- [128] M. Bélanger, N. El-Jabi, D. Caissie, F. Ashkar, et J. M. Ribí, « Estimation de la température de l'eau de rivière en utilisant les réseaux de neurones et la régression linéaire multiple », *Rev. Sci. Eau*, vol. 18, n° 3, p. 403-421, 2005.
- [129] A. M. Kouassi, A. Mamadou, K. E. Ahoussi, et J. Biemi, « Simulation de la conductivité électrique des eaux souterraines en relation avec leurs propriétés géologiques: cas de la Côte d'Ivoire », *Rev. Ivoirienne Sci. Technol.*, vol. 21, p. 138-166, 2013.
- [130] S. El Blidi, M. Fekhaoui, A. Serghini, et A. El Abidi, « Rizières de la plaine du Gharb (Maroc): qualité des eaux superficielles et profondes », *Bull. L'Institut Sci. Rabat Sect. Sci. Vie*, vol. 28, p. 55-60, 2006.
- [131] P. Castaing, G. P. Allen, M. Houdart, et Y. Moign, « Étude par télédétection de la dispersion en mer des eaux estuariennes issues de la Gironde et du Pertuis de Maumusson », *Oceanol. Acta*, vol. 2, n° 4, p. 459-468, 1979.
- [132] S. Ounoughi, « Communautés et contaminations bactériennes associées a la turbidité des eaux d'un aquifère karstifié en domaine rural. Approche préliminaire dans la bioremédiation des nitrates (cas du bassin versant de Brionne 27 France) », Rouen, 1999.
- [133] J. K. Fatombi, R. G. Jossé, B. Yehouenou, V. Wotto, et T. Aminou, « Traitement des eaux de surface par les coagulants à base de coco », *J.-Soc. OUEST Afr. Chim.*, vol. 23, p. 81, 2007.
- [134] A. Allalgua, N. KAOUACHI, C. BOUALLEG, A. AYARI, et B. Mourad, « Caracterisation Physico-Chimique Des Eaux Du Barrage Foug El-Khanga (Region De Souk-Ahras, Algerie) », *Eur. Sci. J. ESJ*, vol. 13, n° 12, 2017.
- [135] P. G. AMLAN, W. K. CHOUTI, C. A. DEDJIHO, K. R. FANGNON, et N. E. CHITOU, « Évaluation de la pollution chimique des eaux par les éléments traces métalliques (ETM): cas de la rivière Mekrou (nord-ouest Bénin) », *J. Appl. Biosci.*, vol. 192, p. 20331-20346.
- [136] M. G. M. Chouafa Nesrine, « Analyse de la qualité de l'eau potable distribuée à Guelma », 2022.
- [137] A. De Sousa, « La détermination rapide du calcium et du magnésium dans l'eau de mer », *Anal. Chim. Acta*, vol. 11, p. 221-224, 1954.

- [138] I. Androniuk, « Effects of cement organic additives on the adsorption of uranyl ions on calcium silicate hydrate phases: experimental determination and computational molecular modelling », Ecole nationale supérieure Mines-Télécom Atlantique Bretagne Pays de la Loire, 2017.
- [139] S. Besançon, M.-C. Feore, L. Fort, et H. This, « La détermination de la quantité de magnésium dans l'eau de cuisson des haricots verts », *L'Actualité Chim.*, vol. 412, p. 32-35, 2016.
- [140] Y. Rusconi, D. Monnier, et P. E. Wenger, « Dosage spectrophotométrique du magnésium », *Helv. Chim. Acta*, vol. 31, n° 6, p. 1549-1552, 1948, doi: 10.1002/hlca.19480310615.
- [141] M.-J. Capdeville, « Études des cycles biogéochimiques des contaminants organiques dits « émergents » dans les systèmes aquatiques », These de doctorat, Bordeaux 1, 2011. Consulté le: 10 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2011BOR14304>
- [142] R. Moncelon, « Couplage benthos-pelagos en marais littoraux de Charente-Maritime : contribution du compartiment sédimentaire à la capacité épuratrice des eaux de surface », These de doctorat, La Rochelle, 2022. Consulté le: 10 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2022LAROS027>
- [143] P. Kijjanapanich, « Sulfate reduction for remediation of gypsiferous soils and solid wastes », These de doctorat, Paris Est, 2013. Consulté le: 10 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2013PEST1188>
- [144] A. Volant, « Étude des communautés microbiennes (bactéries, archaea et eucaryotes) et de leurs variations spatiotemporelles dans la mine de Carnoulès fortement contaminée en arsenic », These de doctorat, Montpellier 2, 2012. Consulté le: 10 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2012MON20224>
- [145] A. Bouchikhi, « Optimisation de la valorisation des déchets de verre et de sédiments dans des liants recomposés : Activation - Formulation de mortiers - Stabilisation physico-chimique », These de doctorat, Ecole nationale supérieure Mines-Télécom Lille Douai, 2020. Consulté le: 10 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2020MTLD0018>
- [146] S. Abed, « Développement d'un capteur électrochimique pour la détection des nitrates dans les eaux naturelles », These de doctorat, Toulouse 3, 2022. Consulté le: 10 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2022TOU30231>

- [147] N. A. Ndao, « Etude des électrodes de diamant dopé au bore : application à la réduction des ions nitrates », These de doctorat, Paris 12, 2002. Consulté le: 10 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2002PA120063>
- [148] T. Yehya, « Etude des procédés électrochimiques et biologiques pour le traitement des eaux : application à l'élimination des nitrates et de la carbamazépine », These de doctorat, Clermont-Ferrand 2, 2015. Consulté le: 10 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.theses.fr/2015CLF22660>
- [149] Divya, « Impact of chemical fertilizers on water quality in selected agricultural areas of Mysore district, Karnataka, India », *Int. J. Environ. Sci.*, vol. 2, févr. 2012, doi: 10.6088/ijes.00202030030.
- [150] Y. Kasseh, A. Touzani, et S. Majaty, « Production of a Database on Short-Lived Climate Pollutants (SLCP) and the Elaboration of Projection Scenarios of these Emissions Using the LEAP Software - The Case of Morocco », *Nat. Environ. Pollut. Technol.*, vol. 22, p. 2103-2110, déc. 2023, doi: 10.46488/NEPT.2023.v22i04.035.
- [151] A. Bekkar, B. Hssina, S. Douzi, et D. Khadija, *Transformer-Based Model for Multi-Horizon Forecasting Ozone in Marrakech city, Morocco*. 2023, p. 8. doi: 10.1109/SITA60746.2023.10373756.
- [152] M. Kumar et A. Puri, « A review of permissible limits of drinking water », *Indian J. Occup. Environ. Med.*, vol. 16, n° 1, p. 40-44, 2012, doi: 10.4103/0019-5278.99696.
- [153] A. Verma et D. Saksena, « Assessment of Water quality and Pollution Status of Kalpi (Morar) River, Gwalior, Madhya Pradesh: with special reference to Conservation and Management plan ».
- [154] L. Gaetke et C. Chow, « Gaetke LM, Chow CKCopper toxicity, oxidative stress and antioxidant nutrients. Toxicology 189: 147-163 », *Toxicology*, vol. 189, juill. 2003, doi: 10.1016/S0300-483X(03)00159-8.
- [155] R. Wade, « Muddy Waters: Inside the World Bank as It Struggled with the Narmada Irrigation and Resettlement Projects, Western India », 2021, p. 265-313. doi: 10.1007/978-3-030-57426-0_17.
- [156] C. Haidar, « Évaluation de la qualité de l'eau du bassin supérieur de la rivière du Litani, Liban : approche hydrogéochimique », 2014.
- [157] G. J. Brewer, « Risks of Copper and Iron Toxicity during Aging in Humans », *Chem. Res. Toxicol.*, vol. 23, n° 2, p. 319-326, févr. 2010, doi: 10.1021/tx900338d.

- [158] E. Ifakkou *et al.*, Article ID: IJCIET_10_05_085 *Analysis of the Seawater Reverse Osmosis Performance by the Desalination Plant Used for the Production of Drinking Waters in Laayoune -South of Morocco*. 2019.
- [159] F. Rafiq *et al.*, « First assessment of domestic and industrial effluents impact on intertidal zone of Safi coastline (west of Morocco): physicochemical characteristics and metallic trace contamination », *Desalination Water Treat.*, vol. 245, p. 167-177, janv. 2022, doi: 10.5004/dwt.2022.27974.
- [160] S. Karim, A. Aouniti, C. Belbachir, et I. Rahhou, « Assessment of heavy metal concentrations in (Sardinapilchardus) caught in the Mediterranean coast from the North East of Morocco », *World J. Adv. Res. Rev.*, vol. 15, p. 719-729, juill. 2022, doi: 10.30574/wjarr.2022.15.1.0503.
- [161] G. Bartoli, S. Papa, E. Sagnella, et A. Fioretto, « Heavy metal content in sediments along the Calore river: Relationships with physical–chemical characteristics », *J. Environ. Manage.*, vol. 95, p. S9-S14, mars 2012, doi: 10.1016/j.jenvman.2011.02.013.
- [162] « Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses », *Chemosphere*, vol. 236, p. 124364, déc. 2019, doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.124364.
- [163] J. Gibert, S. Plénet, P. Marmonier, et V. Vanek, « Hydrological exchange and sediment characteristics in a riverbank: relationship between heavy metals and invertebrate community structure », *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 52, n° 10, p. 2084-2097, oct. 1995, doi: 10.1139/f95-202.
- [164] M. S. Islam, M. K. Ahmed, M. Raknuzzaman, M. Habibullah -Al- Mamun, et M. K. Islam, « Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country », *Ecol. Indic.*, vol. 48, p. 282-291, janv. 2015, doi: 10.1016/j.ecolind.2014.08.016.
- [165] I. Delpla, A.-V. Jung, E. Baures, M. Clement, et O. Thomas, « Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production », *Environ. Int.*, vol. 35, n° 8, p. 1225-1233, nov. 2009, doi: 10.1016/j.envint.2009.07.001.
- [166] J. Zhang *et al.*, « Assessment of soil heavy metal pollution in provinces of China based on different soil types: From normalization to soil quality criteria and ecological risk assessment », *J. Hazard. Mater.*, vol. 441, p. 129891, 2023.
- [167] V. Kumar, A. Sharma, R. Kumar, R. Bhardwaj, A. Kumar Thukral, et J. Rodrigo-Comino, « Assessment of heavy-metal pollution in three different Indian water bodies by

- combination of multivariate analysis and water pollution indices », *Hum. Ecol. Risk Assess. Int. J.*, vol. 26, n° 1, p. 1-16, 2020.
- [168] P. Priti et B. Paul, « Assessment of heavy metal pollution in water resources and their impacts: A review », *J. Basic Appl. Eng. Res.*, vol. 3, n° 8, p. 671-675, 2016.
- [169] L. Jia, W. Wang, Y. Li, et L. Yang, « Heavy Metals in Soil and Crops of an Intensively Farmed Area: A Case Study in Yucheng City, Shandong Province, China », *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 7, n° 2, Art. n° 2, févr. 2010, doi: 10.3390/ijerph7020395.
- [170] J. D. Hem, *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. U.S. Government Printing Office, 1959.
- [171] L. Lin *et al.*, « Spatial variations and periodic changes in heavy metals in surface water and sediments of the Three Gorges Reservoir, China », *Chemosphere*, vol. 240, p. 124837, févr. 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.124837.
- [172] Z. Zhaoyong, J. Abuduwaili, et J. Fengqing, « Heavy metal contamination, sources, and pollution assessment of surface water in the Tianshan Mountains of China », *Environ. Monit. Assess.*, vol. 187, n° 2, p. 33, janv. 2015, doi: 10.1007/s10661-014-4191-x.
- [173] A. Parus *et al.*, « Basic principles for biosurfactant-assisted (bio) remediation of soils contaminated by heavy metals and petroleum hydrocarbons—A critical evaluation of the performance of rhamnolipids », *J. Hazard. Mater.*, vol. 443, p. 130171, 2023.
- [174] D. Guo *et al.*, « EDTA and organic acids assisted phytoextraction of Cd and Zn from a smelter contaminated soil by potherb mustard (*Brassica juncea*, Coss) and evaluation of its bioindicators », *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 167, p. 396-403, 2019.
- [175] K. Gautam *et al.*, « A review on control and abatement of soil pollution by heavy metals: Emphasis on artificial intelligence in recovery of contaminated soil », *Environ. Res.*, p. 115592, 2023.
- [176] K.-C. Yu, L.-J. Tsai, S.-H. Chen, et S.-T. Ho, « Correlation analyses on binding behavior of heavy metals with sediment matrices », *Water Res.*, vol. 35, n° 10, p. 2417-2428, 2001.
- [177] P. Kjeldsen, M. A. Barlaz, A. P. Rooker, A. Baun, A. Ledin, et T. H. Christensen, « Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review », *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 32, n° 4, p. 297-336, oct. 2002, doi: 10.1080/10643380290813462.

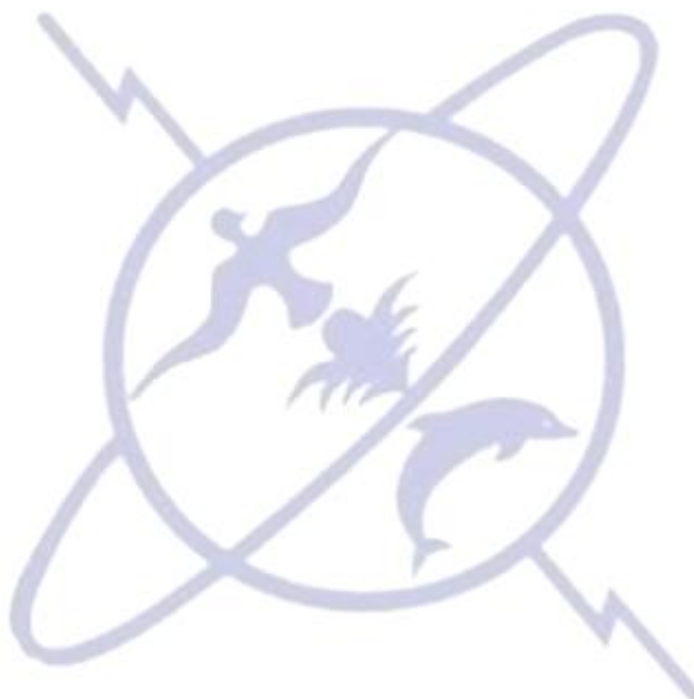
- [178] M. Ozmen, Z. Ayas, A. Güngördü, G. F. Ekmekci, et S. Yerli, « Ecotoxicological assessment of water pollution in Sariyar Dam Lake, Turkey », *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 70, n° 1, p. 163-173, 2008.
- [179] R. Bhateria et D. Jain, « Water quality assessment of lake water: a review », *Sustain. Water Resour. Manag.*, vol. 2, p. 161-173, 2016.
- [180] K. Jayaswal, V. Sahu, et B. R. Gurjar, « Water pollution, human health and remediation », *Water Remediat.*, p. 11-27, 2018.
- [181] D. Kar, P. Sur, S. K. Mandai, T. Saha, et R. K. Kole, « Assessment of heavy metal pollution in surface water », *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 5, n° 1, p. 119-124, déc. 2008, doi: 10.1007/BF03326004.
- [182] N. J. Khound et K. G. Bhattacharyya, « Multivariate statistical evaluation of heavy metals in the surface water sources of Jia Bharali river basin, North Brahmaputra plain, India », *Appl. Water Sci.*, vol. 7, n° 5, p. 2577-2586, sept. 2017, doi: 10.1007/s13201-016-0453-9.
- [183] Md. S. Bhuyan, M. A. Bakar, A. Akhtar, M. B. Hossain, M. M. Ali, et Md. S. Islam, « Heavy metal contamination in surface water and sediment of the Meghna River, Bangladesh », *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.*, vol. 8, p. 273-279, déc. 2017, doi: 10.1016/j.enmm.2017.10.003.
- [184] K. Oginawati, S. J. Yapfrine, N. Fahimah, I. R. S. Salami, et S. H. Susetyo, « The associations of heavy metals exposure in water sources to the risk of stunting cases », *Emerg. Contam.*, vol. 9, n° 4, p. 100247, 2023.
- [185] G. Bin, X. Cao, Y. Dong, Y. Luo, et L. Q. Ma, « Colloid Deposition and Release in Soils and Their Association With Heavy Metals », *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 41, n° 4, p. 336-372, janv. 2011, doi: 10.1080/10643380902871464.
- [186] G. Mawari *et al.*, « Human health risk assessment due to heavy metals in ground and surface water and association of diseases with drinking water sources: A study from Maharashtra, India », *Environ. Health Insights*, vol. 16, p. 11786302221146020, 2022.
- [187] W. He, J.-H. Lee, et J. Hur, « Anthropogenic signature of sediment organic matter probed by UV–Visible and fluorescence spectroscopy and the association with heavy metal enrichment », *Chemosphere*, vol. 150, p. 184-193, 2016.
- [188] J. Chen, H. Zhang, J. Xue, L. Yuan, W. Yao, et H. Wu, « Study on spatial distribution, potential sources and ecological risk of heavy metals in the surface water and sediments at Shanghai Port, China », *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 181, p. 113923, août 2022, doi: 10.1016/j.marpolbul.2022.113923.

- [189] S. Yang *et al.*, « Towards an integrated health risk assessment framework of soil heavy metals pollution: Theoretical basis, conceptual model, and perspectives », *Environ. Pollut.*, vol. 316, p. 120596, 2023.
- [190] M. Sinan et A. Belhouji, « Impact du changement climatique sur le climat et les ressources en eau du Maroc aux horizons 2020, 2050 et 2080 et mesures d'adaptation », *Houille Blanche*, n° 4, Art. n° 4, août 2016, doi: 10.1051/lhb/2016037.
- [191] H. Moumni, K. Sebari, et A. Hammani, « La gestion intégrée des ressources en eau et l'adaptation aux changements climatiques », *Rev. Marocaine Sci. Agron. Vét.*, vol. 7, n° 3, sept. 2019, Consulté le: 13 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://agrimaroc.org/index.php/Actes_IAPH2/article/view/765
- [192] M. Taabni et M.-D. El Jihad, « Eau et changement climatique au Maghreb : quelles stratégies d'adaptation ? », *Cah. O.-m.*, vol. 260, n° 4, p. 493-518, 2012, doi: 10.4000/com.6718.
- [193] I. Ouraich et W. E. Tyner, Éd., « Moroccan agriculture, climate change, and the Moroccan Green Plan: A CGE analysis », *Afr. J. Agric. Resour. Econ.*, 2018, doi: 10.22004/ag.econ.284990.
- [194] U. Nations, « Adaptation aux changements climatiques | Nations Unies », United Nations. Consulté le: 13 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.un.org/fr/climatechange/climate-adaptation>
- [195] « Adaptation au changement climatique : définition », Youmatter. Consulté le: 13 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://youmatter.world/fr/definitions/adaptation-changement-climatique-definition-exemples-strategie-attenuation/>
- [196] C. Hajji, A. Bendou, et M. Hassou, « GESTION DES DECHETS SOLIDES PORTUAIRES AU MAROC : ANALYSE COMPARATIVE ET RECOMMANDATIONS », *J. Water Environ. Sci.*, vol. 1, n° 1, Art. n° 1, avr. 2017.
- [197] « MANUEL DES TRAVAILLEURS ET DES TRAVAILLEUSES POUR LA PRÉVENTION DE LA POLLUTION ». Consulté le: 15 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://training.itcilo.org/actrav_cdrom2/fr/osh/pollu/main.htm
- [198] I. Touhami, Z. Nasr, et M. Amroussia, *Effet du changement climatique sur la région de Kroumirie: Les mesures d'adaptation*. 2018.
- [199] R. Mrabet et R. Moussadek, *Réduction des risques climatiques pour un développement durable Guides sur les techniques de gestion des sols pour l'adaptation aux changements climatiques au Maroc*. 2013.

- [200] A. Khattabi, A. Chriyaa, A. Hammani, et M. Brahim, *Vulnérabilités climatiques et stratégies de développement: Synthèse et recommandations stratégiques pour une prise en compte du risque « climat » dans les politiques et stratégies sectorielles*. 2014. doi: 10.13140/RG.2.1.3081.2562.
- [201] A. Saïdi, *La résilience des territoires marocains de montagne au changement climatique : Enjeux et perspectives*. 2020.
- [202] L. Oualkacha, S. Laila, et A. Agoumi, *Conception d'un outil d'aide à la décision pour l'adaptation de la gestion des ressources en eau au changement climatique à l'échelle d'un bassin versant*. 2017.
- [203] L. Aziz et W. Sadok, « Stratégies d'adaptation des producteurs du Safran de Taliouine (Maroc) face au changement climatique », *Rev. Géographie Alp.*, vol. 103-2 | 2015, sept. 2015, doi: 10.4000/rga.2820.
- [204] B. Aissam, N. Lotfi, C. Majda, et K. Said, « L'INTÉGRATION DES ENJEUX D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LES PROCESSUS DE PLANIFICATION ET D'AMENAGEMENT TERRITORIALE AU NIVEAU DE LA VILLE DE CASABLANCA (MAROC) », août 2023.
- [205] E. Scientifiques, B. Aissam, L. Nidal, K. Said, et C. Majda, « IMPACTS DES PLUIES AUTOMNALES EXTREMES SUR LA VILLE D'AGADIR: CAS DES INONDATIONS DE NOVEMBRE 2014 », août 2023.
- [206] F. E. Hassani, Y. Hattafi, et A. Lahrach, « Water Dynamics of the Sefrou Watershed, Northern Tabular Middle Atlas, Morocco », *J. Geosci. Environ. Prot.*, vol. 9, n° 9, Art. n° 9, sept. 2021, doi: 10.4236/gep.2021.99007.
- [207] C. Change, *the IPCC Scientific Assessment [First Assessment Report, Contributing Author, WGII Chapter 5]*. Cambridge university press, Cambridge, UK, 1990.
- [208] J.-P. van Ypersele de Strihou, H. Le Treut, S. Hallegatte, et J.-C. Hourcade, *Science du changement climatique : acquis et controverses*. 2004. Consulté le: 23 novembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:161628>
- [209] « Programme de Gestion et de Protection de l'Environnement avec la GIZ - MINISTERE DE LA TRANSITION ENERGETIQUE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE وزارة الانتقال الطاقى والتنمية المستدامة ». Consulté le: 16 août 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.environnement.gov.ma/fr/programme-de-gestion-et-de-protection-de-l-environnement-avec-la-giz/9-non-categorise>
- [210] Z. Bouzidi, N. Faysse, I. Mekki, I. Ferchichi, E. Hassenforder, et J.-D. Rinaudo, « Gestion durable des ressources en eau souterraine au Maroc et en Tunisie : quels apports

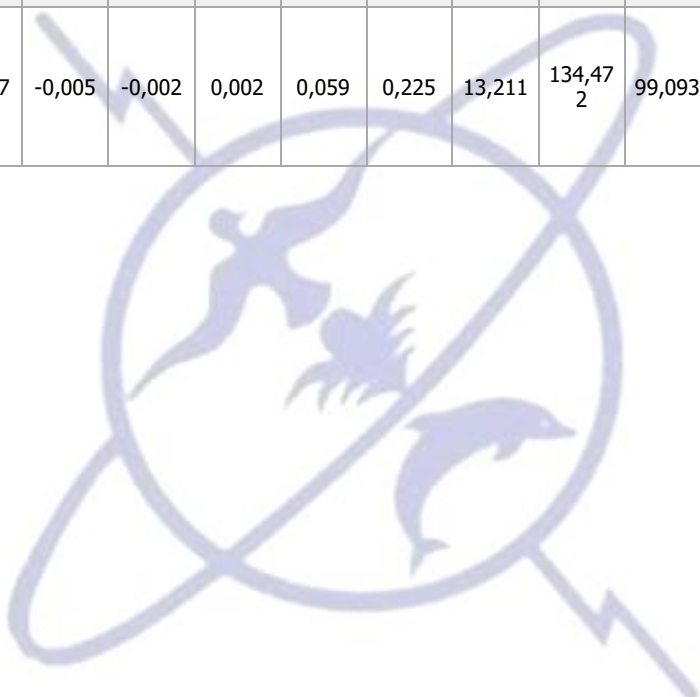
- de quelques expériences fonctionnelles pour réfléchir à des solutions locales ? », nov. 2023, doi: 10.60569/9-a8.
- [211] E.-M. Mili, « Intégration du genre dans la gestion des ressources en eau au Maroc (Nord-Ouest d'Afrique) », *20th 21st Century Fr. Francoph. Stud. Int. Colloq.*, avr. 2020, doi: 10.32873/unl.dc.ffsc.021.
- [212] A. Moumen *et al.*, *La cartographie en ligne et l'agrégation des informations sur l'eau accompagnée des indicateurs socio-économiques, pour une meilleur gestion des ressources en eau de la région Ziz-Rhris au Maroc*. 2015.
- [213] M. Sbaa et M. Vanclooster, « La gestion des ressources en eau au Maroc face aux changements climatiques, état des lieux et alternatives technologiques d'adaptation. », *Ann. Sci. Santé*, vol. 14, p. 24-53, janv. 2017.
- [214] H. E. Boukhari, « Fiscalité environnementale et financement de l'économie verte au Maroc », vol. 1, n° 1, 2022.
- [215] Y. Khardi *et al.*, « Penser la gestion de l'eau à l'échelle territoriale dans les oasis du Maroc : le cas de Ferkla », mars 2024, doi: 10.60569/hsoas-a1.
- [216] R. Dimon, « THESIS SUBMITTED TO OBTAIN THE DEGREE OF "INGENIEUR AGRONOME" OPTION: ECONOMY, SOCIO- ANTHROPOLOGY AND COMMUNICATION ».
- [217] F. Aitnouh, S. Saidi, L. Mandi, et A. Kettab, *Le dessalement des eaux au Maroc: Pour le futur et pour un développement durable du Maroc Quelles techniques ? Quels types d'énergies ?* 2014.
- [218] M. Ben-Daoud, *Apport des SIG a la gestion de la qualité des ressources hydriques dans la région de Meknès (Maroc)*. 2019.
- [219] Z. Nouaceur, *Eau et Climat en Afrique du Nord et au Moyen - Orient*. 2018.
- [220] E. Mouhsine, « N24-15-Contrôle de Gestion et Performance des Établissements publics de Santé au Maroc pistes d'implantation au niveau des Groupements Sanitaires Territoriaux (4) », juill. 2024, doi: 10.5281/zenodo.12635191.
- [221] M. Aboufirass *et al.*, *Livre blanc sur les ressources en eau au Maroc*. 2022.
- [222] A. Magnan, « Dossier « Adaptation aux changements climatiques » – Questions de recherche autour de l'adaptation au changement climatique », *Nat. Sci. Sociétés*, vol. 18, n° 3, Art. n° 3, juill. 2010, doi: 10.1051/nss/2010041.
- [223] M. El-Aziz, O. Louziri, B. T. Lee, et B. Chacha, « Article Scientifique : État des Recherches en Économie et Gestion au Maroc BADRCHACHA », nov. 2023.

- [224] R. Choukr-Allah, M. LARABI, M. Sabir, et D. Jazli, « L'APPROCHE NEXUS "AGRICULTURE-EAU- ENERGIE-ECOSYSTEMES" DANS LA GESTION DE L'EAU AU NIVEAU D'UN BASSIN VERSANT : CAS DU BASSIN HYDROGRAPHIQUE SOUSS MASSA 2 », 2021.
- [225] M. Berriane, « Le Maroc et les changements climatiques: Adaptation et résilience des sociétés ».
- [226] E. Mohammed Anouar et K. Naciri, *La planification territoriale régionale au Maroc : les plans de développement régionaux*. 2024.
- [227] A. Kettab, R. Mitiche, et N. Bennaçar, « De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies », *Rev. Sci. Eau*, vol. 21, n° 2, p. 247-256, juill. 2008, doi: 10.7202/018469ar.



Annexe 1

Sample Id	Zn 206,20 0 (mg/L)	B 208,88 9 (mg/L)	Pb 220,35 3 (mg/L)	Cd 228,80 2 (mg/L)	Ni 231,60 4 (mg/L)	Mn 257,61 0 (mg/L)	Fe 259,93 9 (mg/L)	Cr 267,71 6 (mg/L)	Cu 327,39 3 (mg/L)	Al 396,15 3 (mg/L)	Ba 455,40 3 (mg/L)	K 766,49 0 (mg/L)	Ca 317,93 3 (mg/L)	Mg 285,21 3 (mg/L)	Na 589,59 2 (mg/L)
Ech 1 Stag	-0,030	-0,008	-0,004	-0,001	-0,005	-0,019	-0,031	-0,003	0,010	-0,001	0,000	-0,017	-5,535	-0,219	-0,132
Ech 2 Stag	0,127	0,687	0,001	0,000	0,000	0,100	0,024	-0,002	0,002	0,066	0,221	46,368	152,83 5	159,18 1	461,96 4
Ech 3 Stag	0,033	0,574	-0,003	0,000	-0,001	0,028	-0,011	-0,002	0,001	0,053	0,143	33,941	148,91 9	153,14 3	417,09 6
Ech 4 Stag	0,070	0,304	0,000	0,000	-0,003	-0,007	-0,005	-0,002	0,002	0,059	0,225	13,211	134,47 2	99,093	234,75 1





Annexe 2

Date	point de prélèvement	T air °C	T eau °C	PH	Cond µs/cm	DBO5 mg/l	DCO mg/l	MES mg/l	TH meq/l	Ca 2+ meq/l	Mg2+ mg/l	Cl- mg/l	TAC meq/l	SO m
30/02/2021	M1	29,0	26,0	8,31	3270	105	182	192	19,20	280,00	63,23	117,15	9,50	340
	M2	29,0	25,5	7,87	4300	85	106	464	22,00	360,00	48,64	181,05	11,50	667
	M3	29,0	25,5	7,85	2100	105	0	52	13,60	120,00	92,42	102,95	2,00	303
	M4	29,0	25,5	7,98	2540	115	0	264	17,12	73,60	163,43	122,50	4,50	411
03\2021	M1	19,0	21,0	8,05	3150	115	248	264	19,00	232,00	89,98	99,40	10,00	295
	M2	19,0	21,5	7,97	4000	65	115	144	23,00	200,00	121,60	177,50	12,50	702
	M3	19,0	21,5	8,24	3990	25	99	0	10,80	236,80	57,40	525,40	11,80	722
	M4	19,0	21,5	7,98	2140	20	45	0	10,60	153,60	53,50	340,80	4,50	479
04\2021	M1	19,0	21,5	7,98	3190	115	248	246	19,00	200,00	109,44	117,15	8,00	322
	M2	19,0	21,0	7,97	4000	65	115	144	22,00	320,00	72,96	149,10	8,50	533
	M3	19,0	20,5	8,24	3990	25	99	0	19,60	148,80	147,78	465,05	7,40	548
	M3	19,0	20,5	7,98	2140	20	45	0	16,32	224,00	62,26	244,95	5,00	363
27/05/2021	M1	24,0	17,5	8,06	3130	150	343	152	17,20	440,00	133,76	113,60	12,00	242
	M2	30,0	17,0	8,08	3910	140	246	220	18,60	260,00	68,10	142,00	15,00	408
	M3	30,0	17,0	7,77	2660	20	188	56	18,00	240,00	72,96	276,90	7,00	402
	M4	30,0	17,0	8,15	2330	25	46	148	16,80	160,00	107,01	298,20	5,50	462
30/06/2021	M1	24,0	17,5	8,06	3130	210	422	240	19,20	440,00	34,04	106,50	16,00	300
	M2	24,0	18,0	8,09	4010	55	321	172	21,00	348,00	43,78	145,55	12,80	463
	M3	24,0	17,5	8,01	2720	5	140	0	21,12	172,80	151,75	344,25	10,00	443
	M4	24,0	17,5	8,15	2150	15	133	80	15,52	144,00	101,17	202,35	5,50	315
25/07/2021	M1	23,5	22,0	8,24	3420	185	449	212	19,00	360,00	12,16	131,35	19,00	270
	M2	23,5	23,5	8,01	4830	125	452	60	25,00	500,00	36,48	195,25	16,00	550

	M3	23,5	23,4	8,10	3410	15	108	64	20,80	230,40	112,84	426,00	9,00	390
	M4	23,5	23,4	7,91	2440	20	205	252	15,20	168,00	82,63	397,60	6,00	315
30/08/2021	M1	32,0	25,0	8,26	2340	135	313	264	20,00	240,00	97,28	124,25	18,50	335
	M2	32,0	23,0	8,19	4650	110	247	144	24,00	180,00	182,40	177,50	13,00	534
	M3	29,0	22,5	8,37	3500	80	208	92	21,60	166,40	161,48	401,15	10,50	440
	M4	29,0	22,5	8,20	2400	90	151	88	16,00	169,60	91,44	241,40	6,00	589
18/09/2021	M1	22,0	22,0	8,04	4130	236	336	108	21,20	176,00	150,78	142,00	10,50	380
	M2	22,0	23,5	8,20	4500	90	281	20	26,00	272,00	150,78	170,40	12,00	698
	M3	20,0	23,5	8,13	3620	55	131	32	27,20	115,20	260,71	539,60	11,00	630
	M4	20,0	24,5	8,22	3400	5	109	20	20,00	136,00	160,51	404,70	7,50	507
29/10/2021	M1	33,0	24,5	8,12	3480	170	439	184	21,00	380,00	24,32	120,70	17,30	353
	M2	31,0	25,5	8,14	4460	155	310	132	28,00	404,00	94,85	188,15	15,00	640
	M3	29,0	24,5	8,24	4060	90	226	64	25,20	171,20	202,34	457,95	11,80	603
	M4	29,0	24,0	8,10	2550	100	205	56	17,20	188,80	94,36	280,45	5,00	380
26/11/2021	M1	25,0	21,5	8,08	3280	150	232	216	19,60	336,00	34,05	138,45	8,20	400
	M2	25,0	21,0	8,16	4630	60	220	255	25,20	440,00	38,91	184,60	11,00	690
	M3	24,0	21,5	8,18	3480	145	175	64	17,60	105,60	12,32	394,05	5,90	543
	M4	24,0	21,5	8,04	2320	Plus 250	155	82	15,60	137,60	8,72	142,00	4,00	433
27/12/2021	M1	24,0	23,0	7,97	3300	130	547	160	18,80	360,00	9,73	113,60	17,50	327
	M2	24,0	22,0	8,02	3940	90	510	220	21,00	416,00	2,43	154,65	15,50	517
	M3	24,0	21,5	8,21	3100	0	225	12	16,80	216,00	72,96	291,10	6,50	562
	M4	23,0	23,0	8,34	2570	5	219	76	14,96	136,00	99,22	276,90	5,50	492
17/01/2022	M1	21,0	17,0	8,24	2550	125	683	268	18,60	344,00	17,02	106,50	19,00	320
	M2	21,0	17,5	8,27	2890	225	281	204	23,20	456,00	4,86	166,85	13,00	480
	M3	21,0	17,0	8,16	3450	10	216	100	21,44	220,80	126,46	365,65	10,50	500
	M4	21,0	20,5	8,31	2770	25	208	52	17	171	97,28	273,35	6,40	397

Annexe 3

Sample Id	R	Acquisition Time	QC Status	Dataset File	Method File	Zn 206,200 (mg/L)	B 208,889 (mg/L)	Pb 220,353 (mg/L)	Cd 228,802 (mg/L)	Mn 257,610 (mg/L)	Cu 327,393 (mg/L)	Al 396,153 (mg/L)	Ba 455,403 (mg/L)	K 766 (mg/L)
1		20/09/2022 18:34:20		méthode T3P	méthodeT3P modifié	0,138	0,653	-0,002	0,000	0,063	0,000	0,025	0,270	43,310
2		20/09/2022 18:38:49		méthode T3P	méthodeT3P modifié	0,098	0,804	-0,006	0,000	0,101	0,000	0,030	0,242	52,252
3		20/09/2022 18:43:23		méthode T3P	méthodeT3P modifié	0,048	0,398	-0,005	0,000	0,065	-0,001	0,089	0,230	20,359
4		20/09/2022 18:47:52		méthode T3P	méthodeT3P modifié	0,033	0,633	-0,006	0,000	0,029	0,000	0,070	0,102	37,889

