

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département Hydraulique

Mémoire de projet de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en Hydraulique

**Evaluation de la qualité des eaux du barrage KEF EDDIR -
Tipaza en utilisant des indices de qualité de l'eau**

EL HAFFAF Nour El Houda

Sous la direction de **Pr. ARRAR Jazia & Mr. BORDJIHENE Fahim**

Présenté et soutenu publiquement le (30/06/2025)

Composition du jury :

Présidente :	Pr. BENMAMAR Saadia	ENP
Examineurs :	Mr. BENZIADA Salim & Dr. TCHEKIKEN Chahinez	ENP
Promoteurs :	Pr. ARRAR Jazia & Mr. BORDJIHENE Fahim	ENP

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département Hydraulique

Mémoire de projet de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en Hydraulique

**Evaluation de la qualité des eaux du barrage KEF EDDIR -
Tipaza en utilisant des indices de qualité de l'eau**

EL HAFFAF Nour El Houda

Sous la direction de **Pr. ARRAR Jazia & Mr. BORDJIHENE Fahim**

Présenté et soutenu publiquement le (30/06/2025)

Composition du jury :

Présidente :	Pr. BENMAMAR Saadia	ENP
Examineurs :	Mr. BENZIADA Salim & Dr. TCHEKIKEN Chahinez	ENP
Promoteurs :	Pr. ARRAR Jazia & Mr. BORDJIHENE Fahim	ENP

ENP 2025

ملخص:

الدراسة الحالية عبارة عن تقييم جودة المياه في سد كف الدير، الواقع في بلدية داموس (ولاية تيبازة)، باستخدام نهج قائم على التحليل الفيزيائي والكيميائي للمياه السطحية. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو وصف حالة المياه بناءً على مجموعة من المعايير التي تم قياسها في ثماني محطات لأخذ عينات موزعة على كامل المسطح المائي. ولتلخيص النتائج، استُخدمت أداتان متكاملتان : المقارنة مع معايير منظمة الصحة العالمية وحساب مؤشرات جودة المياه : مؤشر جودة المياه الكندي ومؤشر جودة المياه هورتون. تشير النتائج المتحصل عليها إلى جودة تتراوح بين جيدة ومتوسطة باستخدام المؤشر الكندي ، ومتوسطة إلى رديئة باستخدام مؤشر هورتون. الكلمات المفتاحية : سد كف الدر - المياه السطحية - جودة المياه - المؤشر الكندي - هورتون - مؤشر الجودة.

Abstract :

The current study is part of the water quality assessment of the Kef Eddir dam, located in the commune of Damous (wilaya of Tipaza), using an approach based on the physicochemical analysis of surface water. The main objective of this work is to characterize the water condition based on a set of parameters measured at eight sampling stations spread across the entire body of water. To summarize the results, two complementary tools were used : comparison with OMS standards and the calculation of water quality index : the Canadian Water Quality Index (CCME WQI) and the Horton Water Quality Index. The results obtained indicate good to average quality using the CCME WQI, and average to poor quality using the Horton WQI.

Keywords : Kef Eddir Dam – Surface Water – Water Quality – CCME – Horton – Quality Index.

Résumé :

L'étude actuelle s'inscrit dans le cadre de l'évaluation de la qualité des eaux du barrage de Kef Eddir, situé dans la commune de Damous (wilaya de Tipaza), à travers une approche fondée sur l'analyse physico-chimique des eaux de surface. Ce travail a pour objectif principal de caractériser l'état de l'eau à partir d'un ensemble de paramètres mesurés sur huit stations de prélèvement réparties sur l'ensemble du plan d'eau. Afin de synthétiser les résultats, deux outils complémentaires ont été mobilisés, la comparaison aux normes de l'OMS et le calcul des indices de qualité de l'eau : l'indice canadien (IQE CCME) et l'indice d'Horton.

Les résultats obtenus montrent une qualité bonne à moyenne avec l'IQE-CCME, et une qualité moyenne à mauvaise avec l'IQE-Horton.

Mots-clés : Barrage Kef Eddir – Eaux de surface – Qualité de l'eau – CCME – Horton - Indice de qualité.

Dédicace

Ce travail est dédié à :

À moi-même, qui ai toujours cru en mes rêves, en mes capacités, même dans les moments de doute. Et qui n'ai jamais baissé les bras, même quand la fatigue, la peur ou les obstacles semblaient insurmontables.

À mes parents, ma lumière dans les moments sombres, ma force, mon réconfort.

À mes sœurs Wissem & Nesrin et mon frère Abdessalam.

À toute ma famille, du grand au petit.

À toutes mes amies et mes proches.

Remerciements

Avant toute chose, je remercie mon Dieu, qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance tout au long de mon parcours.

Je remercie du fond du cœur mes parents pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices silencieux, leur soutien moral et leur présence constante dans les moments de doute comme dans les moments de réussite.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers mes encadrants, à **Pr. Arrar Jazia** pour son accompagnement précieux, son aide et ses conseils tout au long de ce projet. Une reconnaissance particulière va à **Mr. Bordjihene Fahim** pour son encadrement attentif, sa disponibilité constante et les efforts qu'il a déployés pour m'orienter et m'encourager à donner le meilleur de moi-même.

Je tiens également à remercier les enseignants et enseignantes qui m'ont soutenu(e) à différents niveaux, que ce soit par leurs conseils, leur expertise ou leur bienveillance.

Enfin, je tiens à me remercier pour avoir cru en mes capacités quand le doute s'installait, pour avoir travaillé tard quand la fatigue prenait le dessus, pour chaque pas accompli avec détermination et passion.

Merci infiniment.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

11

0.1 INTRODUCTION	12
----------------------------	----

chapitre 1: Généralités	14
--------------------------------	-----------

1.1 Introduction	14
----------------------------	----

1.2 Généralités sur les eaux de surface	14
---	----

1.2.1 Eaux de surfaces continentales selon leur dynamique	14
---	----

1.3 Les besoins en eau	15
----------------------------------	----

1.3.1 Les besoins en eau de la population	15
---	----

1.3.2 Les besoins en eau de l'Agriculture	15
---	----

1.3.3 Les besoins en eau de l'Industrie	15
---	----

1.4 Pollution des eaux de surface	15
---	----

1.4.1 Sources de la pollution des eaux	15
--	----

1.4.2 Types de pollution	16
------------------------------------	----

1.5 La qualité des eaux de surfaces	16
---	----

1.6 Les paramètres de la qualité des eaux de surface	17
--	----

1.6.1 Les paramètres organoleptiques	17
--	----

1.6.2 Paramètres physico-chimiques	17
--	----

1.6.3 Paramètres relatifs à la pollution	20
--	----

1.7 Systèmes d'évaluation de la qualité des eaux	21
--	----

1.7.1 Classification des eaux de surface selon les paramètres physico-chimiques, métalliques et microbiologiques	21
---	----

1.7.2 Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau)	23
---	----

1.8 Indice de la qualité des eaux de surface	27
--	----

1.8.1 Fondation nationale pour l'assainissement WQI (NSF-WQI)	28
---	----

1.8.2 Indice de qualité de l'eau de l'Oregon (d'OWQI)	29
---	----

1.8.3 Index du Département écossais de développement de la recherche (SRDD)	29
---	----

1.8.4 L'indice de Horton	30
------------------------------------	----

1.8.5	Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) IQE :	32
1.9	Utilisation mondiale des indices de qualité de l'eau (WQI) et principaux modèles appliqués :	34
1.10	Conclusion	35
chapitre 2: Présentation de la zone d'étude		36
2.1	Présentation géographique du site de barrage	36
2.2	Description du Barrage de Kef-Eddir	37
2.3	Les ouvrages annexes du barrage	38
2.3.1	La digue	38
2.3.2	L'évacuateur des crues	38
2.3.3	La tour de prise	38
2.3.4	Galerie provisoire & vidange de fond	39
2.3.5	Galerie d'injection et de drainage	39
2.4	Caractéristiques du bassin versant	39
2.4.1	Caractéristiques de forme	40
2.4.2	Caractéristiques climatologiques	42
2.4.3	Caractéristiques hydrogéologiques	47
2.4.4	Caractéristiques biologiques	48
2.5	Conclusion	49
chapitre 3: Méthodes et matériels		50
3.1	Méthodologie du travail	50
3.2	Prélèvements	50
3.2.1	Choix du site de prélèvement	50
3.2.2	Sortie pour le prélèvement	52
3.2.3	Conservation des échantillons	52
3.3	Mesures et analyses	53
3.3.1	Mesures in-situ	53
3.3.2	Les analyses au laboratoire	56
3.4	Conclusion	60
chapitre 4: Résultats et discussions		61
4.1	Interprétation des résultats des paramètres physique-chimiques	62
4.1.1	Température de l'eau	63
4.1.2	PH	64
4.1.3	Oxygène dissous	65
4.1.4	La conductivité	66
4.1.5	La turbidité	67
4.1.6	Taux des sels dissous (TDS)	68
4.1.7	Matieres en suspension (MES)	69
4.1.8	Matières organiques (MO)	70

4.1.9	Nitrites NO_2^-	71
4.1.10	Nitrates NO_3^-	72
4.1.11	Ammonium NH_4^+	73
4.1.12	Sulfates SO_4^{2-}	74
4.1.13	Phosphates PO_4^{3-}	74
4.2	Évaluation de la qualité des eaux du barrage à l'aide des indices l'IQE	75
4.2.1	Évaluation par l'indice de qualité de l'eau du CCME	76
4.2.2	Evaluation globale de l'eau du barrage avec l'indice CCME	79
4.2.3	Évaluation par l'indice de qualité de l'eau de Horton	79
4.2.4	Les poids des paramètres	79
4.2.5	Calcul des sous-indices d'Horton	79
4.3	Évaluation temporelle de l'eau du barrage	82
4.3.1	Indice CCME	83
4.3.2	Indice d'Horton	85
4.3.3	Comparaison entre les résultats des station S1 et S2 avec ceux du laboratoire du barrage	86
4.4	Comparaison entre les deux indices de qualité de l'eau	86
4.5	Classification des eaux du barrage Kef Eddir	88
4.6	Discussion des résultats finales	88
4.7	Recommandations pour suivre la qualité des eaux du barrage	90
4.8	Conclusion	90
	Conclusion générale	91
	BIBLIOGRAPHIE	92

Liste des figures

1.1	La structure générale des modèles WQI (Abbasi, 2012)	28
2.1	Localisation de la commune de Damous	36
2.2	Localisation du barrage Kef Eddir (Google Earth, 2025)	37
2.3	Bassin versant d'oued Damous (ANBT, 2016)	40
2.4	Graphe de l'évolution mensuelle de la température de la commune de Damous	43
2.5	Précipitations total sur le mois	44
2.6	Graphe de l'évolution mensuelle de l'évaporation	45
2.7	Graphe de taux d'humidité mensuel	46
2.8	Schéma explicatif de la perméabilité du site du barrage	47
3.1	Vues satellitaires des stations de prélèvement	51
3.2	Sortie sur site (barrage) le 11-05-2025	52
3.3	Multi-paramètre (LRS-Eau)	53
3.4	La sonde du multiparametres	54
3.5	Les mesures in-situ	55
3.6	Les mesures au laboratoire	56
3.7	Système de filtration	59
4.1	Variation de la température des eaux étudiés pour les 8 stations de prélèvement	63
4.2	Variation du PH pour les 8 stations de prélèvement	64
4.3	Variation d'oxygène dissous pour les 8 stations de prélèvement	65
4.4	Variation de la conductivité pour les 8 stations de prélèvement	66
4.5	Variation de la turbidité pour les 8 stations de prélèvement	67
4.6	Variation du taux des sels dissous des eaux des 8 stations de prélèvement	68
4.7	Variation de la concentration des MES des eaux des 8 stations de prélèvement	69
4.8	Variation de la concentration de la matiere organique des eaux des 8 stations de prélèvement	70
4.9	Variation de la concentration des nitrites des eaux des 8 stations de prélèvement	71
4.10	Variation de la concentration des nitrates des eaux des 8 stations de prélèvement	72
4.11	Variation de la concentration de l'ammonium des eaux des 8 stations de prélèvement	73

4.12	Variation de la concentration des sulfates des eaux des 8 stations de prélèvement . . .	74
4.13	Variation de la concentration des phosphates des eaux des 8 stations de prélèvement .	75
4.14	Les classes de qualité de l'eau pour chaque station de prélèvement	78
4.15	Variation de l'indice d'Horton pour toutes les stations de prélèvement	82
4.16	Variation des valeurs de l'indice de qualité de l'eau CCME pour différentes dates . . .	84
4.17	Variation des valeurs de l'indice d'Horton pour différentes dates	85
4.18	Résultats finaux obtenus par les deux indices de qualité de l'eau	89

Liste des tableaux

1.1	Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique (Ayad, 2017)	19
1.2	Relation entre dureté de l'eau et concentration équivalente en CaCO_3 (Ayad, 2017) . .	19
1.3	Classification des eaux de surface selon les paramètres physico-chimiques, métalliques et microbiologiques (OPU-PC1 (ENP), 2025).	22
1.4	Classes d'amplitude à la biologie selon l'indice (MEDD & Agence de l'eau, 2003)	24
1.5	Classes d'aptitude aux usages et fonctions.	25
1.6	Grille de la qualité des eaux superficielles	27
1.7	Les cinq catégories de qualité de l'eau suggérées par le modèle NSF-WQI	29
1.8	Classification en sept catégories pour déterminer la qualité de l'eau suggérées par le modèle SRDD (Md. Gala et al, 2021)	30
1.9	Les cinq classes de qualité de l'eau d'IQE d'Horton	32
1.10	Les catégories de qualité de l'eau du modèle du CCME	34
1.11	Des applications du modèle WQI (par zone d'étude) trouvées dans la littérature publiée de 1960 à 2019.	35
2.1	Répartition des température moyennes mensuelles de la commune de Damous (Planificateur, 2025)	42
2.2	La répartition mensuelle des pluies & le risque de précipitation (Planificateur, 2025) . .	43
2.3	Répartition de l'évaporation mensuel de la commune de Damous (Hamida, 2016)	44
2.4	La répartition mensuelle des taux d'humidité relative (Planificateur, 2025)	46
3.1	La position de chaque lieu de prélèvement (source : Google Earth)	51
4.1	Résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux du Barrage Kef Eddir - Tipaza	62
4.2	Résultats de calcul de l'indice de qualité de l'eau pour chaque station de prélèvement .	77
4.3	Les classes de qualité de l'eau pour chaque station de prélèvement	78
4.4	Résultats de calcul de l'indice de qualité de l'eau global	79
4.5	Poids et sous-indices des paramètres de qualité de l'eau pour les stations S1 à S8	80
4.6	Valeurs d'IQE selon la méthode de Horton et la classification de qualité par station . .	81
4.7	Résultats de calcul de l'indice de qualité de l'eau global	83

4.8	Les classes de qualité de l'eau pour les différentes dates selon IQE CCME	84
4.9	Évolution du WQI d'Horton selon les dates d'analyse	85
4.10	Les poids positifs des paramètres dans le calcul du WQI selon la régression	87
4.11	Classification des eaux du barrage Kef Eddir	88

Liste des abréviations

°F : Degrés français

μS : Micro siemens

ANBT : Agence nationale des barrages et transfères

ANRH : Agence nationale des ressources hydriques

CCME : Conseil canadien des ministres de l'environnement

CE : Conductivité électrique

DBO : Demande biologique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

IQE : Indice de la qualité de l'eau

MES : Matières en suspension

MO : Matières organiques

NH₄⁺ : Ammonium

NO₂⁻ : Nitrites

NO₃⁻ : Nitrates

NSF : Fondation nationale pour l'assainissement

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

OD : Oxygène dissous

OMS : Organisation mondiale de la santé

PH : Potentiel Hydrogène

PHE : Niveau maximum de la retenue du barrage

PO₄³⁻ : Phosphates

S : Station de prélèvement

SEQ-Eau : Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau

SO₄²⁻ : Sulfates

STEP : Station d'épuration des eaux usées

TDS : Taux des sels dissous

TH : Titre hydrométrique

WQI : Water quality index

0.1 INTRODUCTION

L'eau constitue une ressource naturelle vitale pour la vie, la santé publique, le progrès économique et la stabilité de l'environnement. Sa disponibilité et sa qualité sont essentielles pour le bon équilibre des écosystèmes, le bon fonctionnement des activités agricoles, industrielles et domestiques, ainsi que la sécurité alimentaire et sanitaire des populations.

Toutefois, bien que les ressources en eau douce soient "renouvelables", elles font face à une pression croissante due à l'urbanisation croissante, l'intensification des activités agricoles et industrielles, et les effets du changement climatique. Cette pression se manifeste par une dégradation constante de la qualité des eaux de surface et souterraines, posant un défi majeur pour de nombreux pays, surtout dans les zones semi-arides comme le nord de l'Algérie.

Dans ce cadre, la surveillance et l'évaluation de la qualité des eaux continentales deviennent essentielles, notamment pour garantir une utilisation sûre de cette ressource, que ce soit pour la consommation humaine, l'irrigation ou la préservation de la biodiversité aquatique. Les barrages, en tant qu'infrastructures cruciales pour le stockage et la régulation de l'eau, constituent des systèmes vulnérables, capables d'accumuler des polluants provenant du ruissellement, ainsi que des rejets agricoles, urbains ou industriels. Par conséquent, leur surveillance doit être effectuée de manière régulière, rigoureuse et basée sur des indicateurs fiables.

Ce travail s'inscrit dans cette démarche de surveillance environnementale, visant à évaluer la qualité physico-chimique de l'eau du barrage de Kef Eddir, situé dans la commune de Damous, wilaya de Tipaza. Ce barrage est d'une importance cruciale pour la région, car il assure l'approvisionnement en eau potable de plusieurs localités, soutient l'agriculture irriguée et contribue à la prévention contre les inondations. Cependant, son bassin versant est soumis à diverses formes de pollution, notamment issues de l'agriculture intensive, des rejets domestiques non traités et des activités humaines en général.

Pour aborder la question de la qualité de l'eau dans ce barrage, deux approches complémentaires ont été mises en œuvre :

- Une comparaison des résultats obtenus avec les normes de qualité de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), permettant d'identifier les paramètres dépassant les seuils recommandés et d'évaluer la conformité de l'eau par rapport aux usages potentiels, notamment pour la consommation humaine.
- Le calcul des indices de qualité de l'eau (Water Quality Index – WQI), une méthode intégrative qui condense plusieurs paramètres en une valeur numérique unique, permettant de classer les échantillons selon des catégories de qualité (excellente, bonne, moyenne, médiocre, mauvaise) et d'offrir une vision globale de l'état de l'eau. Or dans la présente évaluation on a travaillé avec l'indice CCME qui est l'indice de la qualité des eaux élaboré par le conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME)

offre un moyen d'évaluer la qualité de l'eau de surface en se basant sur des critères spécifiques (CCME, 2001), et l'indice d'Horton qui est un outil simple permettant d'évaluer la qualité globale d'une eau à partir de plusieurs paramètres physico-chimiques.

La méthodologie choisie repose sur une campagne de prélèvement réalisée à huit stations réparties sur l'ensemble du plan d'eau, avec des échantillons collectés à différentes profondeurs. Les analyses physico-chimiques ont été effectuées en partie dans le laboratoire de la station de traitement de Kef Eddir, le jour même du prélèvement, tandis que les tests complémentaires ont été réalisés ultérieurement au Centre de Recherche de Bousmail (Tipaza), après une conservation appropriée des échantillons.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres :

- Le premier chapitre : expose des généralités sur les eaux de surface ainsi que le cadre général de l'étude en décrivant les méthodes d'évaluation
 - Le second chapitre : expose la description du site, de ses caractéristiques géographiques, hydrologiques et environnementales.
 - Dans le troisième chapitre est présentée la méthodologie de prélèvement, de mesure et d'analyse des paramètres étudiés.
 - Le quatrième chapitre présente les résultats obtenus, analysés selon les deux approches méthodologiques.
- Enfin, une conclusion générale reprend les principaux constats et propose des recommandations concrètes pour améliorer la gestion de la ressource.

À travers cette étude, nous visons à apporter une contribution significative à la compréhension de l'état de qualité de l'eau du barrage de Kef Eddir, soulignant l'importance d'une approche croisée combinant normes de référence et indices synthétiques dans l'évaluation environnementale des eaux de surface.

Chapitre 1

Généralités

1.1 Introduction

L'eau est essentielle à la vie et à la croissance des communautés humaines. Les eaux de surface sont particulièrement importantes pour l'approvisionnement en eau potable, l'agriculture, l'industrie et la conservation des écosystèmes.

Cependant, son état est constamment menacé par diverses sources de pollution, ce qui nécessite la mise en œuvre d'évaluation continue avant toute exploitation.

1.2 Généralités sur les eaux de surface

Les eaux de surfaces, également appelées eaux superficielles sont toutes les eaux ouvertes sur l'atmosphère, dans les milieux naturels ou artificiels. (Larbi, 2004).

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou bien courantes qui ont un débit variable ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer (Ayad, 2017).

Nous nous intéresserons en particulier aux eaux continentales superficielles.

1.2.1 Eaux de surfaces continentales selon leur dynamique

On peut catégoriser les eaux de surface selon leur dynamique, c'est-à-dire le mode de leur mouvement. On fait principalement la distinction entre les eaux courantes et les eaux stagnantes.

1. Eaux courantes

Les eaux courantes, toujours en mouvement sous l'influence de la gravité, présentent un débit qui fluctue en fonction de la saison, de la topographie et des conditions climatiques, y compris les fleuves, les rivières, et les ruisseaux.

2. Eaux stagnantes

Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs, lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échanges eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé (Boeglin, 1983).

1.3 Les besoins en eau

1.3.1 Les besoins en eau de la population

La structure de la population est évaluée en tenant compte de différents facteurs physiques, techniques (technologie des dispositifs hydrauliques) ainsi que socio-économiques liés à la méthode de gestion et aux habitudes des consommateurs.

1.3.2 Les besoins en eau de l'Agriculture

Les exigences en matière d'eau pour l'agriculture sont très variables selon leur utilisation, que ce soit pour l'irrigation et/ou l'élevage.

Pour ce qui est de sa consommation, bien qu'elle soit moins significative que celle liée à l'irrigation, elle représente tout de même une demande qui doit être reflétée dans les bilans de planification.

La qualité requise est également comparable à celle exigée pour les besoins humains.

1.3.3 Les besoins en eau de l'Industrie

Il est compliqué d'évaluer les besoins en eau de l'industrie, car ils varient selon son type et la capacité de production et suivant que l'eau est un facteur de procédé ou de production

1.4 Pollution des eaux de surface

La contamination de l'eau se manifeste par la présence de micro-organismes, de composés chimiques ou de déchets provenant de l'industrie, l'agriculture, ...

1.4.1 Sources de la pollution des eaux

Cette pollution peut provenir de plusieurs sources :

1. **La pollution provenant de l'industrie** Cela inclut les rejets de substances à caractère chimique, organique et industriel, tels que les hydrocarbures, ainsi que les eaux usées rejetées par les usines.

2. La pollution agricole

incluant les déchets animaux, ainsi que les produits phytosanitaires / pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) et les fertilisants employés en agriculture (Gaujous, 1985).

Ils s'infiltrant dans le sol jusqu'à toucher les nappes phréatiques, ou ils coulent vers les eaux superficielles.

3. La pollution domestique

comprenant les eaux résiduaires issues des toilettes, les produits d'entretien (détergents, nettoyants), solvants, huiles usées, ...

4. La contamination accidentelle

lorsqu'il y a une décharge non intentionnelle de substances toxiques dans l'environnement naturel, entraînant une perturbation de l'écosystème.

1.4.2 Types de pollution

1. Pollution physique

La pollution physique est due à des substances comme le sable, le limon, l'argile ou la matière végétale, les matières en suspension et même les matières radioactives. La pollution physique a un impact sur l'eau en termes de couleur, d'odeur ou de saveur.

2. Pollution chimique

La contamination chimique de l'eau est aujourd'hui une question majeure de santé publique, qui se manifeste sous différentes formes. Elle comprend notamment la pollution organique, composée de substances biodégradables d'origine urbaine ou industrielle, qui altèrent la qualité de l'eau en consommant l'oxygène dissous ou non biodégradables, et la pollution non organique (Kourchi, 2010).

3. Pollution microbienne

C'est une pollution causée par les activités humaines et animales, générée par les rejets urbains. L'existence de germes pathogènes peut provoquer des maladies infectieuses (comme la fièvre typhoïde et le choléra) lorsque l'eau qui les transporte est ingérée ou en contact avec d'autres surfaces (Loumi & Yefsah, 2010).

1.5 La qualité des eaux de surfaces

L'eau de surface constitue l'une des principales sources d'eau potable. Il arrive que ces eaux soient non potables en raison de la contamination causée par certaines pratiques urbaines, industrielles et agricoles.

Effectivement, la provenance des eaux de surface joue un rôle déterminant dans leur qualité qui peut varier considérablement. Elles sont naturellement riches en matières en suspension et en matières organiques naturelles, acides faiblement minéralisés. Toutefois, elles sont sensibles à la pollution ; car leur qualité fluctue selon les régions, les saisons, et l'intensité des secteurs d'activité. Au-delà d'un certain

seuil de pollution, le pouvoir d'autoépuration du cours d'eau n'est pas suffisant pour stabiliser la pollution et rétablir l'équilibre (Larbi, 2004).

Il est vital de disposer de ressources en eau d'excellente qualité, non seulement pour assurer la bonne santé de l'espèce humaine et préserver les écosystèmes, mais également pour bénéficier d'avantages sur les plans récréatif, visuel et autres (OECD, 2012).

1.6 Les paramètres de la qualité des eaux de surface

1.6.1 Les paramètres organoleptiques

1. La couleur

Un paramètre qui reflète une nuisance d'ordre esthétique, la coloration des eaux peut résulter de causes naturelles (comme la présence de fer et de manganèse dans les eaux profondes ou de substances humiques dans les eaux de surface).

On dit qu'une coloration d'eau est vraie ou réelle lorsqu'elle est attribuable uniquement aux substances dissoutes. On dit qu'elle est apparente lorsque les substances en suspension y ajoutent leur propre couleur (Lefevre, 1991).

2. Odeur

L'ensemble des impressions olfactives captées par l'organe du nez lorsqu'il détecte certaines substances volatiles. (Rodier, 2005).

Elles sont principalement issues de la décomposition des composés contenant de l'azote ou du soufre, mercaptans, ... Cependant, la molécule qui représente généralement le plus grand défi est l'hydrogène sulfuré (H_2S).

3. Goût

L'ensemble des impressions gustatives, olfactives et de sensibilité chimique partagée perçue par l'appareil gustatif lorsqu'il est en contact avec l'eau évaluée (Imken, 2015).

1.6.2 Paramètres physico-chimiques

Ils comprennent tout ce qui concerne la structure naturelle de l'eau et définissent des limites maximales pour divers éléments.

1. Température

La température influence fortement la solubilité des sels et des gaz dans l'eau. Elle agit également sur la vitesse des réactions chimiques et biochimiques.

Pour une bonne qualité de l'eau, la température idéale se situe généralement entre 10°C et 25°C.

2. Turbidité

Il s'agit d'un paramètre qui fluctue selon les composants colloïdaux (argile, débris rocheux, micro-organismes, ...) ou les acides humiques (décomposition de la végétation), mais également à cause de contaminations qui rendent l'eau trouble.

3. Le potentiel hydrogène pH

Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique, il n'a pas de signification hygiénique, mais il présente une notion très importante pour la détermination de l'agressivité de l'eau, l'optimum est situé entre 6,5 et 8,5.

Les valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et la survie des micro-organismes aquatiques

4. Oxygène dissous (O_2)

L'oxygène dissous provient essentiellement de l'atmosphère et de la photosynthèse réalisée par les algues et les végétaux aquatiques. Sa concentration varie au quotidien et selon les saisons, car elle est influencée par plusieurs facteurs tels que la pression atmosphérique, la température de l'eau, la salinité, le mouvement de l'air.

De plus, ces concentrations sont aussi liées à l'activité des micro-organismes et à la vitesse à laquelle l'oxygène environnant est consommé par les processus d'oxydation et de décomposition des matières organiques présentes dans l'eau (Rodier, 2009).

Une faible teneur en oxygène dissous est synonyme d'une forte charge polluante ou d'une température élevée de l'eau (Rodier, 2009).

5. La conductivité électrique

La conductivité représente la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, ce qui reflète indirectement sa teneur en ions dissous, notamment les sels minéraux (Myrand, 2008).

Elle s'accroît en fonction de la température et de la teneur en sels dissous.

Les cas où la conductivité dépasse $2000 \mu S/cm$ sont considérés comme idiosyncrasiques ou anormaux, alors que les conductivités de l'eau supérieures à $1500 \mu S/cm$ rendent son utilisation compliquée dans le cas de l'irrigation (Bara, 2016).

A titre d'exemple, le tableau 1.1 illustre une corrélation entre la conductivité électrique et le degré de minéralisation indiqué

TABLEAU 1.1 – Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique (Ayad, 2017)

Conductivité électrique	Degré de minéralisation
$C.E < 100 \mu S/cm$	Minéralisation très faible
$100 < C.E < 200 \mu S/cm$	Minéralisation faible
$200 < C.E < 333 \mu S/cm$	Minéralisation moyenne
$333 < C.E < 666 \mu S/cm$	Minéralisation moyenne accentuée
$666 < C.E \leq 1000 \mu S/cm$	Minéralisation importante
$C.E > 1000 \mu S/cm$	Minéralisation élevée

6. La dureté

La dureté, également connue sous le nom de titre hydrotimétrique (TH), elle se réfère à la concentration en calcium et magnésium dans l'eau.

Une eau est qualifiée de dure si son TH dépasse 15°F. Par ailleurs, une eau considérée comme « agressive » aura un TH inférieur à 15 °F (Ayad, 2017).

TABLEAU 1.2 – Relation entre dureté de l'eau et concentration équivalente en CaCO_3 (Ayad, 2017)

Dureté de l'eau	concentration en mg/L d'eau
l'eau douce	0 à 60
Eau moyennement douce	60 à 120
Eau dure	120 à 180
Eau très dure	Plus de 180

7. Chlorure

Les chlorures sont présents en concentration faible dans les eaux de surfaces, ceci peut être attribué à la dissolution de dépôt due :

- Les rejets de l'industrie chimique
- Les décharges des égouts
- L'irrigation par drainage, etc. (Bouridi & al, 2017).

Des niveaux trop élevés de chlorure peuvent accroître la corrosion des métaux dans le réseau de distribution, ce qui peut entraîner une hausse des concentrations de métaux dans les systèmes d'approvisionnement en eau potable.

1.6.3 Paramètres relatifs à la pollution

1. Demande Biologique en Oxygène (DBO)

Il s'agit de la quantité d'oxygène utilisée dans l'obscurité à 20 °C et pendant une période spécifique, par des micro-organismes, pour réaliser l'oxydation des matières organiques biodégradables présentes. Une DBO inférieure à 3mg/L indique une bonne qualité de l'eau, tandis qu'une valeur supérieure à 8mg/L traduit une pollution organique importante (Moletta & Torrijos, 1999).

2. La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) évalue la quantité d'oxygène requise pour oxyder chimiquement l'ensemble des matières organiques (biodégradables et non biodégradables) présentes dans l'eau. Elle fournit une estimation globale de la pollution organique.

En règle générale, la DCO dépasse toujours la DBO, ou un rapport DBO/DCO élevé signale une matière facilement biodégradable.

3. Les matières en suspension (MES)

Ce sont des particules solides extrêmement fines, généralement perceptibles à l'œil nu. Théoriquement, elles ne sont ni solubles, ni colloïdales.

Ces substances sont liées à la turbidité, leur évaluation fournit une indication initiale sur le contenu en matière colloïdale d'origine minérale ou organique (Bara, 2016).

4. Différentes formes d'azote

Nitrate et nitrite (NO_3^- et NO_2^-)

Les ions nitrates et nitrites se retrouvent naturellement en petites quantités dans les eaux, mais leur teneur peut augmenter en raison de diverses sources. Ils proviennent du lessivage des sols, de la décomposition de matières organiques, mais aussi des engrais azotés utilisés en agriculture, ainsi que des rejets domestiques et industriels.

En raison de leur grande solubilité et stabilité, ils peuvent facilement polluer les eaux de surface et souterraines. La concentration maximale autorisée en nitrates dans l'eau potable est établie à 50 mg/L, et à 0,1 mg/L pour les nitrites (Bremond & Vuichard, 1973).

L'ammonium (NH_4^+)

L'ammonium, est la forme ionisée de l'azote ammoniacal, se retrouve généralement dans les eaux à la suite de la décomposition anaérobie de la matière organique contenant de l'azote.

On observe généralement des concentrations allant de 0,1 à 0,2mg/L, qui n'ont pas d'impact significatif sur la santé des usagers, toutefois leur présence dans l'eau est un signe de contamination (De Villers & al, 2005).

5. Phosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates sont généralement présents en très petites quantités dans les eaux naturelles. Ils peuvent provenir de sources naturelles : décomposition de la matière organique, lessivage des minéraux, ou également être issus de rejets industriels (secteur agroalimentaire, etc.), domestiques (polyphosphate provenant des détergents), et engrais (pesticides, etc.) ou par le biais des eaux usées des STEP.

La teneur maximale autorisée en phosphates dans l'eau potable s'établit à 0,5 mg/L (Tardat-Henry, 1992).

6. Sulfates (SO_4^{2-})

La présence des sulfates peut résulter de la dissolution de sulfates de calcium des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures, couramment présents dans les formations rocheuses (notamment la pyrite) (Alloune & Gouader, 2003).

La forte concentration de ces sulfates entraîne des troubles gastro-intestinaux. Ils peuvent également engendrer un goût désagréable (EPA, 2003).

1.7 Systèmes d'évaluation de la qualité des eaux

Dans le cadre du réseau de surveillance, des études de la qualité de l'eau des cours d'eau sont effectuée. Ces études permettent d'évaluer un « état » ou une « qualité ».

1.7.1 Classification des eaux de surface selon les paramètres physico-chimiques, métalliques et microbiologiques

La qualité des eaux de surface peut être évaluée à l'aide de normes physico-chimiques et biologiques établies afin de caractériser leur état et leur aptitude aux différents usages (eau potable, irrigation, milieu aquatique, etc.).

La classification utilisée dans cette étude est basée sur une grille de référence permettant de classer les eaux en quatre classes de qualité : de 1A à 3. Cette classification repose sur des intervalles précis de concentration pour un ensemble de paramètres physico-chimiques, organoleptiques...

TABLEAU 1.3 – Classification des eaux de surface selon les paramètres physico-chimiques, métalliques et microbiologiques (OPU-PC1 (ENP), 2025).

Paramètres	1A	1B	2	3
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C)	≤ 400	400 à 750	750 à 1500	1500 à 3000
Température ($^\circ\text{C}$)	≤ 20	20 à 22	22 à 25	25 à 30
pH	6,5 à 8,5	6,5 à 8,5	6 à 9	5,5 à 9,5
MES (mg/L)	≤ 30	≤ 30	≤ 30	30 à 70
O ₂ dissous (mg/L)	≥ 7	5 à 7	3 à 5	Milieu aérobie à maintenir
DBO ₅ (mg/L)	≤ 3	≤ 5	≤ 10	10 à 25
Oxydabilité (mg/L)	≤ 3	≤ 5	≤ 8	—
DCO (mg/L)	≤ 20	20 à 25	25 à 40	40 à 80
NH ₄ ⁺ (mg/L)	$\leq 0,1$	$\leq 0,5$	≤ 2	≤ 8
NO ₃ ⁻ (mg/L)	—	—	≤ 44	≤ 100
N total Kjeldahl (mg/L)	≤ 1	≤ 2	≤ 3	—
Fe (mg/L)	$\leq 0,5$	≤ 1	$\leq 1,5$	—
Mn (mg/L)	$\leq 0,1$	$\leq 0,25$	$\leq 0,5$	—
Zn (mg/L)	$\leq 0,5$	≤ 1	≤ 5	≥ 5
Ag (mg/L)	$\leq 0,05$	—	—	—
As (mg/L)	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$	$\leq 0,05$	$\geq 0,05$
Cd (mg/L)	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$	$>0,001$
Cr (mg/L)	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$>0,05$
Cu (mg/L)	$\leq 0,02$	$\leq 0,05$	≤ 1	> 1
CN (mg/L)	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$>0,05$
Pb (mg/L)	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	$>0,05$
Se (mg/L)	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$	$>0,01$
Hg (mg/L)	$\leq 0,0005$	$\leq 0,0005$	$\leq 0,0005$	$>0,0005$
Phénols (mg/L)	—	$\leq 0,001$	$\leq 0,05$	$\leq 0,5$
Détergents (mg/L)	$\leq 0,2$	$\leq 0,2$	$\leq 0,5$	$>0,5$
Sulfates (mg/L)	≤ 150	—	—	—
SEC (mg/L)	—	—	—	—

Parmi les paramètres évalués figurent :

- Les éléments majeurs : conductivité, pH, température, oxygène dissous, DBO, DCO, MES. . .
- Les nutriments : nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), ammonium (NH_4^+), phosphates, azote Kjeldahl. . .
- Les métaux lourds : fer, zinc, cuivre, plomb, cadmium, chrome, mercure, etc.
- Les indicateurs microbiologiques : coliformes, E. coli, streptocoques fécaux.
- Autres substances spécifiques : détergents, phénols, sulfates, pesticides, etc.

Chaque paramètre est associé à des plages de valeurs correspondant à différents niveaux de qualité :

- 1A et 1B : excellente à bonne qualité,
- 2 : qualité moyenne à passable,
- 3 : qualité médiocre à mauvaise.

Cette classification permet ainsi de positionner objectivement un échantillon d'eau dans une catégorie de qualité, facilitant l'évaluation environnementale et la prise de décision en matière de gestion des ressources en eau. Elle est aussi utile pour détecter les sources de pollution, suivre leur évolution dans le temps et orienter les politiques de protection des milieux aquatiques.

1.7.2 Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau (SEQ-Eau)

Pour bien comprendre la situation générale d'un cours d'eau et suivre ses transformations au fil du temps, le SEQ-EAU a développé un outil d'évaluation qui offre une vision globale de la qualité des cours d'eau.

Cet outil détermine également la capacité à maintenir les équilibres biologiques et à répondre à différents usages de l'eau (MEDD & Agence de l'eau, 2003).

Il comprend des paramètres ont un effet comparable sur la biologie de l'eau et ses usages, ils sont regroupés en 16 altérations de la qualité de l'eau, incluant :

- Les matières organiques et oxydables,
- Les substances azotées autres que les nitrates,
- Les nitrates,
- Les substances phosphorées,
- Les résidus des pesticides,
- ...

Le SEQ-Eau est constitué de trois outils :

1. L'aptitude de l'eau à la biologie

L'aptitude de l'eau à la biologie c'est la capacité de l'eau à maintenir les équilibres biologiques lorsque les conditions hydrologiques et morphologiques déterminant l'habitat des organismes vivants sont également réunies, il est évalué à l'aide d'un indice et au maximum, cinq classes.

TABLEAU 1.4 – Classes d'amplitude à la biologie selon l'indice (MEDD & Agence de l'eau, 2003)

Indice	Classes d'amplitude à la biologie	
	Classe	Qualité
80 à 100	Bleu	Très bonne
60 à 80	Vert	Bonne
40 à 60	Jaune	Moyenne
20 à 40	Orange	Médiocre
0 à 20	Rouge	Mauvaise

Cet indice reflète le niveau de dégradation :

- Un indice de 0 indique une dégradation maximale.
- Un indice de 100 % correspond à une dégradation nulle.

2. L'aptitude de l'eau à l'usage

Il est évalué avec 5 classes définies les usages de production d'eau potable, d'Irrigation, d'Abreuvement, des Loisirs et sport aquatique et de l'Aquaculture (MEDD & Agence de l'eau, 2003).

MALAOUI & AGOUDJIL (2015) ont établi sur la base des travaux effectués par MEDD & Agence de l'eau (2003) les critères requis pour les diverses classes d'eau en fonction de leur usage, présentés dans le tableau 1.6 :

TABLEAU 1.5 – Classes d'aptitude aux usages et fonctions.

Aptitudes	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Production d'eau potable	L'eau est d'une qualité acceptable, mais pourrait nécessiter un traitement de désinfection.	Eau qui besoin un traitement facile.	Eau nécessitant un traitement classique	Eau nécessitant un traitement complexe	Eau inappropriée à la production de l'eau potable.
Usage irrigation	Irrigation des plantes très sensibles ou de tous les sols	Irrigation des plantes sensibles ou de tous les sols	Irrigation des plantes tolérantes ou des sols alcalins		Eau inapte à l'irrigation
Usages loisirs et sports aquatiques	Eau de qualité optimale pour les loisirs et sports aquatiques		Eau de qualité acceptable mais une surveillance accrue est nécessaire		Eau inapte à tous les loisirs et sports aquatiques
Usage abreuvement	Abreuvement de tous les animaux, y compris les plus vulnérables (animaux « adolescents », en gestation ou qui allaitent)		Abreuvement des animaux matures, moins vulnérables		Eau non potable pour l'abreuvement.
Usage aquaculture	Convient à tous les types d'élevages, y compris les œufs, les alevins et les adultes d'espèces délicates.		Contrôle renforcé Convient à tous les poissons adultes peu sensibles.	Eau inapte à une utilisation directe en aquaculture	

Pour chaque altération, une description est fournie avec un indice et cinq classes de qualité.

- La classe « bleu » de référence assure la vie aquatique attendue pour le cours d'eau en question, la production d'eau potable suite à une simple désinfection et l'accès aux activités et sports aquatiques.
- L'appartenance à la catégorie « rouge » ne garantit plus le respect d'au moins l'un de ces deux usages ou des équilibres

Les Objectifs et Applications du SEQ-Eau dans l'Évaluation de la Qualité de l'Eau

Le SEQ-Eau propose la possibilité de :

- D'évaluer la capacité de l'eau à répondre aux besoins biologiques et aux usages,
- D'établir une comparaison, pour chaque usage ainsi que pour les besoins biologiques, avec la capacité désirée.
- De déterminer les modifications de la qualité de l'eau qui sont principalement problématiques,
- D'établir un but d'amélioration de la qualité de l'eau pour chaque modification concernée,
- D'évaluer, en utilisant les catégories et indices de qualité selon la modification, l'efficacité des diverses stratégies d'amélioration de la qualité de l'eau. (MEDD & Agence de l'eau, 2003).

Classes de qualité du système SEQ-Eau des eaux superficielles

L'aptitude de l'eau à la biologie pour une altération est évaluée lors de chaque échantillonnage par le paramètre le plus dégradant, c'est-à-dire celui qui détermine la classe d'aptitude la moins favorable. Les classes d'aptitude des eaux superficielles sont présentées sous forme de grille de 5 classes définies par rapport à la qualité chimique de l'eau.

Chaque classe regroupe les valeurs correspondantes pour une gamme de paramètres physico-chimiques à contrôler impérativement (MEDD & Agence de l'eau, 2003).

TABLEAU 1.6 – Grille de la qualité des eaux superficielles

Paramètre	Unité	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$	180 - 2500	120 - 3000	60 - 3500	0 - 4000	> 4000
Oxygène dissous	mg/L	> 7	5 à 7	3 à 5	< 3	0
DBO ₅	mg/L d'O ₂	3	6	10	25	> 25
DCO	mg/L d'O ₂	20	30	40	80	> 80
NO ₃ ⁻	mg/L	2	10	25	50	> 50
NO ₂ ⁻	mg/L	0.03	0.3	0.5	1	> 1
NH ₄ ⁺	mg/L	0.5	1.5	2.8	4	> 4
PO ₄ ³⁻	mg/L	0.1	0.5	1	2	> 2
PH	/	≥ 6.5 et ≤ 8.5	/	< 6.5 et > 8.5	/	/

1.8 Indice de la qualité des eaux de surface

La qualité de l'eau exige le recueil et l'examen de grandes quantités de données relatives à sa qualité, ce qui peut se révéler complexe à évaluer et à synthétiser. Un ensemble d'outils a été conçu pour évaluer les données relatives à la qualité de l'eau, notamment le modèle d'indice de qualité de l'eau. (Md. Gala et al, 2021)

L'indice de qualité de l'eau est un outil synthétique d'évaluation de l'état des eaux de surface et de communication des états qualitatifs de l'eau. Il sert à requière une compréhension des principes fondamentaux de l'eau et des problématiques associées.

C'est une méthode bien connue d'exprimer la qualité de l'eau qui offre une unité stable et reproductible de mesure qui répond aux évolutions dans les principales caractéristiques de l'eau

Un indice de qualité de l'eau (IQE) inclut généralement quatre processus ou éléments :

1. Les paramètres de qualité de l'eau qui sont pertinents.

2. Les informations relatives à la qualité de l'eau sont analysées et pour chaque indicateur de qualité de l'eau, les concentrations sont transformées en un indice sans unité à valeur unique.

3. Le coefficient de pondération pour chacun des indicateurs de la qualité de l'eau.

4. Un indice global et unique de la qualité de l'eau est calculé grâce à une fonction d'agrégation qui combine les sous-indices et les coefficients de pondération relatifs à tous les indicateurs de la qualité de l'eau.

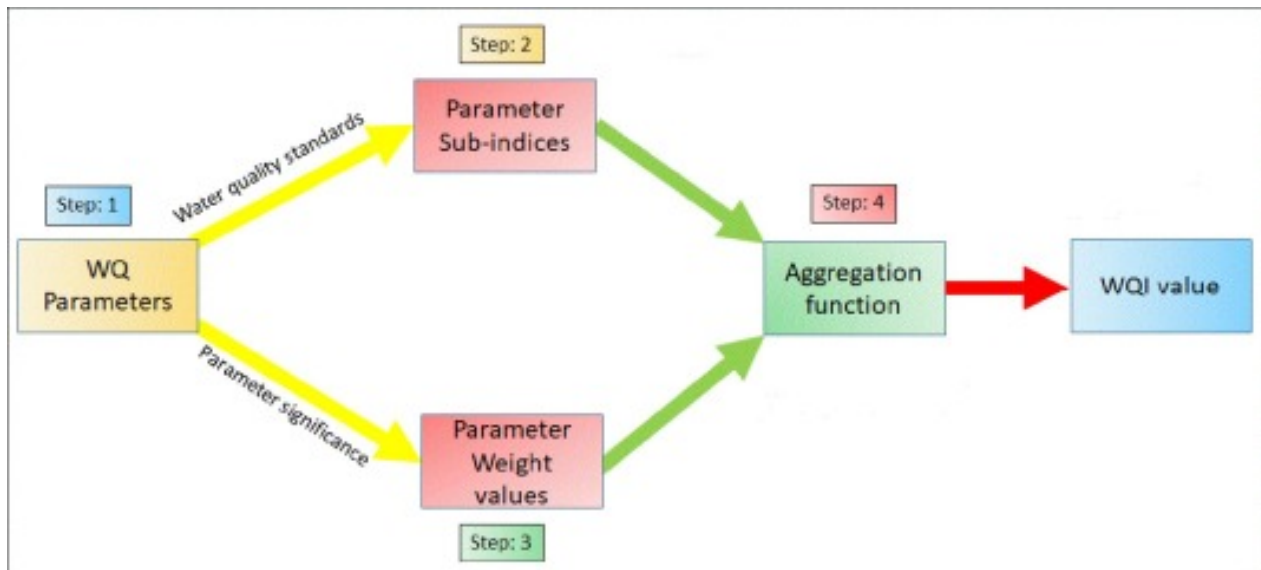


FIGURE 1.1 – La structure générale des modèles WQI (Abbasi, 2012)

Différents modèles de l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE) ont été élaborés, présentant des variations en termes de structure du modèle, paramètres intégrés et leur poids respectif, ainsi que les techniques employées pour la sous-indexation et l'agrégation.

1.8.1 Fondation nationale pour l'assainissement WQI (NSF-WQI)

Le NSF WQI a été développé par Brown en 1965 comme une version modifiée du modèle Horton. On l'a employé pour juger la qualité des eaux superficielles dans diverses disciplines (Abbasi, 2012).

L'indice NSF suggérait onze indicateurs de la qualité de l'eau répartis en cinq catégories :

- Les indicateurs physiques (température, turbidité et matières solides totales).
- Les indicateurs chimiques (pH et oxygène dissous).
- Les indicateurs microbiologiques (coliformes fécaux et DBO).
- Les indicateurs nutritifs (phosphate total et nitrates).
- Les indicateurs toxiques (pesticides et substances toxiques).

Le modèle génère un indice de qualité de l'eau qui varie entre 0 et 100. 0 signale la qualité de l'eau la plus mauvaise, tandis que 100 représente une qualité de l'eau exceptionnelle. Cinq catégories de qualité de l'eau sont suggérées par le modèle (Md. Gala et al, 2021).

TABLEAU 1.7 – Les cinq catégories de qualité de l'eau suggérées par le modèle NSF-WQI

WQI	L'évaluation
90–100	Excellent
70 – 89	Bon
50 – 69	Moyen
25 – 49	Mauvais
0 – 24	Très mauvais

1.8.2 Indice de qualité de l'eau de l'Oregon (d'OWQI)

L'OWQI est un indice conçu dans les années 1970 par le Département de la qualité environnementale de l'Oregon, aux États-Unis, pour synthétiser et juger la condition de la qualité de l'eau et ses caractéristiques (Guechi & Leulmi, 2016).

L'avantage de cet IQE est qu'il autorise la variable la plus déformée à exercer le plus grand impact sur l'IQE et lui confère une signification en termes de diverses variables liées à la qualité générale de l'eau à différents moments et lieux. L'équation est fournie par :

$$IQE = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SL_i^2}}$$

SL_i : Sous-index de chaque paramètre,

n : Nombre de sous-indices.

1.8.3 Index du Département écossais de développement de la recherche (SRDD)

Le modèle SRDD est continuellement développé par le Scottish Research Development Department depuis 1970 pour évaluer la qualité des eaux de surface.

Un grand nombre de pays dans les zones tempérées et tropicales-subtropicales mettent en œuvre le modèle SRDD, grâce à son adaptabilité et à sa praticité régionale (Bordalo, 2001).

Le modèle SRDD a aussi utilisé la méthode Delphi pour choisir les paramètres de qualité de l'eau.

On a suggéré onze paramètres pour évaluer la qualité de l'eau. Le modèle a été catégorisé en quatre groupes distincts en fonction de la qualité de l'eau. On distinguait :

- Le groupe physique (température, conductivité et matières en suspension)
- Le groupe chimique (OD, pH et ammoniac libre et salin)
- Le groupe organique (oxyde total, azote, phosphate)
- Le groupe microbiologique (DBO) et Escherichia coli.

Le modèle SRDD utilise la fonction additive modifiée suivante :

$$WQI = \frac{1}{100} \left(\sum_{i=1}^n W_i S_i \right)^2$$

Le modèle calcule l'indice WQI sur une échelle de 0 à 100 et fournit une classification en sept catégories pour déterminer la qualité de l'eau. (Md. Gala et al, 2021) :

TABLEAU 1.8 – Classification en sept catégories pour déterminer la qualité de l'eau suggérées par le modèle SRDD (Md. Gala et al, 2021)

WQI	L'évaluation
90–100	Propre
80 – 89	Bon
70 – 79	Bon sans traitement
40 – 69	Tolérable
30 – 39	Pollué
20 – 29	Plusieurs pollués
0 – 19	Déchets de porcherie

1.8.4 L'indice de Horton

De nombreux chercheurs à travers divers pays ont eu recours au modèle de Horton pour évaluer les eaux douces de surface. Il intègre les quatre éléments standards de l'indice de qualité de l'eau.

En 1965, Brown a analysé les paramètres du modèle en prenant en considération les opinions des spécialistes ainsi que leurs poids suggérés, et a formulé une équation de moyenne pondérée pour l'eau des cours d'eau de la manière suivante (Horton, 1965) :

$$IQE_{d'Horton} = \frac{\sum w_i q_i}{\sum w_i}$$

q_i : les sous-indice d'Horton,

w_i : les poids pour chaque paramètre,

Si les poids sont normalisés :

$$\sum w_i = 1$$

Les formules des sous indices q_i

Il existe trois cas selon le type de paramètre (Akratos, 2025) :

1. **Paramètres bénéfiques** (plus la valeur est haute, mieux c'est) :

$$q_i = \left(\frac{V_i}{S_i} \right) \times 100$$

2. **Paramètres polluants** (plus la valeur est élevée, plus la qualité est mauvaise) :

$$q_i = \left(1 - \frac{V_i}{S_i} \right) \times 100$$

3. **Paramètres avec plage idéale** :

$$q_i = \left(1 - \frac{V_i - V_{id}}{plage} \right) \times 100$$

Avec,

- V_i : la valeur mesurée pour chaque paramètre
- S_i : le seuil recommandé par l'OMS
- V_{id} : la valeur idéale pour un paramètre

Le modèle Horton recommande les cinq classes de qualité de l'eau suivantes pour la valeur de l'indice final de qualité de l'eau :

TABLEAU 1.9 – Les cinq classes de qualité de l'eau d'IQE d'Horton

WQI	L'évaluation
91–100	Très bon
71 – 90	Bon
51 – 70	Pauvre
31 – 50	Mauvais
0 – 30	Très mauvais

1.8.5 Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) IQE :

L'indice de la qualité des eaux élaboré par le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) offre un moyen d'évaluer la qualité de l'eau de surface en se basant sur des critères spécifiques pour protéger la faune aquatique. (CCME, 2001)

Des spécialistes de la qualité de l'eau définissent le nombre de paramètres à évaluer. Ces paramètres se réfèrent aux diverses évaluations effectuées sur les stations (par exemple : pH, phosphore, nitrate, et autres) et diffèrent d'une station à l'autre.

L'indice exige au moins quatre paramètres, qui doivent être échantillonnés au moins quatre fois. Il n'y a pas de limite maximale spécifiée pour le nombre de paramètres et d'échantillons. La décision concernant le genre et la quantité de paramètres et d'échantillons à inclure dans le calcul de l'IQE est confiée au spécialiste, cependant ce dernier doit se servir de son expertise professionnelle pour garantir que les résultats reflètent avec précision la qualité de l'eau dans un plan d'eau spécifique (CCME, 2001).

Formule de l'indice de la qualité des eaux du CCME :

$$IQE_{du_CCME} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

F1 : (l'étendue) nombre de variables non conformes aux recommandations de la qualité de l'eau

$$F_1 = \left(\frac{Nombre_De_Paramètres_Non_Conformes}{Nombre_Total_De_Paramètres} \right) \times 100$$

F2 : (la fréquence) nombre de fois où ces recommandations ne sont pas respectées

$$F_2 = \left(\frac{\text{Nombre_De_Résultats_Non_Conformes}}{\text{Nombre_Total_De_Résultats}} \right) \times 100$$

F3 : (l'amplitude) écart des mesures non conformes par rapport aux recommandations correspondantes.

$$F_3 = \left(\frac{sncé}{0.01 \times sncé + 0.01} \right)$$

Avec :

$$sncé = \left(\frac{\sum_i \text{Coefficient_d'écart}_i}{\text{Nombre_total_de_résultats}} \right)$$

Pour déterminer le coefficient d'écart, nous avons trois possibilités :

- Si le résultat ne doit pas dépasser la recommandation :

$$\text{Coefficient_d'écart}_i = \left(\frac{\text{Résultat_non_conforme}_i}{\text{Recommandation}_i} \right) - 1$$

- Si le résultat ne doit pas être inférieur à la recommandation :

$$\text{Coefficient_d'écart}_i = \left(\frac{\text{Recommandation}_i}{\text{Résultat_non_conforme}_i} \right) - 1$$

- Si la recommandation est nulle (égale à zéro) :

$$\text{Coefficient_d'écart}_i = \text{Résultat_non_conforme}_i$$

Le modèle du CCME suggère cinq catégories de qualité de l'eau comme indiqué dans le tableau 4.2 (CCME, 2001) :

TABLEAU 1.10 – Les catégories de qualité de l'eau du modèle du CCME

WQI	L'évaluation
95–100	Excellente (qualité naturelle de l'eau)
80 – 94	Bonne (la qualité de l'eau dévie des niveaux naturels ou désirés.)
65 – 79	Moyenne (La qualité de l'eau peut parfois dévier des standards naturels ou désirables)
45 – 64	Marginal (la qualité de l'eau est souvent compromise ou modifiée; les conditions dévient régulièrement de l'état naturel ou désiré)
0 – 44	Qualité inférieure (L'eau ne présente pas une qualité adéquate pour un usage à n'importe quel niveau)

1.9 Utilisation mondiale des indices de qualité de l'eau (WQI) et principaux modèles appliqués :

Jusqu'à présent, plus de 35 indices de qualité de l'eau (WQI) ont été mis en place par différents pays et/ou organismes pour évaluer la qualité des eaux superficielles à travers le monde.

Les modèles WQI ont été utilisés dans la plupart des régions du monde. La représentation ci-après indique que, même si les modèles WQI ont été utilisés pour tous les principaux genres de plans d'eau, 82% des utilisations avaient pour but d'évaluer la qualité de l'eau des rivières.

De plus, le tableau 1.11 indique que les modèles CCME et NSF ont été appliqués dans la moitié des recherches analysées du monde (Bordalo & Abbasi, 2001).

TABLEAU 1.11 – Des applications du modèle WQI (par zone d'étude) trouvées dans la littérature publiée de 1960 à 2019.

Modèle WQI	Nombre de demandes	Type de zone d'étude		
		Rivière	Lac	Marin/côtier/mer
CCME	36	28	5	3
NSF	18	17	1	-
Horton	7	6	1	-
SRDD	6	6	-	-
Oregon	2	2	-	-
Forgeron	2	2	-	-
BCWQI	1	1	-	-
Dinius	1	1	-	-

1.10 Conclusion

- Les eaux de surface constituent une ressource vitale et leur qualité est affectée par de nombreux éléments naturels et anthropiques.
- Leur classification, leur évolution et les diverses formes de pollution qui les affectent sont compliquées par la nécessité de les évaluer à l'aide de principes physiques et biologiques.
- L'utilisation d'outils comme SEQ-Eau, les indices de qualité de l'eau, facilite une meilleure compréhension de l'état de l'eau et l'adoption de stratégies efficaces de gestion de l'eau générations futures.

Chapitre 2

Présentation de la zone d'étude

2.1 Présentation géographique du site de barrage

La digue de Kef-Eddir est située sur Oued Damous, approximativement à huit (08) kilomètres vers le sud de la commune de Damous et près de 80 kilomètres de la ville principale de Tipaza.

La commune de Damous se trouve à l'ouest de la wilaya de Tipaza en Algérie. Elle est positionnée à un emplacement stratégique, entre la mer Méditerranée au nord et les montagnes au sud, ce qui offre une diversité géographique et climatique remarquable.

Cette commune est localisée à l'ouest et adjacente à la wilaya de Chlef, se situe approximativement à 70 kilomètres du cœur administratif de la wilaya, Tipaza, et s'étend sur près de 160 km²



FIGURE 2.1 – Localisation de la commune de Damous

2.2 Description du Barrage de Kef-Eddir

Le barrage de Kef Eddir c'est un ouvrage hydraulique présente une grande importance pour la région. Construit sur l'oued Damous, ce barrage en terre possède une capacité de retenue d'environ 125 millions de mètres cubes d'eau. Il a été mis en service dans les années 1990 dans le cadre de la politique nationale de mobilisation et de gestion durable des ressources hydriques.

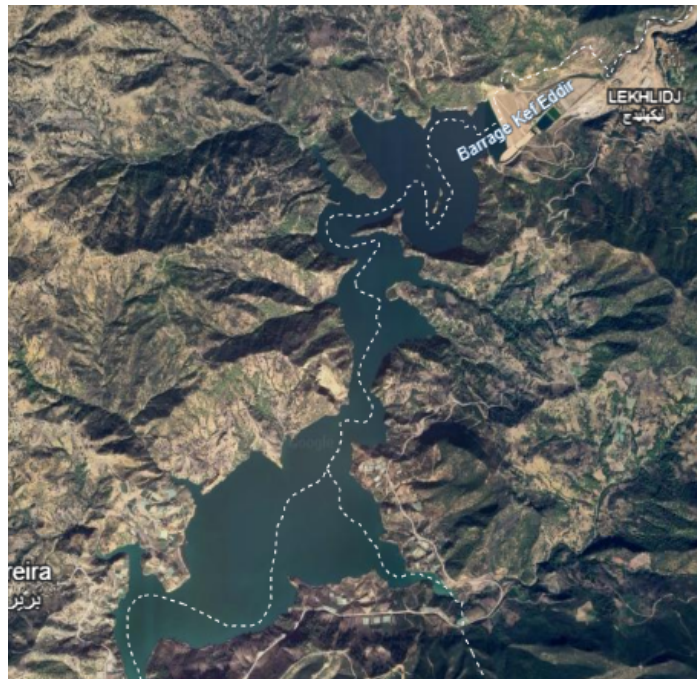


FIGURE 2.2 – Localisation du barrage Kef Eddir (Google Earth, 2025)

Le barrage de Kef Eddir assure divers rôles fondamentaux. Il assure surtout l'alimentation en eau potable à de nombreuses localités, en particulier dans les wilayas de Tipaza, Aïn Defla et Alger.

En parallèle, il sert à l'irrigation des terrains agricoles dans la région de Damous, favorisant ainsi l'expansion de l'agriculture sur place.

Il a également un rôle essentiel dans la gestion des inondations de l'oued, surtout pendant la saison hivernale.

2.3 Les ouvrages annexes du barrage

2.3.1 La digue

La digue du barrage de Kef Eddir s'agit d'une structure en terre zonée, elle est composée d'un noyau argileux, consolidé par des filtres de sable en amont et en aval.

Cette structure est enrichie par des zones de transition fabriquées à partir de tout-venant issu de l'oued, traité et rechargé pour assurer sa stabilité. Avec :

- Une hauteur de 93 mètres,
- Une longueur de crête de 478 mètres
- Une largeur de 10 mètres au sommet, ce qui en fait un ouvrage de grande envergure.
- Le niveau de retenue normal d'exploitation est à la cote 111,25 m NGA alors que le niveau maximum de la retenue (PHE) est à la cote 116 m

2.3.2 L'évacuateur des crues

L'évacuation des crues, qui se trouve sur la rive droite du barrage, est un composant essentiel pour la sécurité de cette structure. Il comprend un déversoir en forme de cuillère à seuil libre, suivi d'un canal équipé d'un saut de ski et d'une zone de dissipation naturelle en aval.

Ce dispositif, est élaboré pour opérer un écoulement en surface libre. Avec :

- Le déversoir a une longueur de 150 mètres,
- Le coursier et le tremplin de saut de ski s'étendent sur 228 mètres,
- Le bassin naturel de dissipation fait 120 mètres.
- Le seuil a atteint une largeur de 54 mètres et son élévation est déterminée à 111,25 mètres d'altitude.

2.3.3 La tour de prise

La tour de prise du barrage, qui se caractérise par sa forme verticale, est une structure massive de :

- Une hauteur de 83 mètres,
- Un diamètre extérieur de 11 mètres et des dimensions internes s'élevant à 7 mètres sur 8 mètres.
- Elle intègre trois niveaux de captation d'eau positionnés respectivement à 100,00 m, 85,00 m et 68,75 m, facilitant une régulation graduelle de l'approvisionnement en eau en fonction des exigences et des niveaux du réservoir.
- La prise d'eau est équipée de :

- Un batardeau et grille : 1,50m x170,00m

- Conduite verticale d'adduction d'eau de diamètre 1000m
- 3 vannes à papillon

2.3.4 Galerie provisoire & vidange de fond

Afin de gérer les eaux pendant les travaux et d'assurer un contrôle constant, le barrage est doté d'une galerie et d'un système de vidange de fond. Cette galerie présente une configuration en fer à cheval et se conclut par un bassin de dissipation, suivi d'un canal de décharge.

- Elle est prévue pour résister à un débit de crue de $463 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondant à une fréquence de retour de 40 ans.

- La galerie s'étend sur 400 mètres en longueur, avec un diamètre de 7 mètres,
- La capacité d'évacuation maximale est de $133 \text{ m}^3/\text{s}$.

Elle assume une fonction polyvalente, garantissant non seulement le drainage en profondeur, l'accès à la tour de prélèvement d'eau, mais aussi le logement des conduites d'approvisionnement.

2.3.5 Galerie d'injection et de drainage

Le barrage dispose d'une galerie d'injection et de drainage, située directement sur l'axe de l'ouvrage, au niveau de sa base. Cette galerie a :

- Une longueur de 677 mètres
- Une section transversale qui mesure 2,40 mètres sur 2,80 mètres.

Elle est chargée de l'injection de produits d'étanchéité au sein de la fondation et du drainage des eaux souterraines. On peut accéder à cette galerie depuis les deux côtés du barrage, via des galeries de dimensions identiques, qui servent également de galeries de drainage.

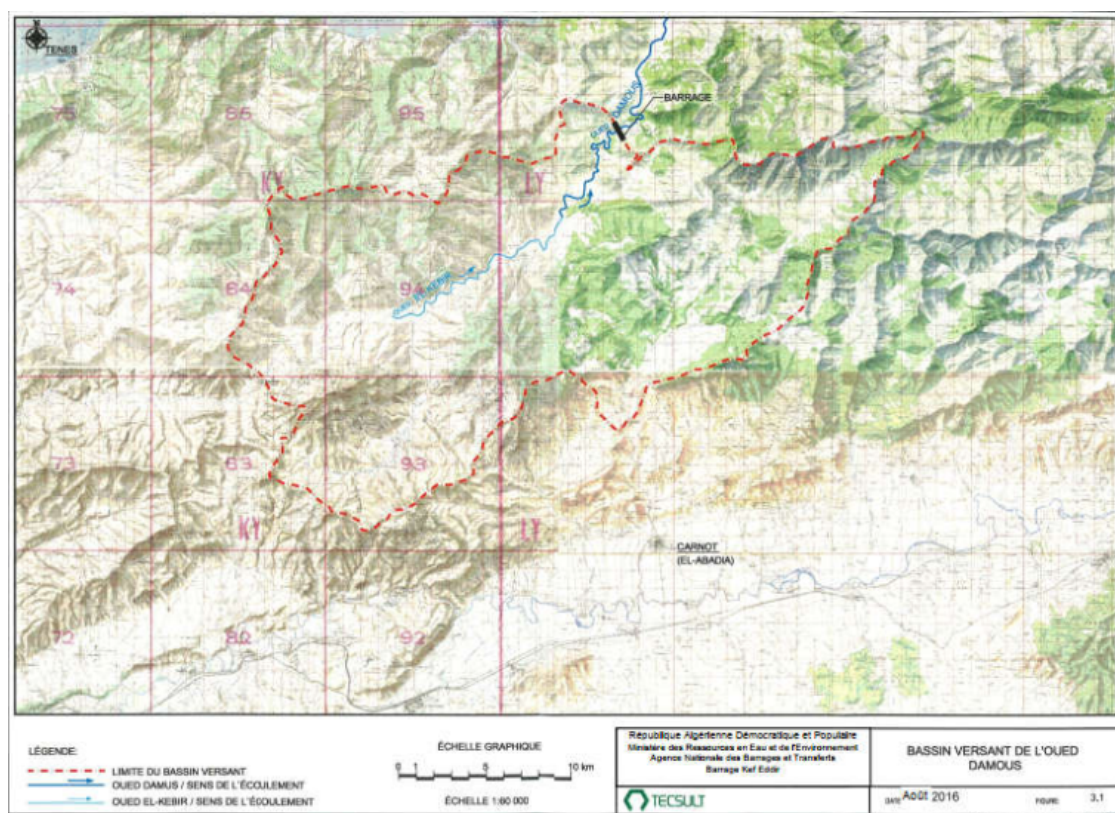
2.4 Caractéristiques du bassin versant

Le bassin versant de l'oued Damous se trouve à l'ouest de la wilaya de Tipaza en Algérie et constitue une zone hydrographique. Il représente une composante essentielle du système hydrologique régional, jouant un rôle central dans l'alimentation du barrage de Kef Eddir.

Ce bassin se distingue par un relief assez marqué, avec des altitudes qui varient entre les régions côtières du nord et les élévations du massif de l'Atlas tellien au sud. Ce paramètre crée une dynamique de l'eau caractérisée par des pentes douces à importantes, qui favorisent un drainage rapide des eaux de surface lors des périodes pluviales.

2.4.1 Caractéristiques de forme

Les caractéristiques de forme d'un bassin versant influencent fortement son comportement hydrologique. Elles incluent : la surface du BV, le périmètre, l'indice de compacité et la longueur moyenne équivalente.



En utilisant Google earth, on a pu récolter les données après une délimitation du bassin versant d'Oued Damous, On a :

La surface du bassin versant est :

$$A = 482 \text{ km}^2$$

Le périmètre du bassin est :

$$P = 122 \text{ km}$$

La longueur du thalweg est :

$$L_t = 43 \text{ km}$$

Indice de compacité de Gravelius :

L'indice de Gravelius K_c est donné par la formule suivante :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

En remplaçant par les valeurs :

$$K_c = \frac{122}{2\sqrt{\pi \times 482}} \approx 1,568$$

L'interprétation de cet indice est la suivante :

$$K_c = \begin{cases} < 1,128 & \text{Bassin} - \text{ramassé} \\ > 1,128 & \text{Bassin} - \text{allongé} \end{cases}$$

Dans notre cas, le bassin est considéré comme **allongé**, puisque $K_c > 1,128$.

Rectangle équivalent du bassin versant

Pour faciliter le calcul des paramètres hydrologiques comme la pente du bassin, le temps de concentration, et l'évaluation de l'écoulement dans les études de gestion de l'eau et d'infrastructures, ...

Généralement on suppose que le bassin versant a une forme rectangulaire qui permet d'approximer les caractéristiques d'écoulement de l'eau dans le bassin.

On a la surface du bassin versant donnée par la relation :

$$A = L \times l = 482 \text{ km}^2 \dots\dots\dots(1)$$

Et le périmètre du bassin versant est exprimé par :

$$P = 2 \times (L + l) = 122 \text{ km} \dots\dots\dots(2)$$

Avec,

L : la longueur équivalente du bassin versant

l : la largeur équivalente du bassin versant

D'après les deux équation (1) et (2) on trouve : $L = 51,67 \text{ km}$, $l = 9,33 \text{ km}$

L'indice de pente globale

L'indice de pente globale est le rapport entre la dénivelée et la longueur de rectangle équivalent.

$$I = \frac{H_{source} - H_{exutoire}}{L} \approx 2\%$$

où :

- H_{source} : altitude à la source,
- $H_{exutoire}$: altitude à l'exutoire,
- L : longueur du thalweg (en km).

2.4.2 Caractéristiques climatologiques

La commune de Damous, bénéficie d'un climat de type méditerranéen, fortement influencé par la proximité de la mer Méditerranée. Cette situation géographique confère à la région un climat équilibré, mais marqué par une nette opposition entre la saison humide et la saison sèche.

La température

Les températures à Damous suivent un régime saisonnier typique du climat méditerranéen, en hiver les températures sont douces, avec une moyenne mensuelle autour de 11 à 13°C. Les minimales peuvent descendre à 5-6°C pendant les nuits froides, mais les gelées sont rares.

En été Les températures moyennes atteignent 28 à 32°C, avec des pics qui peuvent dépasser 35°C lors des épisodes de sirocco (vents chauds et secs venant du sud).

Les répartitions mensuelles des températures enregistrées sont comme suit :

TABLEAU 2.1 – Répartition des température moyennes mensuelles de la commune de Damous (Planificateur, 2025)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc
Température (°C)	10,9	12,1	14,5	16,9	21,6	26,7	30,4	30,2	26,0	21,0	15,4	12,0

Au mois de Juillet, la température moyenne est de 30,4°C. Juillet est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 10,9°C à cette période.

La température annuelle moyenne se situe autour de 18°C.

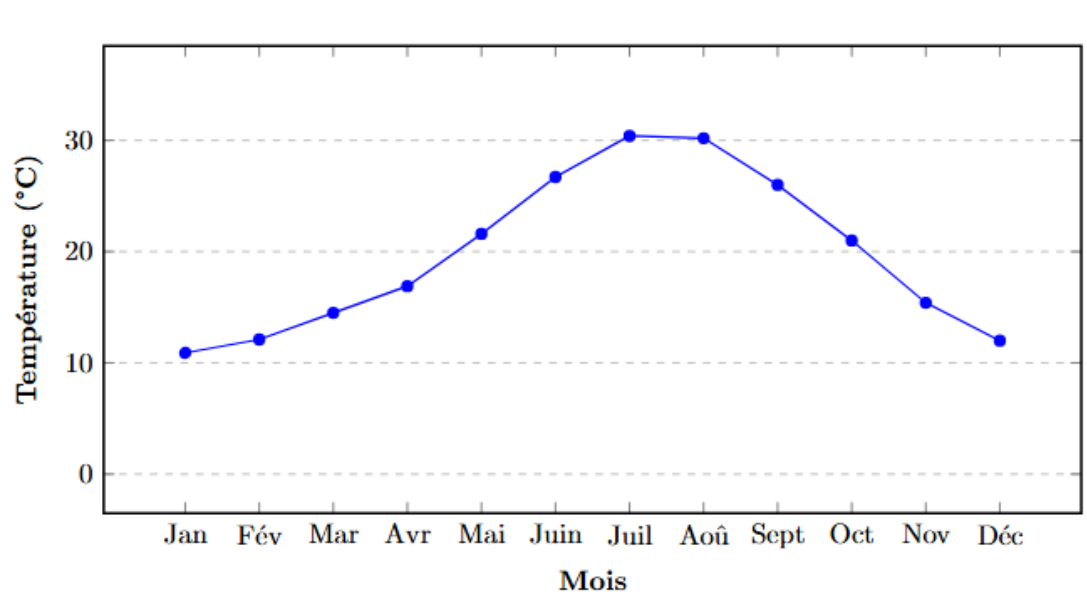


FIGURE 2.4 – Graphe de l'évolution mensuelle de la température de la commune de Damous

Précipitation

À Damous, les pluies sont très saisonnières et se concentrent surtout entre octobre et avril. C'est durant cette période que la région enregistre près de 80 à 90% de son volume annuel total. Les précipitations sont généralement dues à des courants (dépressions provenant de l'Atlantique) et peuvent parfois accompagner des orages au printemps.

TABLEAU 2.2 – La répartition mensuelle des pluies & le risque de précipitation (Planificateur, 2025)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Précipitation (mm)	37,8	55,8	35,3	43,2	26,8	9,6	3,8	12,4	11,6	31,0	54,7	39,5
Risque de précipitation (%)	19	21	16	17	13	3	3	3	7	13	20	19

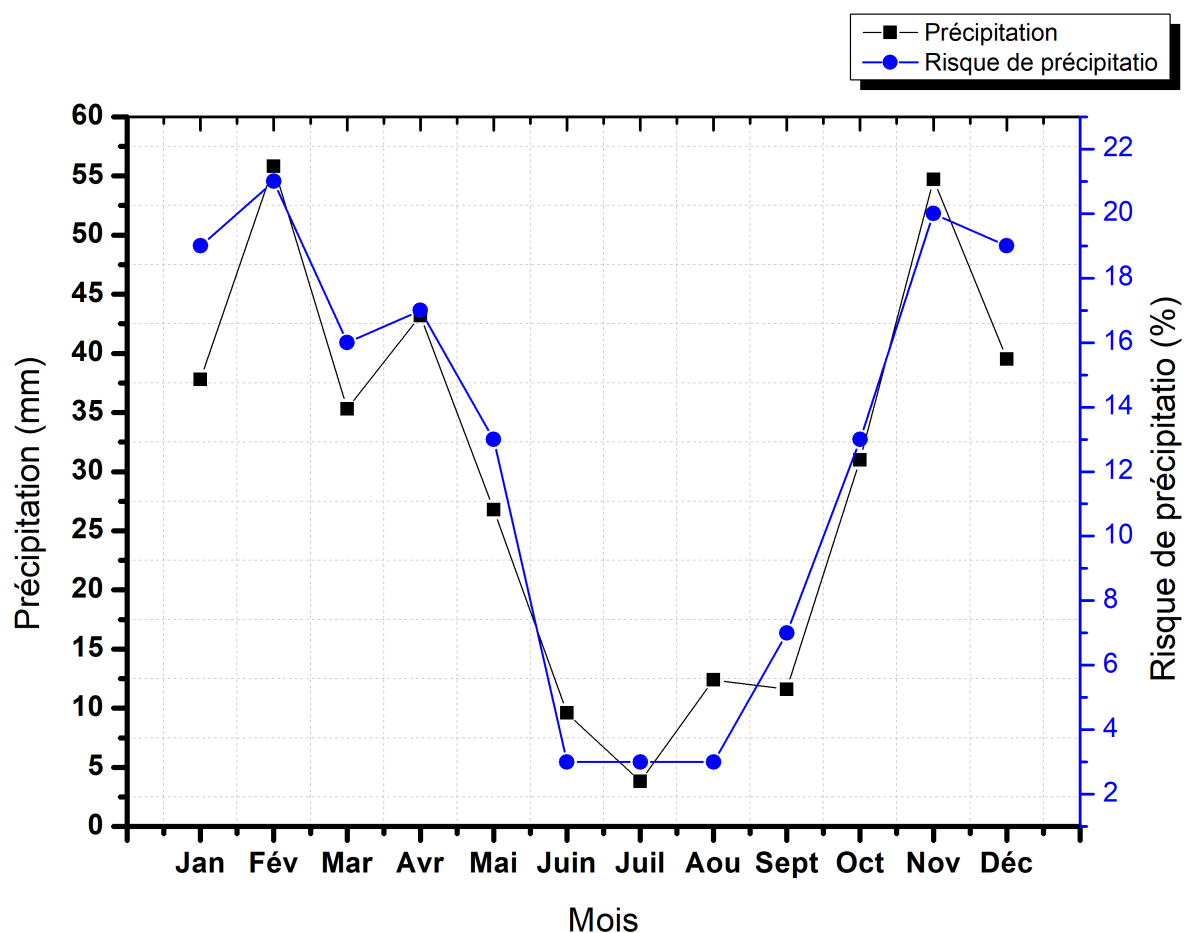


FIGURE 2.5 – Précipitations total sur le mois

L'évaporation

L'évaporation varie considérablement selon les saisons et influence fortement la disponibilité en eau dans les surfaces d'eau et les sols

TABLEAU 2.3 – Répartition de l'évaporation mensuel de la commune de Damous (Hamida, 2016)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc
L'évaporation (mm)	47,5	57,5	88,5	109,0	152,0	214,0	265,5	234,0	193,0	108,0	79,5	53,5

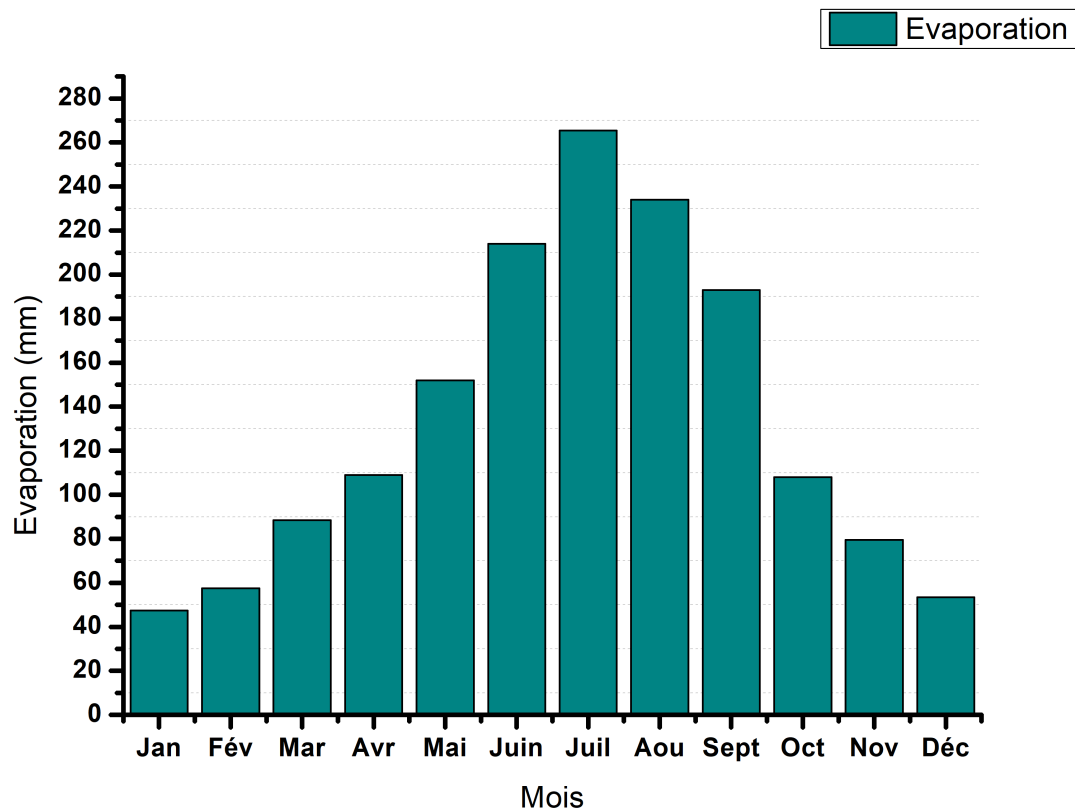


FIGURE 2.6 – Graphe de l'évolution mensuelle de l'évaporation

- Taux d'évaporation élevé en été, atteignant plus de 150 à 200 mm/mois en juillet et août, en raison de la chaleur et de l'ensoleillement intense.
- En hiver, l'évaporation chute à 30–50 mm/mois grâce aux températures plus basses et au ciel souvent couvert.

L'évapotranspiration potentielle annuelle est estimée autour de 1200 à 1400 mm/an, ce qui dépasse largement les précipitations, d'où un bilan hydrique déficitaire en été.

Vent et humidité

L'air frais et humide venant de la mer est apporté par les vents prédominants qui soufflent de l'ouest et du nord-ouest.

Au printemps et en été, il est possible que des vents chauds et secs, appelés sirocco, se produisent en provenance du sud, ce qui entraîne une augmentation de l'évaporation et un dessèchement de la végétation.

Le taux d'humidité est souvent élevé (60-80%), particulièrement durant l'hiver et le printemps, ce qui a un effet modérateur sur les températures.

La répartition mensuelle des taux d'humidité relative et inconfort par rapport à la température est donnée dans le tableau suivant (Planificateur, 2025) :

TABLEAU 2.4 – La répartition mensuelle des taux d'humidité relative (Planificateur, 2025)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sept	Oct	Nov	Déc
Taux d'humidité (%)	77	71	63	58	50	42	38	39	49	58	68	74

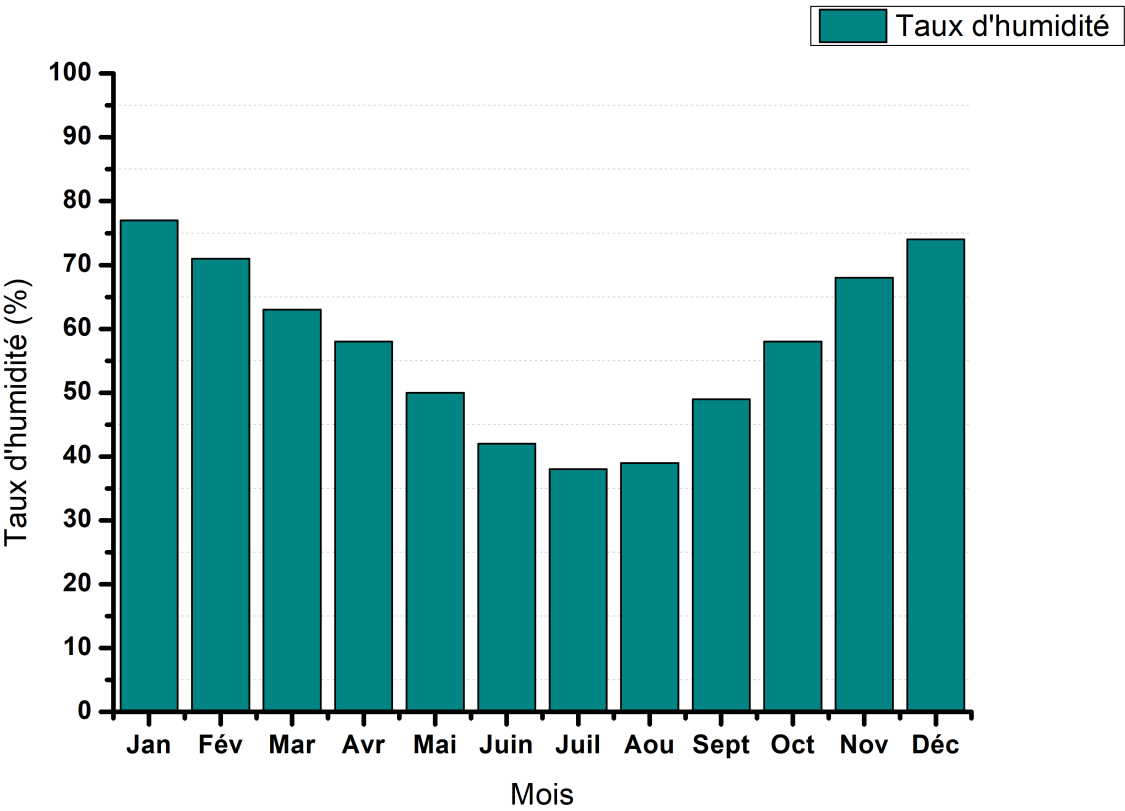


FIGURE 2.7 – Graphe de taux d'humidité mensuel

2.4.3 Caractéristiques hydrogéologiques

L'étude de l'hydrogéologie de la zone hydrodynamique est très captivante car elle donne une perspective sur les mouvements souterrains qui peuvent avoir lieu dans les aquifères.

Contexte géologique

Le site du barrage repose sur un substratum composé principalement de marnes, d'argiles compactes et de grès faiblement perméables. Ces matériaux présentent une perméabilité naturellement faible, ce qui en fait un support favorable à la construction d'un barrage en terre compactée (ANBT, 2015).

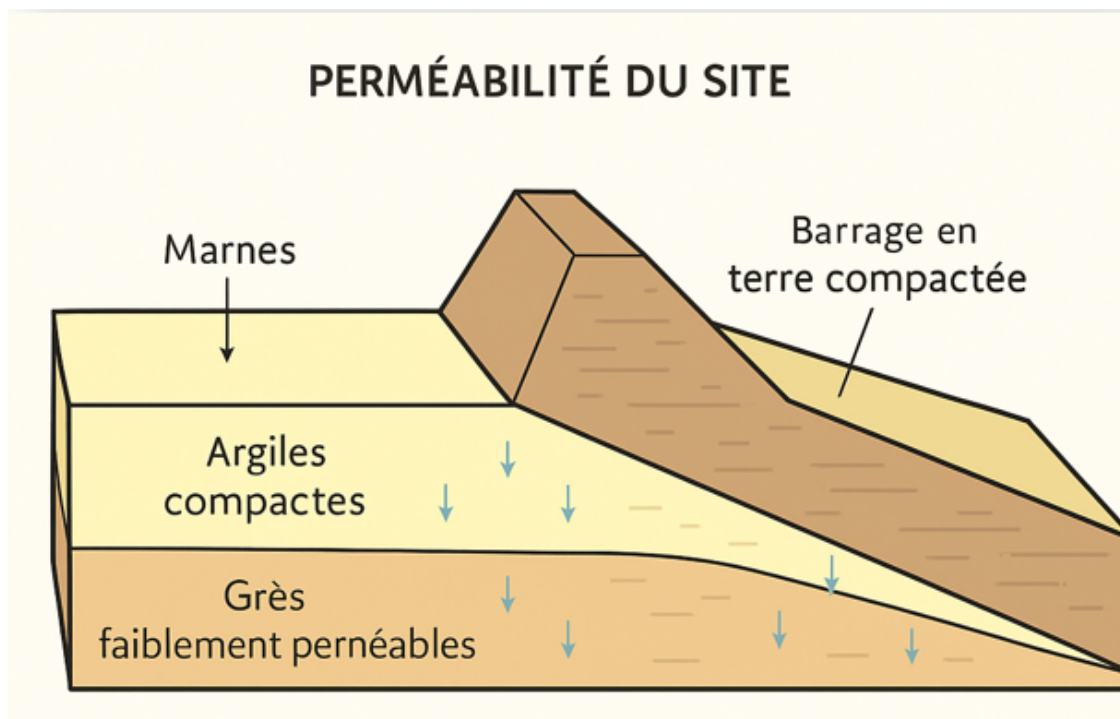


FIGURE 2.8 – Schéma explicatif de la perméabilité du site du barrage

Nature des aquifères

Deux types principaux d'aquifères sont présents dans la région de Damous :

- Des aquifères fissurés, situés dans des formations de calcaire et de grès, présentent une perméabilité inégale et fluctuante en fonction du niveau de fracturation des roches.
- Des nappes phréatiques alluviales, situées dans les régions déprimées (vallées) et nourries par les eaux de ruissellement et les cours d'eau temporaires.

Ces aquifères sont de type libre à semi-captif, dotés de nappes phréatiques peu profondes, particulièrement réactifs à la recharge saisonnière et aux périodes de sécheresse estivale (ANRH, 2013).

Perméabilité du site

Des essais de perméabilité effectués in situ (essais de Lefranc et de Lugeon) ont montré que la perméabilité moyenne du sol en fondation est de l'ordre de 10 à 10 m/s, ce qui indique un sol quasiment imperméable (ANBT, 2015).

Ces valeurs sont typiques des terrains marno-argileux, avec des couches de grès qui peuvent localement présenter une perméabilité légèrement plus élevée, surtout lorsqu'elles sont fracturées (Maalouli & Agoudjil, 2015).

2.4.4 Caractéristiques biologiques

La végétation

La zone de Damous se situe dans la région bioclimatique méditerranéenne subhumide à hiver doux, bénéfique à une flore caractéristique des zones forestières de l'Algérie littorale (INRF, 2014).

On trouve essentiellement des formations de :

- On trouve le chêne-liège (*Quercus suber*) et le chêne zen (*Quercus canariensis*) dans les régions boisées avoisinantes.
- Un maquis méditerranéen composé d'olivier sauvage, de lentisque, d'arbousier (*Arbutus unedo*), de cistes et de bruyères.
- Plantes herbacées saisonnières, principalement après les précipitations, comprenant des graminées, des légumineuses et diverses plantes aromatiques telles que le thym et le romarin.

Faune locale

La région autour du barrage héberge une diversité d'animaux sauvages, adaptés aux habitats forestiers et aquatiques (ANRH, 2013).

L'impact du barrage Kef Eddir sur l'écosystème de la région

La mise en place de la retenue artificielle du barrage a encouragé la formation de zones humides secondaires, qui assument un rôle écologique prépondérant.

- Zones où les oiseaux aquatiques nidifient et hivernent.

- Nouveaux habitats pour les amphibiens et les insectes aquatiques.

La gestion du microclimat local, accompagnée d'une augmentation de l'humidité dans les zones avoisinantes (ANBT, 2015).

2.5 Conclusion

Le barrage de Kef Eddir, situé dans la commune de Damous wilaya de Tipaza, sert principalement à fournir de l'eau potable, à pratiquer l'irrigation agricole et à contrôler les crues.

La qualité de l'eau stockée est fortement affectée par sa localisation. Les actions humaines telles que l'agriculture et l'élevage autour du bassin influent directement sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

Ces informations sont indispensables pour saisir les conclusions des évaluations de la qualité de l'eau.

Chapitre 3

Méthodes et matériels

3.1 Méthodologie du travail

L'étude expérimentale implique la réalisation d'analyses physicochimiques sur l'eau provenant de huit stations dans le barrage de Kef Eddir situées à une distance considérable les unes des autres.

Les examens physicochimiques ont été effectués dans le laboratoire de la station de traitement du barrage. L'évaluation de la qualité de l'eau du barrage se déroule en trois phases :

- Prise d'échantillons dans plusieurs endroits dans la retenue du barrage et collecte des données.
- Analyses effectuées en laboratoire.
- Évaluer les résultats.

3.2 Prélèvements

3.2.1 Choix du site de prélèvement

Pour garantir la valeur et la représentativité de notre étude sur la qualité de l'eau du barrage, le choix des stations de collecte est d'une importance capitale.

Il est essentiel que les points de prélèvement soient stratégiquement répartis afin de refléter au mieux les caractéristiques globales de l'ensemble du plan d'eau.

Pour ce faire, l'outil Google Earth a été utilisé afin d'identifier avec précision les emplacements des stations de prélèvement les plus appropriés, en tenant compte de la configuration géographique du barrage.

TABLEAU 3.1 – La position de chaque lieu de prélèvement (source : Google Earth)

Lieu N°	Cordonnés
1	36°28'49,1" N ; 1°38'57,6" E
2	36°28'27,3" N ; 1°39'17,3" E
3	36°28'08,8" N ; 1°38'42,5" E
4	36°27'33,3" N ; 1°38'32,8" E
5	36°27'05,5" N ; 1°38'33,4" E
6	36°26'47,6" N ; 1°37'41,6" E
7	36°26'27,3" N ; 1°37'22,6" E
8	36°26'07,9" N ; 1°37'18,3" E

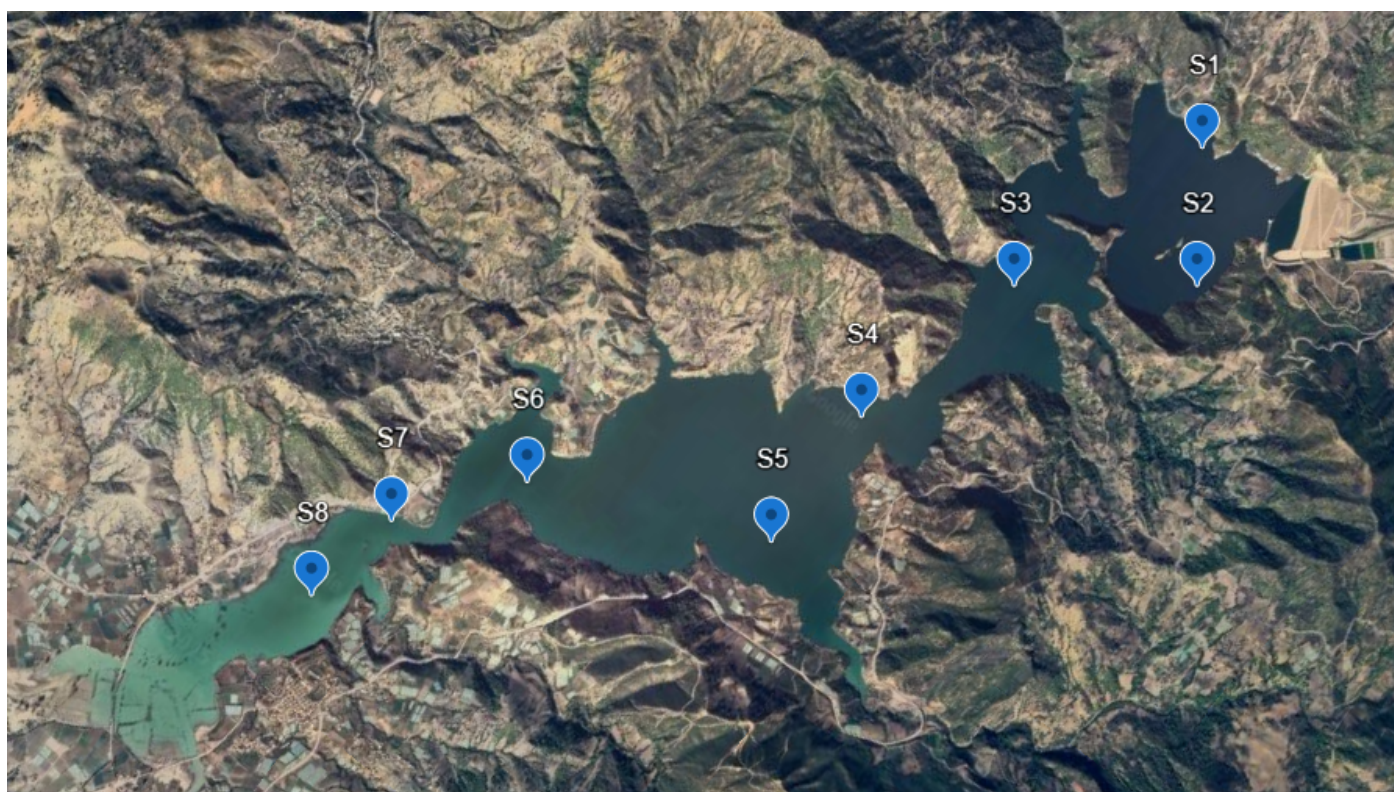


FIGURE 3.1 – Vues satellitaires des stations de prélèvement

3.2.2 Sortie pour le prélèvement

Afin d'assurer la représentativité des stations de prélèvement et de couvrir diverses zones du plan d'eau, huit stations ont été choisies, réparties de manière stratégique sur l'ensemble de la retenue, comme déjà a été expliqué dans le titre précédent.

Pour arriver à ces stations de prélèvement l'utilisation d'un petit bateau s'est avérée indispensable pour accéder à des zones éloignées des berges afin d'effectuer les prélèvements à des profondeurs variables, en fonction de la topographie subaquatique et de la profondeur du barrage à chaque point.



FIGURE 3.2 – Sortie sur site (barrage) le 11-05-2025

Cette méthode a permis de collecter des échantillons plus homogènes et d'obtenir une lecture plus précise tant verticale qu'horizontale de la qualité de l'eau.

En plus de ça une grande partie des mesures physico-chimiques in-situ ont été effectuées à l'aide d'un appareil multiparamètre portatif, garantissant la fiabilité des données au moment de la collecte.

3.2.3 Conservation des échantillons

Suite à la campagne de prélèvement effectuée au niveau du barrage de Kef Eddir, les échantillons d'eau ont été récoltés dans des bouteilles stérilisées, en suivant les protocoles standards de collecte d'eau destinée à l'analyse physico-chimique.

Pour chaque station de prélèvement, deux échantillons distincts ont été prélevés. Le premier a été acheminé immédiatement, le même jour, vers le laboratoire de la station de traitement du barrage, afin d'y réaliser une première série d'analyses sur place (telles que la turbidité, le pH, la conductivité, etc.), garantissant ainsi la fraîcheur et la fiabilité des résultats.

Le second échantillon a été maintenu à basse température (congélation) selon les normes en vigueur,

en vue d'analyses additionnelles à réaliser ultérieurement. Ces dernières ont été réalisées au Centre de Recherche de Bousmail (wilaya de Tipaza), qui est équipé pour des tests plus approfondis sur la qualité de l'eau.

Cette démarche de double prélèvement et de conservation contrôlée a permis d'optimiser le traitement analytique tout en respectant les exigences méthodologiques liées à la préservation des échantillons.

3.3 Mesures et analyses

La série des mesures se divise en deux volets. D'une part, il y a les mesures directes effectuées à l'aide d'un multi-paramètres, qui permet d'obtenir immédiatement les résultats en le plongeant directement dans les eaux du barrage.

D'autre part, certaines analyses sont réalisées en laboratoire, en utilisant des réactifs chimiques spécifiques pour évaluer avec précision certains paramètres de l'eau.

3.3.1 Mesures in-situ

Pour les mesures sur site, nous avons employé un multi-paramètres avancé apte à mesurer divers indicateurs essentiels de la qualité de l'eau. Cet instrument est capable de mesurer le pH, la turbidité, la conductivité électrique, la température, le niveau d'oxygène dissous et la salinité.

Le multi-paramètres (HANNA HI 9829)

Le HANNA HI 9829 est un appareil portatif conçu pour effectuer des mesures multiparamétriques, spécifiquement élaboré pour l'évaluation de la qualité de l'eau dans des environnements naturels et industriels.

Le multi-paramètre utilisé appartient au Laboratoire de Recherche des Sciences de l'Eau (LRS-Eau).



FIGURE 3.3 – Multi-paramètre (LRS-Eau)

Cet instrument résistant et étanche permet une analyse simultanée de divers paramètres physico-chimiques cruciaux pour l'examen des eaux de surface et souterraines.

Parmi les mesures principales effectuées par le HI 9829, on peut citer :

- La température,
- Le pH et le potentiel d'oxydoréduction (ORP),
- La conductivité électrique (CE) et les solides dissous totaux (TDS),
- L'oxygène dissous (OD),
- La turbidité (en option selon les sondes),
- Le pourcentage de saturation en oxygène,
- Les concentrations d'ions spécifiques (par des capteurs optionnels).

Caractéristiques principales du HANNA HI 9829

- Sonde intelligente : équipée de capteurs interchangeable et d'une mémoire interne, elle permet l'étalonnage directement sur le terrain.



FIGURE 3.4 – La sonde du multiparametres

- Affichage graphique : l'écran LCD rétroéclairé affiche clairement les mesures simultanées, les graphiques et les menus de navigation.
- Compensation automatique : les mesures sont automatiquement corrigées en fonction de la température pour garantir une précision maximale.

- Robustesse : conçu pour résister aux conditions difficiles sur le terrain (étanchéité IP67).
- Connectivité : possibilité de transférer les données via port USB pour leur exploitation et archivage.

Mode opératoire :

- L'appareil doit être étalonné avant l'utilisation pour assurer les résultats obtenus en utilisant des produits fournis avec le multi-paramètre

Dans notre cas le multi-paramètres était déjà étalonné par les responsables du laboratoire.



FIGURE 3.5 – Les mesures in-situ

- On plonge la sonde dans l'eau du barrage pour les mesures des eaux profondes, sachant que la profondeur maximale est de 2 mètres (longueur max de la sonde).

- On lance la mesure, et après quelques secondes le multimètre affiche les valeurs trouvées de chaque paramètre

Remarque

Afin de valider les valeurs in-situ mesurées par l'appareil multiparamètre, et aussi pour observer s'il existe des variations dans les valeurs des paramètres physico-chimiques, on a répété les mesures au laboratoire, mais on n'a pas noté de changements significatifs.



FIGURE 3.6 – Les mesures au laboratoire

3.3.2 Les analyses au laboratoire

Les analyses de la qualité de l'eau sont effectuées au laboratoire de la station de traitement du barrage Kef Eddir le même jour du prélèvement

1. Nitrites NO_2^-

Avant d'entamer l'analyse des nitrites, il est essentiel de préparer l'échantillon selon les normes du test pour assurer des résultats fiables.

Préparation de l'échantillon

- Vérifier la teneur en nitrites avec le test Nitrites MQuant (méthode colorimétrique avec bandelette réactive).
- Les échantillons contenant plus de 1,00 mg/l de NO_2^- -N doivent être dilués avec de l'eau distillée.
- Le pH doit être compris entre 2 et 10. L'ajuster si nécessaire avec de l'acide sulfurique.
- Filtrer les échantillons troubles.

Mode opératoire

- Pipetter 5 ml de l'échantillon préparé dans une éprouvette.
- Ajouter 1 microcuiller bleue arasée (dans le bouchon du flacon NO_2^- -1) du réactif NO_2^- -1 et agiter pendant 1 minute jusqu'à dissolution presque totale du réactif
- Le pH doit être compris entre 2,0 et 2,5. Vérifier à l'aide de Bandelettes indicatrices de pH MQuant. Ajuster le pH si nécessaire avec de l'hydroxyde de sodium en solution ou de l'acide sulfurique.

- Laisser reposer 10 minutes (temps de réaction), puis introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le photomètre.

Remarques

Pour la mesure dans la cuve de 50 mm, le volume de l'échantillon ainsi que la quantité de réactif NO_2^- -1 doivent être doublés.

2. Sulfates SO_4^{2-}

Avant d'effectuer la mesure des sulfates, une préparation appropriée de l'échantillon est indispensable afin d'éviter toute interférence durant l'analyse.

Préparation de l'échantillon

- Vérifier la teneur en sulfates avec le test sulfates MQuant (méthode colorimétrique avec bandelette réactive).
- Les échantillons contenant plus de 250 mg/l de $\text{SO}_4\text{-N}$ doivent être dilués avec de l'eau distillée.
- Le pH doit être compris entre 2 et 10. L'ajuster si nécessaire avec de l'acide sulfurique.
- Filtrer les échantillons troubles.

Mode opératoire

- Pipetter 5 ml de l'échantillon préparé dans le tube à essai et mélanger
- Ajouter 1 microcuiller verte arasée (dans le bouchon du flacon SO_4^{2-} -1K) du réactif SO_4^{2-} -1K, boucher le tube hermétiquement et l'agiter jusqu'à dissolution totale du réactif
- Laisser reposer exactement 2 minutes, puis mesurer l'échantillon dans le photomètre.

Remarques

- Le PH de la solution à mesurer doit être compris entre 1 et 2
- Les tubes utilisés doivent être propres et secs.

3. Phosphates PO_4^-

L'analyse des phosphates requiert une attention particulière à la contamination et au respect du pH, afin d'obtenir des résultats précis.

Préparation de l'échantillon

- Ne rincer la verrerie qu'avec des détergents exempts de phosphates, sinon la remplir d'acide chlorhydrique (10%) et la laisser reposer pendant plusieurs heures

- Vérifier la teneur en phosphate avec le test Phosphates MQuant, les échantillons contenant plus de 5 mg/L de PO_4^- -P doivent être dilués avec de l'eau distillée avant la minéralisation
- Le PH doit être compris entre 0 et 10. Ajuster si nécessaire avec de l'acidesulfurique.e
- Filtrer les échantillon troubles

Mode opératoire

- Pipetter 5 ml de l'échantillon préparé dans une éprouvette
- Ajouter 5 gouttes du réactif PO_4^- -1 et mélanger
- Ajouter 1 microcuiller bleue arasée (dans le bouchon du flacon PO_4^- -2) du réactif PO_4^- -2et agiter vigoureusement jusqu'à dissolution totale du réactif
- Laisser reposer 5 mins, puis introduire l'échantillon dans une cuve et mesurer dans le photomètre

Remarques

- Pour la mesure dans la cuve de 50 mm, le volume de l'échantillon ainsi que la quantité des réactifs PO_4^- -1, PO_4^- -2 doivent être doublés.
- Le PH de la solution à mesurer doit être compris entre 0,8 et 0,95

4. L'ammonium NH_4^+

L'analyse de l'ammonium nécessite un contrôle rigoureux du pH et une préparation séquentielle des réactifs pour une détection précise.

Préparation de l'échantillon

- Le pH doit être compris entre 4 et 13. L'ajuster si nécessaire avec l'hydroxyde de sodium en solution ou de l'acide sulfurique.
- Filtrer les échantillons troubles.

Mode opératoire

- Pipetter 5 ml de l'échantillon préparé dans une éprouvette.
- Ajouter 0,6 ml du réactif NH_4^+ -1 et mélanger
- Ajouter 1 microcuiller bleue arasée (dans le bouchon du flacon NH_4^+ -2) du réactif NH_4^+ -2 et agiter vigoureusement jusqu'à dissolution totale du réactif
- Laisser reposer 5 minutes
- Ajouter 4 gouttes du réactif NH_4^+ -3 et mélanger
- Laisser reposer 5 minutes puis introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le photomètre

Remarques

- Pendant l'addition du réactif, le flacon doit être vertical
- Pour la mesure dans la cuve de 50 mm, le volume de l'échantillon ainsi que la quantité des réactifs NH_4^+ -1, NH_4^+ -2, NH_4^+ -3 doivent être doublés.
- Le PH de la solution mesurer doit être 12,5

5. Les matières en suspension (MES)

Principe

La détermination de MES s'effectue par filtration, le principe de double pesée : un volume d'échantillon est filtré sur un filtre de fibre en verre (préalablement pesé à vide) et les résidus sur cette dernière. Le rapport de la différence de masse sur le volume d'eau filtré donne la concentration de MES en mg/l.

Appareillage et verrerie

- Système de filtration sous vide ;
- Filtre en microfibre en verre Wattman ;
- Coupelle en aluminium ;
- Pince ;
- Dessiccateur ;
- Étuve à 105 °C ;
- Éprouvette graduée.



FIGURE 3.7 – Système de filtration

Mode opératoire

- Rincer les filtres soigneusement avec l'eau distillée, puis les sécher à l'étuve et les stocker dans le dessiccateur ;
- Peser le filtre à vide et enregistrer la valeur en tant que M0 ;
- Placer le filtre avec le côté plissé au-dessus d'appareil de filtration ;
- Faire circuler le volume d'échantillon jusqu'à élimination complète de toute trace d'eau ;
- Eteindre la pompe à vide et enlever le filtre à l'aide d'une pince et le transférer sur une coupelle de pesée en aluminium ;
- Sécher le filtre dans un four à 105 °C pendant minimum 8 h, puis laisser le refroidir dans le dessiccateur ;
- Peser les filtres et enregistrer la valeur en tant que M1 ; - Calculer les MES avec la formule suivante :

$$MES(mg/l) = \frac{(M_1 - M_0) \times 1000}{\text{volumedel'échantillon}(ml)}$$

Avec :

M0 : Masse initiale du filtre (mg) ;

M1 : masse de filtre + résidu sec (mg) ;

3.4 Conclusion

Les données exploitées dans cette étude proviennent de prélèvements réalisés sur le terrain, ce qui renforce la fiabilité des résultats par rapport à l'utilisation de données préexistantes ou généralisées.

Chapitre 4

Résultats et discussions

Ce chapitre expose les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur les échantillons d'eau récupérés au niveau du barrage de Kef Eddir, ainsi que leur interprétation dans le cadre de l'évaluation de la qualité de l'eau.

Dans le but d'assurer une évaluation fiable et exhaustive, deux approches complémentaires ont été adoptées.

La première approche repose sur la comparaison des valeurs mesurées pour chaque paramètre (température, pH, conductivité, turbidité, oxygène dissous, etc.) avec les valeurs repères et limites établies par les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Cette technique permet de déterminer si l'eau satisfait aux critères de qualité recommandés pour les principaux usages, notamment l'eau destinée à la consommation humaine.

La deuxième approche repose sur le calcul des indices de qualité de l'eau (IQE). Cette technique permet de regrouper plusieurs paramètres en une seule valeur numérique, ce qui facilite l'interprétation globale de l'état de l'eau.

Les indices IQE utilisés dans cette étude sont : l'indice canadien CCME qui permet de classer les échantillons selon différents niveaux de qualité (excellente, bonne, moyenne, mauvaise, très mauvaise), et d'effectuer des comparaisons entre les divers points de prélèvement. Et l'indice d'Horton qui repose sur le calcul de sous-indices q_i pour chaque paramètre, pondérés ensuite par un poids w_i , reflétant son importance.

L'analyse est structurée comme suit :

- Dans un premier temps, les résultats bruts sont présentés sous forme de tableaux et des graphiques pour chaque paramètre mesuré.
- Ensuite, une interprétation comparative est réalisée par rapport aux normes OMS.
- Enfin, les valeurs calculées des indices IQE sont présentées et discutées, en mettant en lumière les

variations spatiales de la qualité de l'eau au sein du barrage.

4.1 Interprétation des résultats des paramètres physique-chimique

Cette évaluation consiste à comparer les valeurs des paramètres physico-chimiques obtenues au laboratoire, à l'issue des analyses réalisées, aux seuils de référence définis par les normes de l'OMS.

Ces seuils ainsi que les valeurs mesurées des paramètres dans toutes les stations sont présentés dans le tableau 4.1

TABLEAU 4.1 – Résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux du Barrage Kef Eddir - Tipaza

Station	OMS	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Température (°C)	25	21,2	21,2	21,2	21,4	21,5	21,6	21,95	21,5
PH	[6,5 - 8,5]	8,75	8,75	8,7	8,7	8,66	8,68	8,64	8,62
Oxygène dissous (mg/l)	[5 - 8]	4,2	4,3	4,2	3,81	4,55	6,95	9,11	10
Conductivité (µs/cm)	1500	1475	1506	1495	1516	1521	1517	1531	1528
Turbidité (FFN)	5	0,2	0,6	1,4	3,1	3,8	11	30	41
TDS (mg/l)	1500	641	639	644	652	655	655	657	662
Salinité (g/l)		0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46
MES (mg/l)	1	0,0016	0,0136	0,0004	0,0056	0,0004	0,0016	0,0024	0,0012
MO (mg/l)	5	0,0902	0,0915	0,0832	0,092	0,0896	0,0895	0,0895	0,0897
Nitrites (mg/l)	0,1	0,013	0,010	0,016	0,02	0,016	0,023	0,023	0,016
Nitrates (mg/l)	50	0,115	0,096	0,404	0,618	0,338	0,456	1,120	0,351
Ammonium (mg/l)	0,5	0,089	0,005	0,109	0,034	0,047	0,057	0,025	0,019
Sulfates (mg/l)	250	198	200	204	206	208	183	280	380
Phosphates (mg/l)	0,5	0,049	0,068	0,031	0,006	0,015	0,040	0,031	0,021

4.1.1 Température de l'eau

La figure 4.1 illustre la variation des températures de l'eau enregistrées dans huit stations (S1 à S8) du barrage de Kef Eddir.

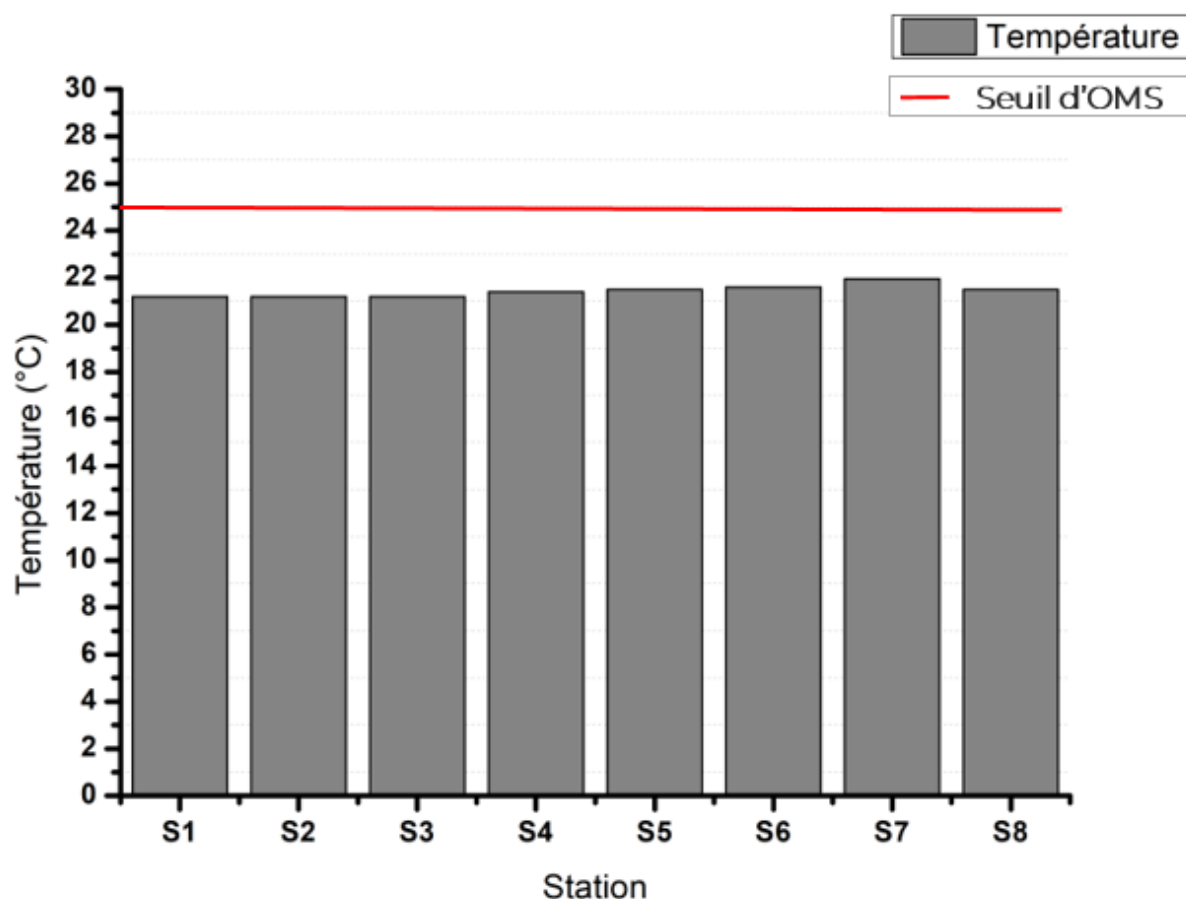


FIGURE 4.1 – Variation de la température des eaux étudiées pour les 8 stations de prélèvement

Les valeurs enregistrées varient entre 21,2°C et 21,95°C, ce qui reste nettement en dessous de la limite maximale recommandée par l'OMS pour les eaux de surface, fixée à 25°C.

Cette stabilité thermique relative indique une uniformité des conditions hydrologiques sur le plan spatial, ainsi qu'une absence d'échauffement inhabituel, ce qui peut être interprété comme un bon indicateur de qualité à ce niveau.

La température mesurée reste donc conforme aux normes recommandées pour une eau destinée à la consommation ou à des usages domestiques et agricoles.

4.1.2 PH

La figure 4.2 représente la progression des niveaux de pH enregistrés dans les huit stations (S1 à S8) du barrage de Kef Eddir, en les comparant au seuil maximal recommandée par l’OMS pour l’eau potable, établi à 8,5.

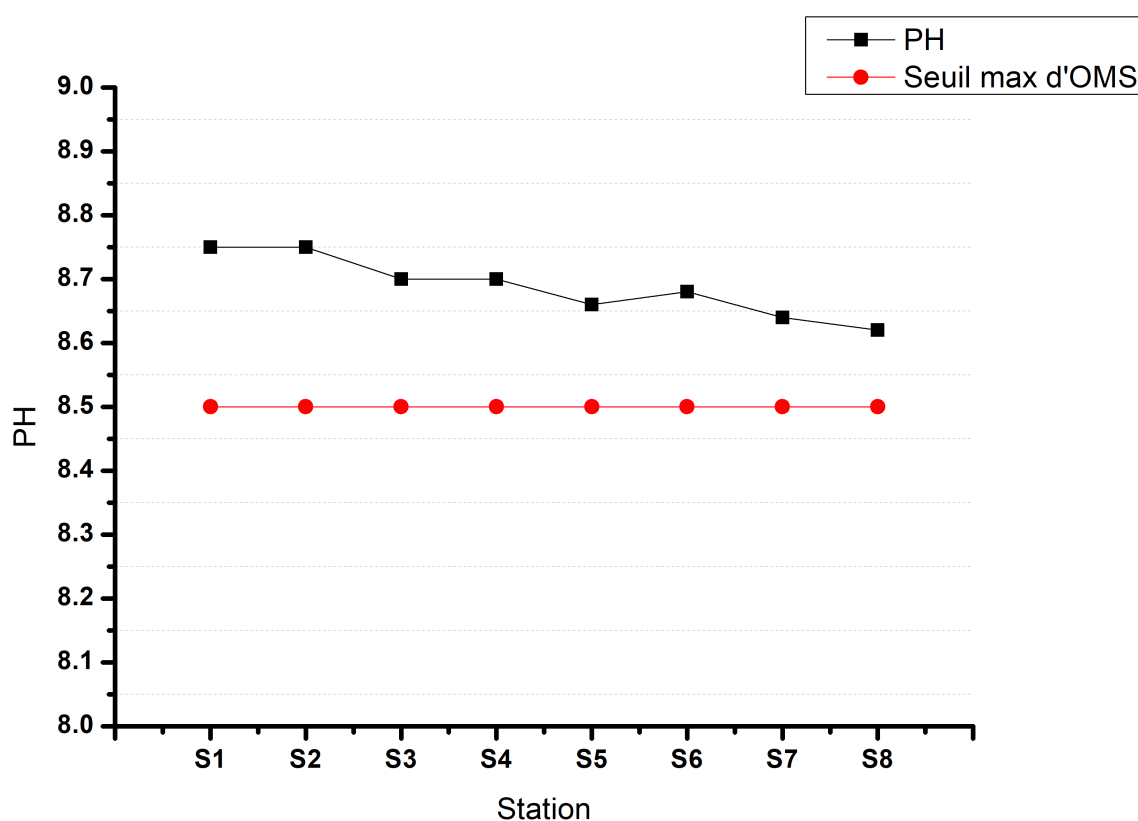


FIGURE 4.2 – Variation du PH pour les 8 stations de prélèvement

Les niveaux de pH observés dans toutes les stations excèdent légèrement la limite OMS de 8,5, variant entre 8,62 (S8) et 8,75 (S1 et S2).

À partir de S3 jusqu’à S8, on note une légère diminution progressive du pH, suggérant un potentiel retour vers l’équilibre acido-basique, possiblement lié à la dilution, à l’accumulation de matière organique ou à une baisse de l’activité photosynthétique.

L’eau présente donc une nature alcaline dans l’ensemble du barrage, dépassant la valeur souhaitée pour la consommation humaine, sans toutefois atteindre un stade critique.

4.1.3 Oxygène dissous

La figure 4.3 donne la variation des taux d'oxygène pour les huit (08) stations de prélèvement

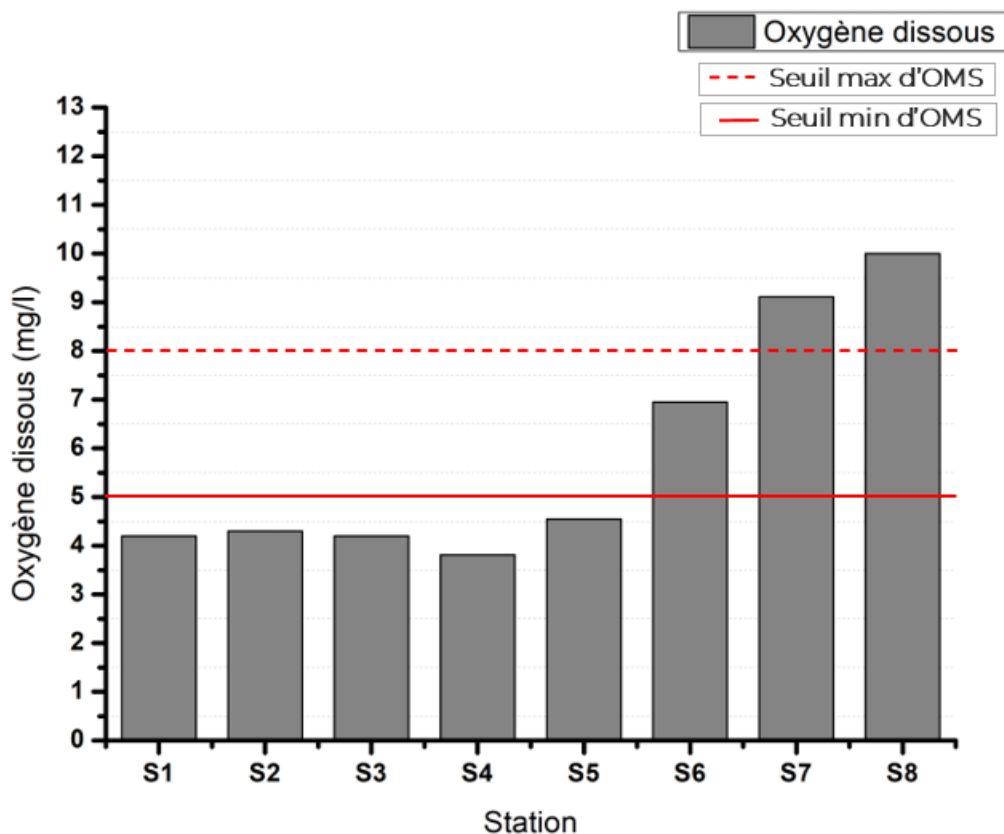


FIGURE 4.3 – Variation d'oxygène dissous pour les 8 stations de prélèvement

Selon le graphique, les taux d'oxygène dissous montrent des variations notables (3,81 et 10 mg/l) entre les huit stations de prélèvement.

La concentration faible constatée dans les cinq premières stations (S1 à S5), qui est inférieure à la limite minimale de 5 mg/L préconisée par l'OMS, pourrait nuire à la qualité écologique de l'eau. Cela peut s'expliquer par un ralentissement du courant en aval (formation d'une zone de stagnation) ou les micro-organismes existants dans l'eau consomment l'oxygène. Ainsi que des apports organiques provenant du bassin versant (décharges agricoles, ruissellement, débris végétaux). Ces éléments consomment de l'oxygène lors de leur décomposition biologique.

À partir de la station S6, et plus particulièrement S7 et S8, les niveaux d'oxygène dissous connaissent une hausse significative, atteignant des valeurs supérieures à 8 mg/l à S7 et S8. Ces deux stations sont localisées en amont du cours d'eau, là où la dilution est plus marquée et où la vitesse du courant ou une agitation naturelle peuvent favoriser une meilleure réoxygénation de l'eau.

4.1.4 La conductivité

La figure 4.4 donne la variation des valeurs de la conductivité enregistrées pour les huit (08) stations de prélèvement

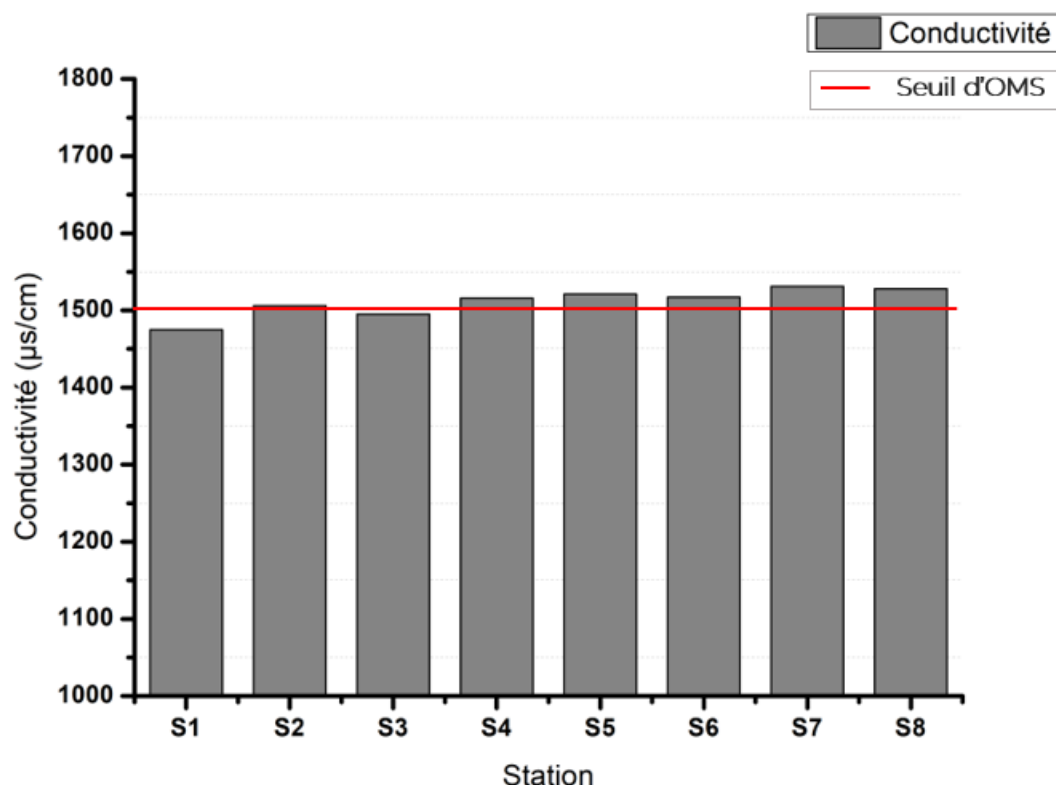


FIGURE 4.4 – Variation de la conductivité pour les 8 stations de prélèvement

La conductivité électrique des eaux fournit une information globale sur la concentration des sels dissous qu'elles contiennent.

Selon le graphique, les valeurs de conductivité électrique de l'eau fluctuent légèrement d'une station de prélèvement à l'autre, se situant autour du seuil de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ recommandé par l'OMS. Les stations S1 à S3 affichent des niveaux légèrement en dessous de cette limite, ce qui reste acceptable pour la potabilité, bien qu'indiquant déjà une minéralisation considérable.

En revanche, à partir de la station S4 jusqu'à S8, les niveaux de conductivité excèdent la limite recommandée, signalant une concentration excessive en sels dissous.

Cette situation peut être associée à des apports croissants de substances minérales (nitrates, chlorures, sulfates...) tout au long du trajet de l'eau, probablement lié à :

Des pratiques agricoles (engrais, amendements), ou encore à une évaporation accrue favorisant la concen-

tration des ions en amont.

4.1.5 La turbidité

La figure 4.5 illustre les niveaux de turbidité enregistrés dans les huit stations de prélèvement, en les comparant à la norme de potabilité proposée par l’OMS, fixée à 5 NTU.

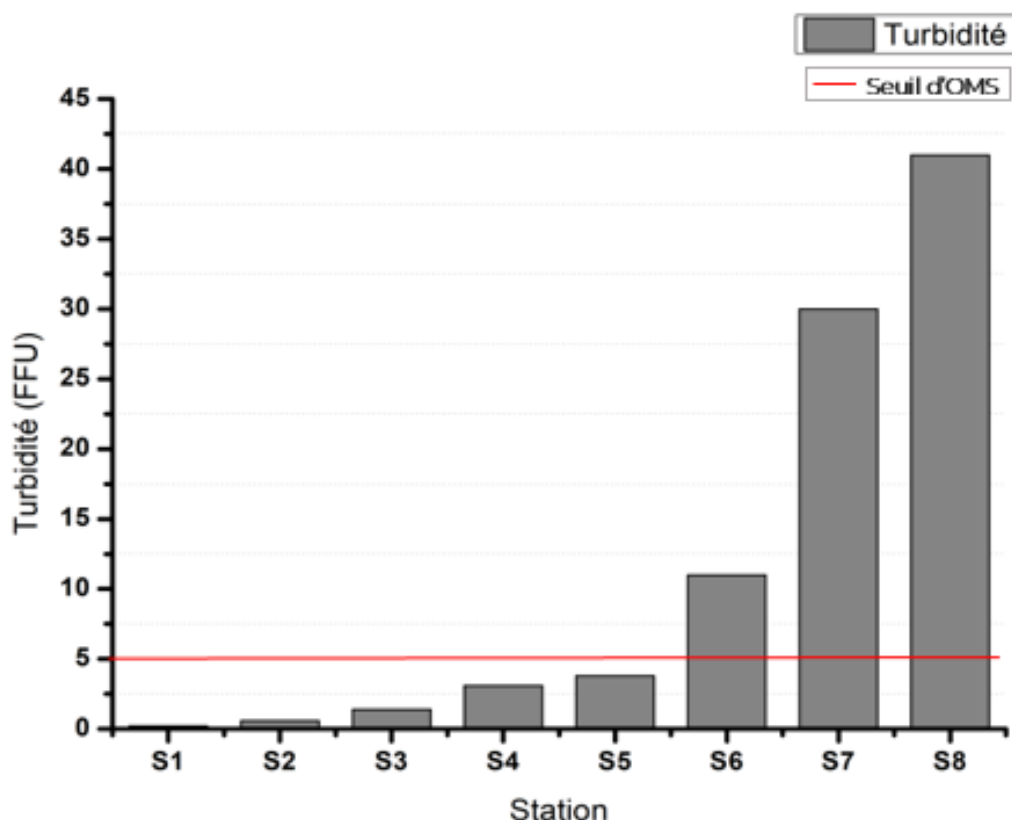


FIGURE 4.5 – Variation de la turbidité pour les 8 stations de prélèvement

La turbidité est un indicateur essentiel de la qualité de l’eau, représentant la présence de particules en suspension (argiles, matières organiques, micro-organismes, etc.).

Pour les quatre premières stations, la turbidité est en dessous du seuil, signalant une eau claire et faiblement chargée en matières en suspension. La turbidité à la cinquième station approche le seuil (3,8 NTU), indiquant un début d’augmentation.

Les stations S6, S7 et S8 affichent des valeurs nettement supérieures à la norme de l’OMS (respectivement 11, 30 et 41 NTU), traduisant une forte charge en particules qui peut s’expliquer par une combinaison de forte circulation de l’eau, d’érosion des berges, et d’apports sédimentaires.

4.1.6 Taux des sels dissous (TDS)

La figure 4.6 donne la variation du taux des sels dissous pour les huit (08) stations de prélèvement

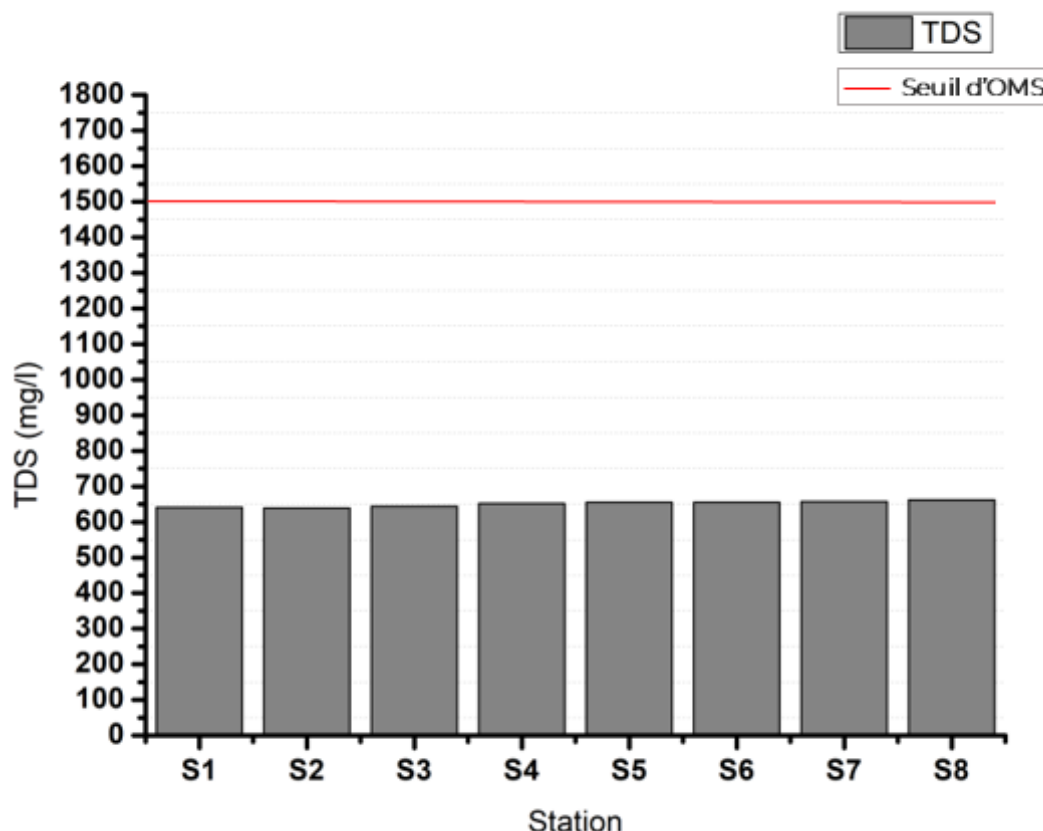


FIGURE 4.6 – Variation du taux des sels dissous des eaux des 8 stations de prélèvement

Le taux de sels dissous (TDS) indique la présence de sels inorganiques dans l'eau, incluant le chlorure de sodium (NaCl) et le chlorure de magnésium (MgCl_2).

Les eaux dans les stations de prélèvement (S1 à S8) affichent des valeurs de TDS bien en dessous du seuil de 1500 mg/l recommandé par l'OMS. Or ces valeurs dans toutes les stations se situent autour de 639 à 662 mg/l. Cela démontre que l'eau respecte les directives de l'OMS concernant le taux des sels dissous.

L'absence de variations significatives entre les stations indique une uniformité de la qualité de l'eau à travers tous les points de mesure.

4.1.7 Matières en suspension (MES)

La figure 4.7 donne la variation de la concentration des matières en suspension enregistrée pour les huit (08) stations de prélèvement

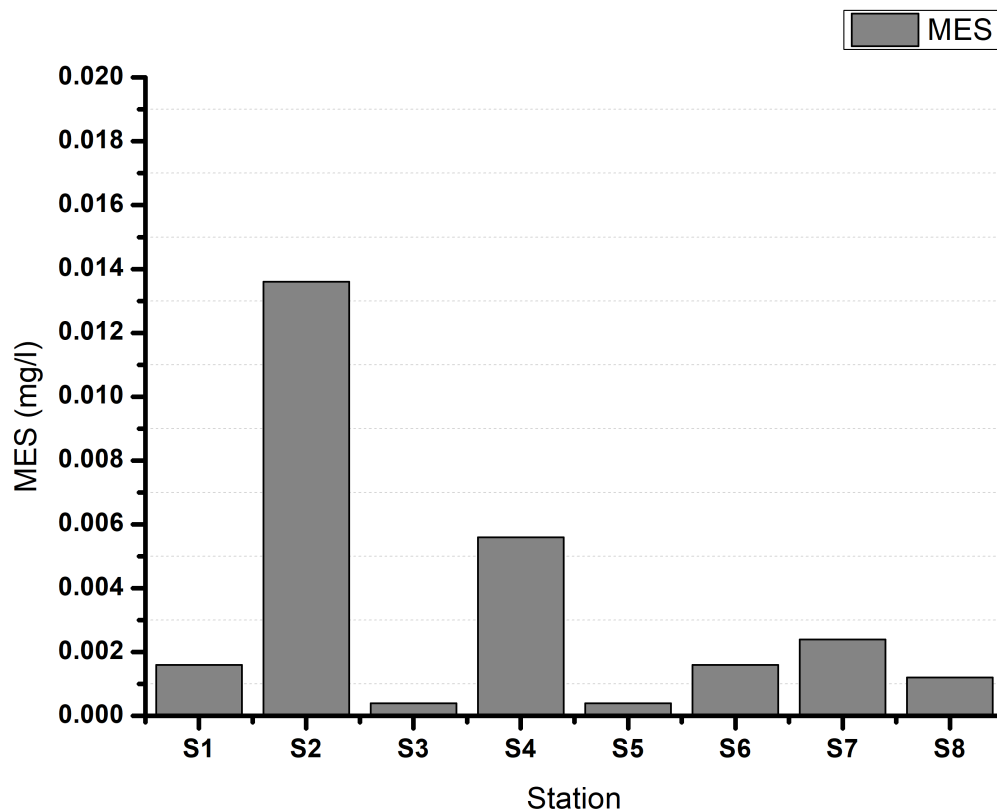


FIGURE 4.7 – Variation de la concentration des MES des eaux des 8 stations de prélèvement

Toutes les stations affichent des valeurs nettement inférieures au seuil établi par l'OMS (**1 mg/L**), ce qui indique une excellente qualité de l'eau en termes de clarté et de faible concentration en particules en suspension. Les concentrations oscillent entre 0,0004 mg/L et 0,0136 mg/L, ce qui est extrêmement faible.

La station de prélèvement N°2 enregistre la valeur la plus élevée (0,0136 mg/L), mais reste de loin en dessous du seuil OMS. Cette légère élévation pourrait s'expliquer par un apport localisé (ruissellement, activité humaine) ou des sédiments en suspension.

Les stations de prélèvement N° 3 et 5 présentent les valeurs les plus basses, proches de 0,0004 mg/L, ce qui illustre une eau très peu chargée en MES dans ces zones.

4.1.8 Matières organiques (MO)

La figure 4.8 donne la variation de la concentration des matières organiques enregistrée pour les huit (08) stations de prélèvement

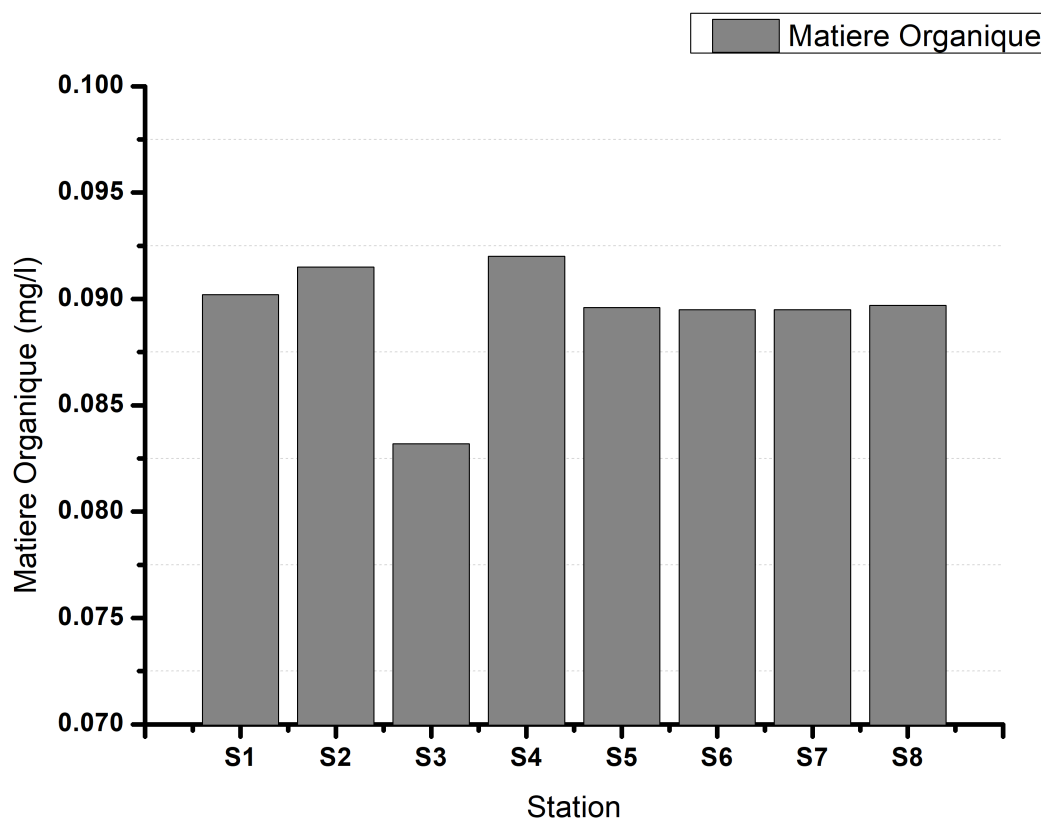


FIGURE 4.8 – Variation de la concentration de la matiere organique des eaux des 8 stations de prélèvement

Les concentrations mesurées sont extrêmement faibles, oscillant entre 0,0832 et 0,092 mg/L, ce qui est bien en deçà de la norme établie par l'OMS de 5 mg/L. Cela témoigne d'une eau d'excellente qualité organique, peu chargée en éléments d'origine végétale, animale ou humaine.

La valeur la plus élevée (0,092 mg/L), est enregistrée dans la station de prélèvement N°4, ce qui pourrait s'expliquer par la présence locale de feuilles en décomposition, de résidus organiques ou de ruissellements agricoles enrichis en matière organique.

La station S3 a la valeur minimum (0,0832 mg/L), indiquant une eau encore plus pure, probablement mieux protégée contre les apports externes.

4.1.9 Nitrites NO_2^-

La figure 4.9 représente la variation de la concentration des nitrites pour les huit (08) stations de prélèvement

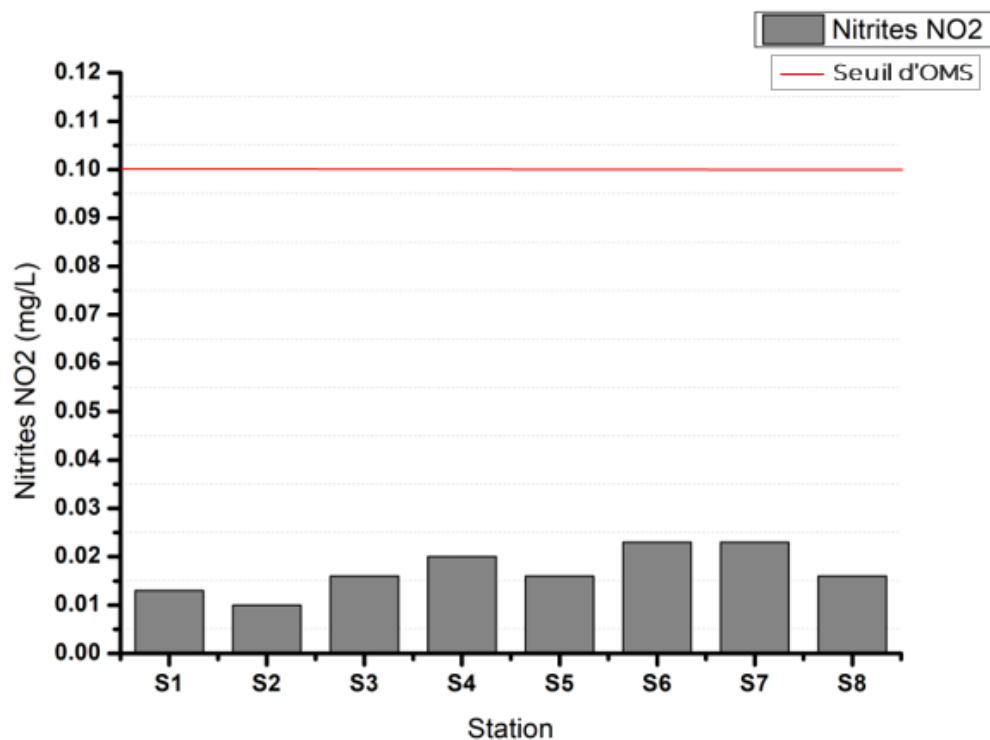


FIGURE 4.9 – Variation de la concentration des nitrites des eaux des 8 stations de prélèvement

Les nitrites présents dans l'eau résultent principalement d'une oxydation partielle de l'ammonium, ou d'une réduction des nitrates sous l'effet de l'action dénitrifiante de certaines bactéries (Rodier et al, 2009).

Le graphique démontre une hausse progressive des concentrations de nitrites depuis la station S1 jusqu'à la station S8. Bien que toutes les valeurs restent en dessous du seuil établi par l'OMS (0,1 mg/l), cette tendance ascendante indique une détérioration lentement croissante de la qualité de l'eau au fil du parcours.

Les faibles niveaux observés aux stations aval (S1 et S2) signalent un environnement relativement préservé, tandis que les concentrations relevées en amont (S4 à S7), même si elles restent conformes, s'approchent du seuil critique, suggérant :

- Une accumulation des polluants azotés en amont,
- Des décharges agricoles non traitées ou mal traitées,
- Une détérioration graduelle de la matière organique, entraînant la formation de nitrites.

4.1.10 Nitrates NO_3^-

La figure 4.10 représente la variation de la concentration des nitrates pour les huit (08) stations de prélèvement

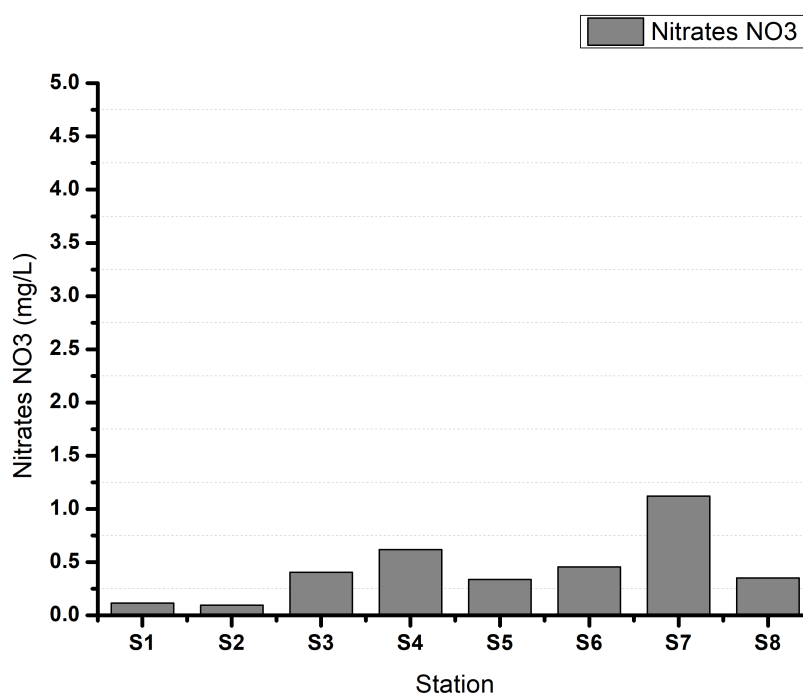


FIGURE 4.10 – Variation de la concentration des nitrates des eaux des 8 stations de prélèvement

Les nitrates se trouvent naturellement dans notre environnement et peuvent provenir de sources naturelles, grâce à la décomposition de matières organiques par des micro-organismes, ou être issus d'activités domestiques et agricoles (comme les engrais, les pesticides, etc.).

Le graphique indique que les niveaux de nitrates (NO_3^-) dans les eaux du barrage de Kef Eddir sont généralement très faibles et en dessous du seuil établi par l'OMS (50 mg/L) pour l'eau potable.

Les stations situées en aval S1 et S2 affichent des valeurs très faibles, ce qui témoigne d'une faible influence humaine ou agricole dans cette région. Les stations S4 et S7 affichent les concentrations les plus élevées parmi les stations examinées, ce qui pourrait révéler une accumulation des apports azotés en amont, possiblement liée à des ruissellements agricoles ou à la décomposition de matières organiques. Bien que les niveaux restent dans les limites acceptables

4.1.11 Ammonium NH_4^+

La figure 4.11 représente la variation de la concentration d'ammonium pour les huit (08) stations de prélèvement

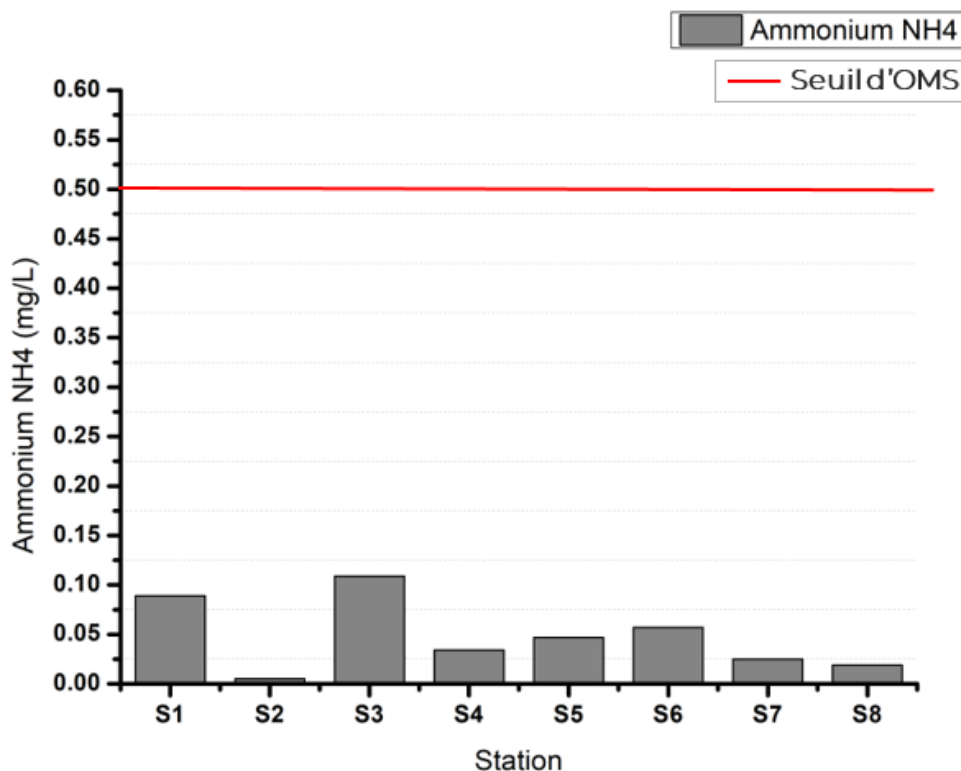


FIGURE 4.11 – Variation de la concentration de l'ammonium des eaux des 8 stations de prélèvement

L'ammonium représente une forme instable d'azote, et sa concentration réduite est également le signe d'une bonne oxygénation de l'eau, ce qui favorise sa transformation en nitrates.

Les concentrations d'ammonium (NH_4^+) mesurées dans les diverses stations (S1 à S8) du barrage de Kef Eddir sont très faibles, bien en dessous de la limite maximale établie par l'OMS, qui est de 0,5 mg/L pour l'eau potable.

Ces résultats suggèrent une faible pollution azotée sous forme d'ammonium, ce qui est un bon indicateur de l'absence de contamination récente par des eaux usées ou des effluents organiques non dégradés.

La stations S1 et S2 affichent des concentrations en ammonium (NH_4^+) les plus élevées parmi les stations examinées (0,089 mg/L et 0,109 mg/L), bien que cela reste en dessous du seuil établi par l'OMS. Cette augmentation localisée peut s'expliquer par des apports superficiels (ruissellement, écoulements, drainage agricole. . .), qui peuvent contenir de l'azote sous sa forme d'ammonium encore non transformé.

4.1.12 Sulfates SO_4^{2-}

La figure 4.12 présente les concentrations en sulfates (SO_4^{2-}) dans les eaux du barrage de Kef Eddir comparées au seuil maximal recommandé par l'OMS, qui est de 250 mg/L pour l'eau potable.

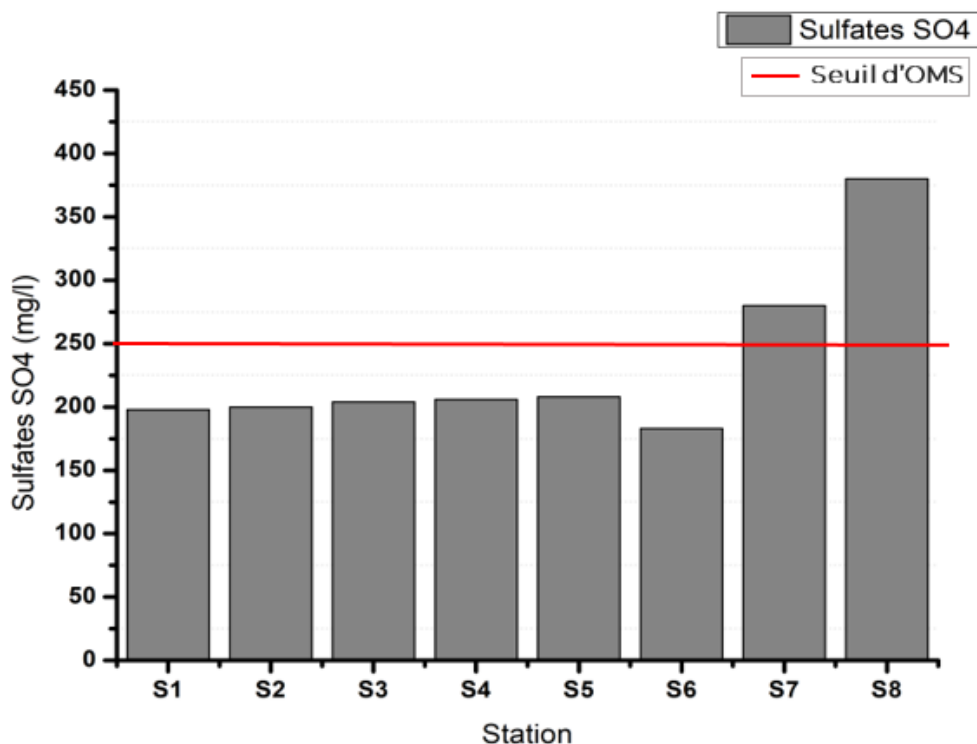


FIGURE 4.12 – Variation de la concentration des sulfates des eaux des 8 stations de prélèvement

Les stations S1 à S6 affichent des niveaux constants, oscillant entre 183 et 208 mg/L, donc en dessous de la recommandation de l'OMS.

À partir de S7, on observe une augmentation notable (280 mg/L), qui dépasse légèrement la norme. La station S8 révèle une valeur largement au-dessus de la norme, atteignant environ 380 mg/L, ce qui pourrait poser un risque pour la qualité de l'eau.

Ces valeurs enregistrées de sulfates dans les stations en amont (S7, S8) peuvent être attribuées à des apports naturels (érosion de roches riches en gypse ou en anhydrite), ainsi qu'à des rejets d'origine agricole (fertilisants à base de sulfate).

4.1.13 Phosphates PO_4^{3-}

La figure 4.12 présente la variation de la concentration en phosphates (PO_4^{3-}) pour les huit (08) stations de prélèvement

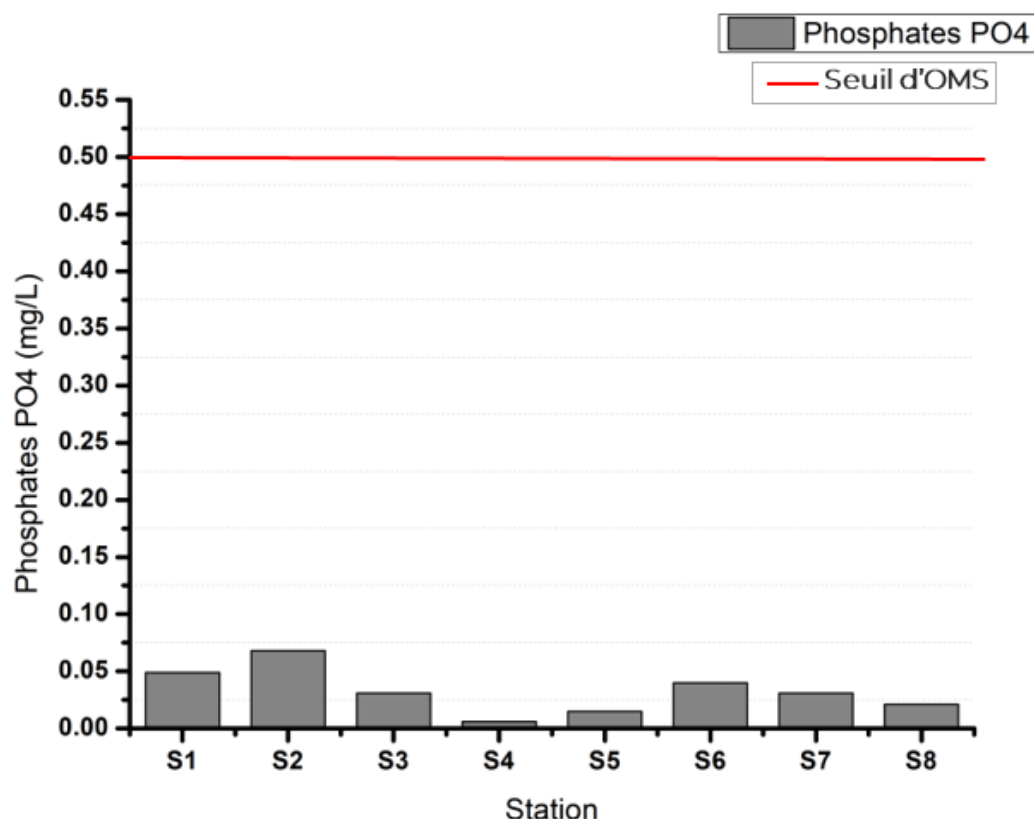


FIGURE 4.13 – Variation de la concentration des phosphates des eaux des 8 stations de prélèvement

Les niveaux de phosphates mesurés dans les différentes stations (S1 à S8) du barrage de Kef Eddir sont faibles et restent largement inférieurs à la limite maximale recommandée par l'OMS, fixée à 0,5 mg/L pour l'eau destinée à la consommation humaine.

Ces résultats montrent une faible contamination par le phosphore, indiquant une gestion efficace des apports en phosphates dans le bassin versant. Cela pourrait être attribué à l'absence de décharges domestiques directes, de ruissellement important d'engrais ou de rejets industriels contenant des phosphates dans les zones considérées.

4.2 Évaluation de la qualité des eaux du barrage à l'aide des indices l'IQE

Afin d'interpréter les données sur la qualité de l'eau du barrage de Kef Eddir de manière simple et compréhensible, deux indices de qualité de l'eau ont été utilisés, tels que CCME et Horton. De plus, cette étude présente également une comparaison entre les résultats des indices étudiés

4.2.1 Évaluation par l'indice de qualité de l'eau du CCME

Afin de synthétiser la qualité globale de l'eau du barrage Kef Eddir, on a intégré l'indice CCME pour évaluer l'eau dans chaque station de prélèvement.

Cet indice permet d'intégrer plusieurs paramètres physico-chimiques dans une seule valeur représentative, facilitant ainsi la comparaison spatiale de la qualité de l'eau entre les différentes stations.

L'indice CCME-WQI repose sur trois facteurs :

$$F_1 = \left(\frac{\text{NombreDeParamètresNonConformes}}{\text{NombreTotalDeParamètres}} \right) \times 100$$

F1, qui reflète l'intensité de non-conformité des paramètres mesurés par rapport aux standards

$$F_2 = \left(\frac{\text{NombreDeRésultatsNonConformes}}{\text{NombreTotalDeRésultats}} \right) \times 100$$

F2, qui évalue la fréquence à laquelle ces standards sont dépassés

$$F_3 = \left(\frac{sncé}{0.01 \times snce + 0.01} \right)$$

Avec :

$$snce = \left(\frac{\sum_i \text{Coefficient d'écart}_i}{\text{Nombre total des résultats}} \right)$$

F3, qui indique l'ampleur des écarts observés.

Les valeurs obtenues pour ces trois dimensions(**F1 : étendue, F2 : fréquence, et F3 : ampleur**) ont ensuite été combinées selon la formule normalisée du CCME-WQI ce qui a permis d'obtenir un indice compris entre 0 et 100. Cet indice permet de classer la qualité de l'eau sur une échelle de performance environnementale répartie en cinq catégories : **excellente, bonne, moyenne, marginale, ou mauvaise**.

$$IQE_{du_CCME} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$$

Le tableau 4.2 présente les valeurs des facteurs F1, F2, F3 ainsi que les valeurs de l'IQE correspondantes à chaque station.

TABLEAU 4.2 – Résultats de calcul de l'indice de qualité de l'eau pour chaque station de prélèvement

Station	F1	F2	F3	WQI
S1	14,29	14,29	1,55	88,30
S2	21,43	21,43	1,38	82,48
S3	14,29	14,29	1,51	88,30
S4	21,43	21,43	2,42	82,45
S5	21,43	21,43	0,93	82,49
S6	21,43	21,43	8,09	81,9
S7	35,71	35,71	27,45	66,81
S8	35,71	35,71	36,37	64,06

Les résultats du calcul global de l'indice de qualité de l'eau (IQE) du CCME pour les échantillons d'eau prélevés aux stations d'échantillonnage indiquent que la qualité de l'eau varie considérablement selon les zones du barrage de Kef Eddir.

L'analyse des valeurs de l'indice de qualité de l'eau (IQE) calculées selon la méthode du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) pour les huit stations de prélèvement montre une qualité globalement bonne de l'eau, avec quelques variations notables selon les emplacements.

Les stations S1, S2, S3, S4, S5 et S6 affichent toutes une qualité de l'eau jugée «bonne», présentant des indices de qualité de l'eau (IQE) allant de 81,90 à 88,30, ce qui les place dans la catégorie de qualité [80 – 94]. Ces résultats reflètent une conformité globale aux standards de qualité définis par le CCME.

La station S7 présente une qualité "moyenne" avec un IQE de 66,81, se situant dans la classe [65 – 79], ce qui indique une dégradation plus marquée de la qualité de l'eau par rapport aux stations aval.

La station S8 enregistre la valeur la plus faible avec un IQE de 64,06, située dans la classe [45 – 64], correspondant à une qualité "marginale". Ce résultat explique une pression accrue, probablement liée à sa position en amont et à l'accumulation des polluants d'origine naturelle ou anthropique.

L'ensemble de ces résultats est illustré dans le tableau 4.3 et la figure 4.14, qui présente la répartition des IQE-CCME par station de prélèvement.

TABLEAU 4.3 – Les classes de qualité de l'eau pour chaque station de prélèvement

Station	WQI	La qualité
S1	88,30	Bonne
S2	82,48	Bonne
S3	88,30	Bonne
S4	82,45	Bonne
S5	82,49	Bonne
S6	81,9	Bonne
S7	66,81	Moyenne
S8	64,06	Marginale

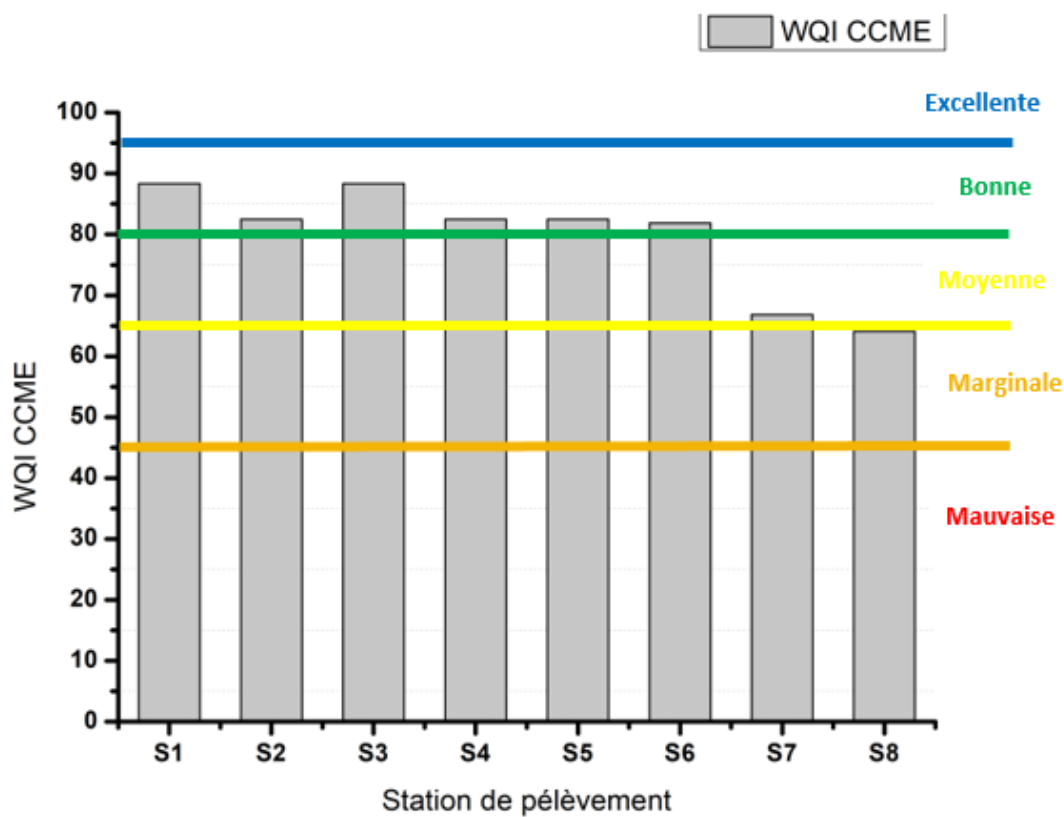


FIGURE 4.14 – Les classes de qualité de l'eau pour chaque station de prélèvement

4.2.2 Évaluation globale de l'eau du barrage avec l'indice CCME

Pour avoir une vision claire et globale de la qualité des eaux du barrage de Kef Eddir, il est important de ne pas se limiter à l'analyse de chaque station de prélèvement séparément.

C'est la raison pour laquelle un indice unique de qualité de l'eau a été calculé. Cette démarche permet de synthétiser l'état global de la qualité de l'eau du barrage et d'avoir une vision intégrée, indépendante des variations locales.

L'IQE – CCME global obtenu est de 74,41 ce qui classe la qualité de l'eau du barrage dans la catégorie « moyenne », conformément aux seuils établis par le CCME.

Le tableau 4.4 présente les résultats obtenus

TABLEAU 4.4 – Résultats de calcul de l'indice de qualité de l'eau global

F1	F2	F3	WQI	Classification
35,71	23,21	12,25	74,41	Moyenne

4.2.3 Évaluation par l'indice de qualité de l'eau de Horton

L'indice de qualité de l'eau proposé par Horton est un outil simple permettant d'évaluer la qualité globale d'une eau à partir de plusieurs paramètres physico-chimiques.

Il repose sur le calcul de sous-indices q_i pour chaque paramètre, pondérés ensuite par un poids w_i , reflétant leur importance.

4.2.4 Les poids des paramètres

Les poids reflètent l'importance relative de chaque paramètre dans l'évaluation globale. Ils sont attribués manuellement par des experts, souvent selon les impacts sur la santé humaine ou l'écosystème.

4.2.5 Calcul des sous-indices d'Horton

Le tableau 4.5 donne les poids et sous indices des paramètres de qualité de l'eau pour les huit (08) stations de prélèvement.

TABLEAU 4.5 – Poids et sous-indices des paramètres de qualité de l’eau pour les stations S1 à S8

		Sous-indices (qi)							
Paramètres	Poids (wi)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Température	2	15,20	15,20	15,20	14,40	14,00	13,60	12,20	28,00
pH	4	37,50	37,50	40,00	40,00	42,00	41,00	43,00	132,00
OD	4	84,00	86,00	84,00	76,20	91,00	139,00	182,20	800,00
Conductivité	2	1,67	0,0	0,33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turbidité	2	96,00	88,00	72,00	38,00	24,00	0,0	0,0	0,0
TDS	2	57,27	57,40	57,07	56,53	56,33	56,33	56,20	111,73
Salinité	2	56,00	56,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	108,00
MES	2	99,84	98,64	99,66	99,44	99,66	99,84	99,76	199,76
MO	2	98,20	98,17	98,34	98,16	98,21	98,21	98,21	196,41
NO ₂ ⁻	3	87,00	90,00	84,00	80,00	84,00	77,00	77,00	84,00
NO ₃ ⁻	3	99,77	99,81	99,19	98,76	99,32	99,09	97,76	99,30
NH ₄ ⁺	2	82,20	99,00	78,20	93,20	90,60	88,60	95,00	96,20
SO ₄ ²⁻	2	20,80	20,00	18,40	17,60	16,80	26,80	0,0	0,0
PO ₄ ³⁻	2	90,20	86,40	93,80	98,80	97,00	92,00	93,80	95,80

Les valeurs nulles corresponds à des valeurs négatives des sous indices d’horton.

Ainsi, les indices d’Horton pour chaque station de prélèvement sont donnés par la formule suivante :

$$IQE_{d'Horton} = \frac{\sum w_i q_i}{\sum w_i}$$

Le tableau 4.6 présente les résultats des calculs de l’indice de qualité de l’eau Horton pour chaque point de prélèvement, ainsi que la classe de qualité attribuée :

TABLEAU 4.6 – Valeurs d'IQE selon la méthode de Horton et la classification de qualité par station

Station	WQI (Horton)	La qualité
S1	67,09	Moyenne
S2	67,65	Moyenne
S3	65,36	Moyenne
S4	62,98	Moyenne
S5	64,21	Moyenne
S6	60,79	Moyenne
S7	41,68	Mauvaise
S8	29,59	Très mauvaise

L'analyse des indices de qualité des eaux (IQE-Horton) calculés pour les huit stations de prélèvement révèle une variation significative de la qualité de l'eau sur l'ensemble du site étudié. Les résultats obtenus se répartissent selon les classes de qualité définies par Horton comme suit :

- Les stations S1 à S6 affichent toutes une qualité d'eau "moyenne", avec des valeurs de l'IQE qui varient entre 60,79 et 67,65, correspondant à la classe [51 – 70].

Cette classe traduit une situation légèrement dégradée, nécessitant un suivi régulier, mais sans danger immédiat pour les usages courants de l'eau. Cette qualité moyenne peut être attribuée à des sources de pollution diffuses, telles que les apports agricoles, le ruissellement ou l'érosion des sols, sans toutefois entraîner de dépassements critiques des seuils. Ces stations sont situées à proximité de la digue du barrage, où les mesures ont été effectuées à 2 mètres de profondeur. On y observe des concentrations en oxygène dissous inférieures au seuil minimal recommandé par l'OMS (5 mg/L). Ce déficit en oxygène peut s'expliquer par une faible circulation de l'eau en aval du plan d'eau, associée à la stagnation, ainsi qu'à l'accumulation et la dégradation de matière organique, processus qui consomment l'oxygène.

- La station S7 affiche une qualité "mauvaise", avec un IQE de 41,68, se situant dans la classe [31 – 50]. Cette valeur reflète une détérioration plus marquée de la qualité de l'eau, probablement due à des rejets localisés ou à une accumulation de polluants dans cette zone.

- La station S8 présente une qualité "très mauvaise", avec la valeur la plus basse enregistrée de l'IQE (29,59), classée dans la catégorie [0 – 30]. Ce niveau indique une pollution significative, nécessitant une

attention particulière. Cette station, située en amont, semble être la plus impactée, recevant probablement les apports polluants cumulés du bassin versant, notamment par érosion, ruissellement agricole.

Globalement, la qualité de l'eau du barrage varie de moyenne à très mauvaise, avec une dégradation progressive vers l'amont. Ces résultats soulignent l'importance de mettre en place un plan de gestion ciblé, notamment pour les stations S7 et S8, où la qualité de l'eau devient préoccupante.

L'ensemble de ces résultats est illustré dans le tableau 4.6 et la figure 4.15, qui présente visuellement la répartition des IQE selon les stations de prélèvement.

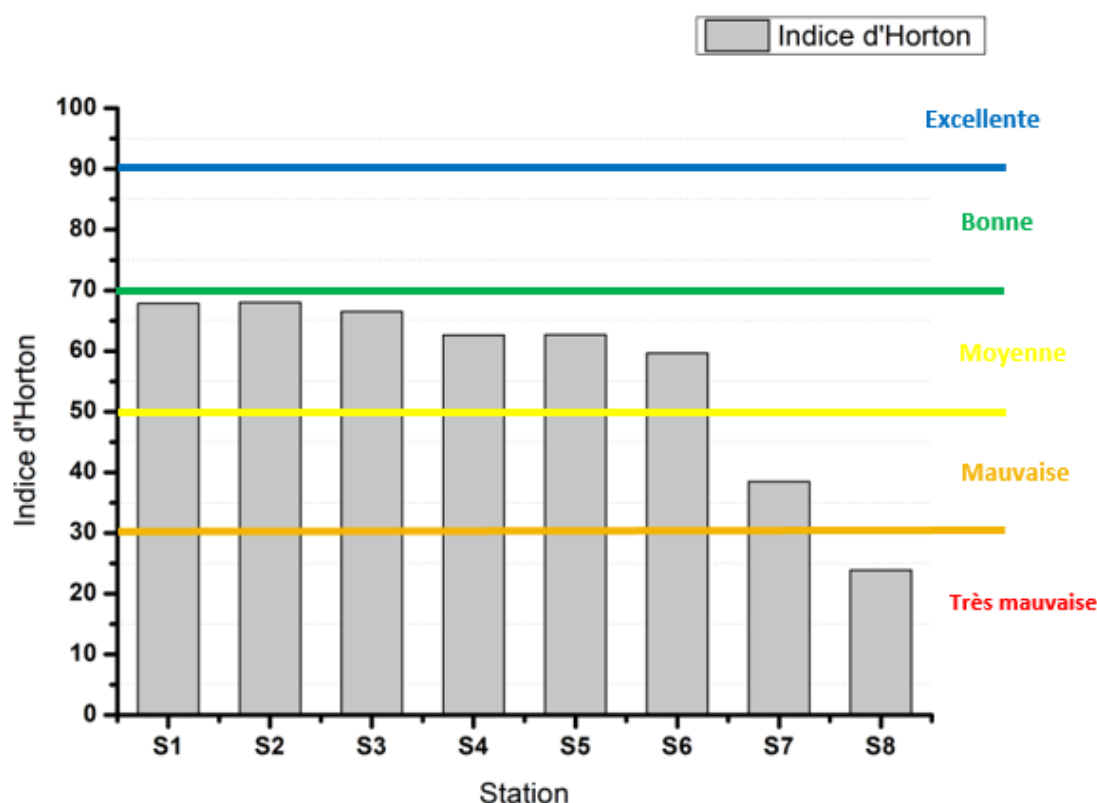


FIGURE 4.15 – Variation de l'indice d'Horton pour toutes les stations de prélèvement

4.3 Évaluation temporelle de l'eau du barrage

Dans le but de suivre l'évolution de la qualité de l'eau dans le temps, une évaluation temporelle a été réalisée en se basant sur les mesures physico-chimiques relevées sur plusieurs jours.

Ces analyses couvrent un ensemble de paramètres essentiels permettant de juger de la qualité globale de l'eau.

Les données exploitées proviennent de l'historique des analyses du laboratoire de la station de traitement du barrage de Kef Eddir, qui a commencé à effectuer des suivis réguliers à partir du mois de mars. Étant donné que les eaux analysées proviennent de la prise d'eau du barrage.

TABLEAU 4.7 – Résultats de calcul de l'indice de qualité de l'eau global

Parameter	tempé	turbi	PH	condu	TDS	salini	OD	nitrite	nitrate	sulfate	MES
L'unité	°C	NTU	/	µs/cm	mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
OMS	25	5	8,5	1500	1500	1	50	0,1	50	250	1
02/04/2025	17,3	1,54	8,37	925	657	0,45	51,4	0,009	0,8	210	1,9
09/04/2025	19,2	3,11	8,19	935	664	0,46	54	0,008	0,7	220	2
23/04/2025	20,5	3,47	8,36	932	661	0,46	52,8	0,005	0,9	220	1,7
26/04/2025	10,9	1,39	8,35	933	663	0,46	58,8	0,006	1,2	220	2,3
01/05/2025	24,8	3,5	8,37	928	659	0,45	52,6	0,007	0,8	250	2,1

4.3.1 Indice CCME

Le tableau 4.8 donne les classes de qualité de l'eau selon l'indice CCME pour les différentes dates de prélèvement

TABLEAU 4.8 – Les classes de qualité de l’eau pour les différentes dates selon IQE CCME

Date	WQI	Classification
02/04/2025	91,32	Bonne
09/04/2025	90,96	Bonne
23/04/2025	91,70	Bonne
26/04/2025	89,91	Bonne
01/05/2025	91,27	Bonne

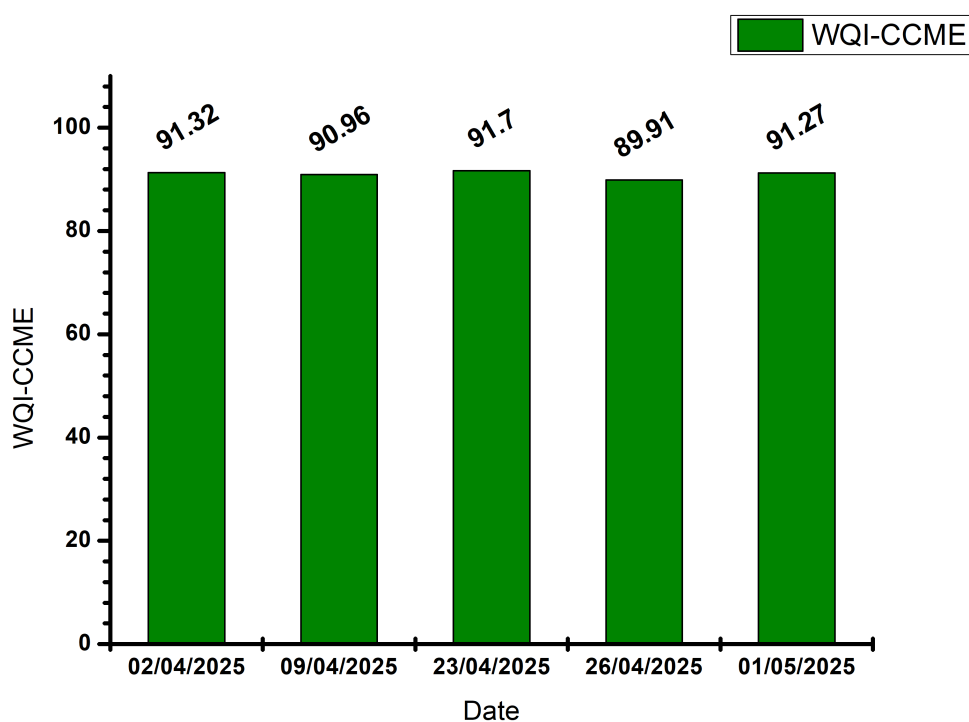


FIGURE 4.16 – Variation des valeurs de l’indice de qualité de l’eau CCME pour différentes dates

Les valeurs du IQE restent stables entre 89,91 et 91,70, ce qui classe l’eau comme bonne pendant toute la période. Cela montre que la qualité de l’eau est globalement satisfaisante. Il n’y a pas eu de changement important entre les différentes dates

4.3.2 Indice d'Horton

TABLEAU 4.9 – Évolution du WQI d'Horton selon les dates d'analyse

Date	WQI d'Horton	Qualité
02/04/2025	53,27	Moyenne
09/04/2025	51,06	Moyenne
23/04/2025	51,39	Moyenne
26/04/2025	54,51	Moyenne
01/05/2025	46,02	Mauvaise

Les valeurs du WQI varient entre 46,02 et 54,51 au cours de la période allant du 02/04/2025 au 01/05/2025. Ces résultats indiquent une qualité d'eau globalement moyenne, à l'exception du 01/05/2025 où elle est jugée mauvaise. La stabilité relative des valeurs (autour de 50) suggère qu'il n'y a pas eu de variations significatives de la qualité de l'eau durant cette période, bien qu'une légère dégradation soit observée vers la fin.

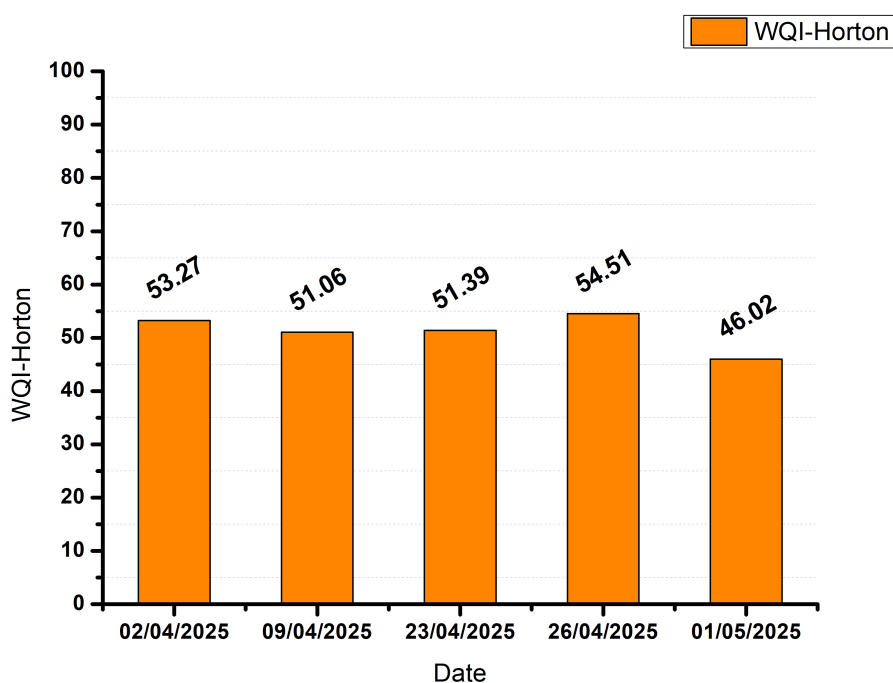


FIGURE 4.17 – Variation des valeurs de l'indice d'Horton pour différentes dates

4.3.3 Comparaison entre les résultats des station S1 et S2 avec ceux du laboratoire du barrage

Indice CCME

Les résultats obtenus pour les stations S1 (88,32) et S2 (82,50) montrent une qualité de l'eau classée comme «bonne», ce qui est en accord avec les données historiques enregistrées par le laboratoire du barrage, dont les WQI-CCME varient entre 89,91 et 91,70 sur la période du 02/04/2025 au 01/05/2025. Cette concordance confirme que les stations S1 et S2, situées à proximité de la prise d'eau du barrage, reflètent fidèlement l'état de la qualité de l'eau observé historiquement dans cette zone.

La légère différence entre les valeurs peut s'expliquer par des variations locales ou temporelles mineures, sans impact significatif sur la classification globale.

Indice d'Horton

Les résultats de l'indice d'Horton pour les stations S1 et S2 indiquent une qualité d'eau moyenne. En comparaison, les données historiques du laboratoire du barrage présentent des valeurs plus faibles, allant de 46,02 à 54,51, mais restent également dans la même classe de qualité.

Cette différence peut traduire une amélioration relative des conditions actuelles dans la zone de prélèvement. Il convient toutefois de noter que certains paramètres, comme le phosphate (PO_4^-) et l'ammonium (NH_4^+), n'ont pas été analysés dans les séries historiques du laboratoire, alors qu'ils ont été mesurés dans les échantillons récents avec des concentrations conformes aux seuils de qualité. Leur contribution favorable au calcul du IQE d'Horton peut expliquer en partie l'écart observé entre les résultats.

4.4 Comparaison entre les deux indices de qualité de l'eau

Afin de comparer les deux indices de qualité de l'eau, il est essentiel d'identifier les paramètres les plus influents dans le calcul de l'indice canadien (CCME-WQI). Pour cela, une analyse par régression a été réalisée, permettant d'estimer le poids relatif de chaque paramètre sur la variation de l'indice.

Les coefficients obtenus sont présentés dans le tableau 4.10 .

TABLEAU 4.10 – Les poids positifs des paramètres dans le calcul du WQI selon la régression

Paramètres	Poids
Température (°C)	+7,37
NH4 (mg/L)	+1,57
pH	+0,63
MES (mg/L)	+0,32
Turbidité (NTU)	+0,25
MO (mg/L)	+0,05

Les résultats obtenus montrent que la température est le paramètre prédominant dans le calcul de l'indice CCME, en raison de son poids élevé. Par contre le reste des paramètres n'ont pas une grande influence dans le calcul de l'indice CCME.

Le tableau 4.5 présente les poids des paramètres pour l'indice d'Horton qui sont établis par des experts.

Ces données révèlent que l'oxygène dissous et le pH dominent dans le calcul de l'indice de Horton, du fait de leur importance significative. Cette prépondérance justifie leur influence notable sur l'évaluation de la qualité de l'eau, variant entre « moyenne » et « très mauvaise », en raison des valeurs mesurées de l'oxygène dissous et le PH qui sont, dans la majorité des stations de prélèvement, non conformes aux normes recommandées.

Donc l'évaluation de la qualité de l'eau du barrage à l'aide des deux indices – l'indice de qualité de l'eau du CCME (IQE- CCME) et l'indice de Horton – met en évidence des tendances globalement cohérentes, mais avec des différences notables dans la classification finale, liées à la pondération des paramètres dans chaque méthode.

Les deux méthodes indiquent une qualité de l'eau "bonne à moyenne" pour les stations S1 à S6, mais l'indice de Horton classe ces stations en qualité "moyenne", tandis que l'indice CCME les positionne dans la catégorie "bonne". Cette divergence s'explique en grande partie par la pondération des paramètres dans les deux méthodes :

4.5 Classification des eaux du barrage Kef Eddir

Pour évaluer les eaux du barrage de Kef Eddir, une approche normalisée a été mise en place, fondée sur les données physico-chimiques recueillies. Cette méthode permet de positionner objectivement la qualité de l'eau par rapport à des références établies, et d'évaluer son potentiel pour divers usages (consommation, irrigation, protection des écosystèmes. ...).

La classification utilisée repose sur une grille comparative constituée de quatre catégories de qualité (1A, 1B, 2 et 3), chacune indiquant un degré de dégradation croissant. Elle s'appuie sur les limites acceptées pour plusieurs critères. Chaque critère mesuré dans les stations du réservoir a été confronté aux seuils spécifiés dans la classification (tableau 1.7).

Le tableau 4.11 expose les classes du barrage Kef Eddir :

TABLEAU 4.11 – Classification des eaux du barrage Kef Eddir

Paramètre	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Température	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B
pH	2	2	2	2	2	2	2	2
OD	2	2	2	2	2	1B	1A	1A
Conductivité	2	3	2	3	3	3	3	3
MES	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A
NO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-
NO ₃	2	2	2	2	2	2	2	2
NH ₄	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A	1A
SO ₄	-	-	-	-	-	-	-	-

4.6 Discussion des résultats finales

- Les stations S1   S6, présentent selon l'indice CCME une qualité "bonne" (IQE entre 81,90 et 88,32), tandis que l'indice de Horton les classe en qualité "moyenne" (entre 60,79 et 67,65). Cette

différence de classement est principalement liée aux critères de pondération des deux indices.

L'indice CCME met davantage l'accent sur des paramètres tels que la température et l'ammonium, dont les valeurs mesurées dans ces stations sont restées conformes aux normes de qualité. En revanche, l'indice de Horton accorde une pondération plus importante à l'oxygène dissous et au pH, deux paramètres qui, dans ces zones profondes à faible renouvellement, présentent fréquemment des niveaux inférieurs aux seuils recommandés pour l'oxygène dissous et des valeurs supérieures aux limites fixées pour le pH. Cette situation contribue à une baisse significative de la classe finale attribuée par l'indice de Horton.

- Les stations S7 et S8, situées à l'amont du barrage, affichent une qualité plus dégradée. Le CCME les classe en "moyenne" (S7) et "marginale" (S8), tandis que l'indice de Horton les qualifie de "mauvaise" à "très mauvaise". Cette détérioration pourrait être liée à des apports directs en polluants provenant du bassin versant, comme les rejets agricoles, les écoulements de surface, ou encore l'érosion des sols en amont.

En définitive, malgré l'utilisation de méthodologies différentes, les deux indices aboutissent à une conclusion similaire : la qualité de l'eau semble s'améliorer de l'amont vers l'aval, où la classe prédominante est qualifiée de "moyenne", ce qui est confirmé également avec le système de classification des eaux du barrage (tableau 4.11).

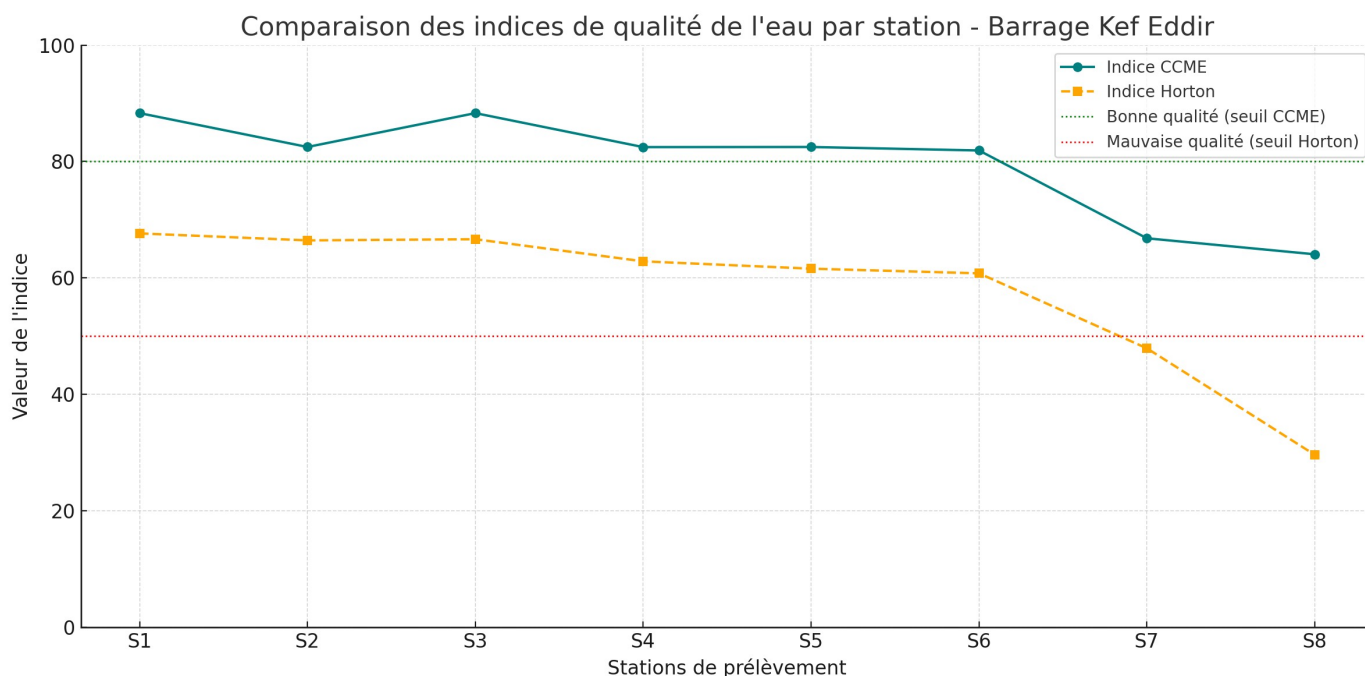


FIGURE 4.18 – Résultats finaux obtenus par les deux indices de qualité de l'eau

4.7 Recommandations pour suivre la qualité des eaux du barrage

- Renforcement du suivi régulier de la qualité de l'eau. Établir un système de surveillance continue, en particulier pour les paramètres critiques (oxygène dissous, ammonium, nitrates, phosphates...), afin de détecter immédiatement toute dégradation.
- Contrôle des rejets agricoles et favoriser l'utilisation judicieuse des engrais et pesticides dans la zone de drainage.
- Création de zones de protection plantées autour du barrage pour réduire l'écoulement de contaminants vers le plan d'eau, et facilitent la rétention des particules en suspension, des nutriments et des polluants.
- Entretien et gestion des infrastructures hydrauliques. Assurer le bon fonctionnement de la vidange de fond, des évacuateurs de crues et de la station de traitement, afin d'éviter l'accumulation prolongée de polluants.
- Amélioration des capacités de traitement des eaux. En cas de pollution répétée, il pourrait être nécessaire de moderniser ou de renforcer les installations de purification de l'eau potable alimentées par le barrage.

4.8 Conclusion

D'après les résultats obtenus par les indices utilisés, la qualité de l'eau du barrage Kef Eddir est globalement moyenne.

L'indice d'Horton indique une qualité allant de moyenne à mauvaise, tandis que l'indice CCME montre une qualité bonne à marginale.

Cette différence reflète la sensibilité de chaque indice aux paramètres choisis. La comparaison met en évidence l'intérêt d'utiliser plusieurs indices pour une évaluation plus complète.

Cependant, l'absence de certaines données, comme la DCO et la DBO limite l'interprétation.

Un suivi régulier et étendu à l'ensemble du bassin est nécessaire pour améliorer l'évaluation de la qualité de l'eau.

Conclusion générale

Le barrage de Kef Eddir, situé dans la commune de Damous, représente une ressource stratégique pour la région, tant pour l'irrigation que pour l'alimentation en eau potable, et la préservation écologique. Cependant, la qualité de ses eaux est affectée par les activités humaines dans le bassin versant, en particulier l'agriculture, ainsi que par des facteurs naturels tels que l'érosion ou le ruissellement.

Les résultats obtenus montrent que les paramètres physico-chimiques analysés affichent, dans l'ensemble, des valeurs conformes ou proches des normes recommandées par l'OMS. La conductivité, les TDS, ainsi que les nutriments tels que les nitrates et les nitrites, présentent des variations d'une station à une autre, mais restent généralement dans les limites acceptables. De même, les niveaux d'oxygène dissous indiquent une variation spatiale manifeste, avec des valeurs plus basses en aval et une amélioration en amont.

Pour évaluer la qualité de l'eau, deux indices ont été utilisés : l'indice CCME et l'indice d'Horton. L'indice CCME a montré une qualité allant de bonne à marginale selon les stations, tandis que l'indice d'Horton a révélé une qualité moyenne à très mauvaise. Cette différence s'explique par la méthode de calcul et les paramètres pris en compte, comme l'oxygène dissous et le PH qui influencent fortement l'indice d'Horton.

L'utilisation de plusieurs indices permet d'avoir une vision plus complète de la situation.

En conclusion, il est important de surveiller régulièrement la qualité de l'eau du barrage de Kef Eddir, de limiter les sources de pollution et d'utiliser différents indices pour une gestion durable de cette ressource.

BIBLIOGRAPHIE

- **Abbasi, S. A., & Abbasi, T. (2012).** Indices de qualité de l'eau. Elsevier, pp. 353–356.
<https://www.researchgate.net/publication/264746412>
- **Akratos, S. (2025).** A Review on Water Quality Indices. Hydroécologie et ingénierie, 2(1), 10003.
<https://doi.org/10.70322/hee.2025.10003>
- **Alloune, M. & Gouader, Y. (2003).** Contrôle de qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la région de Bordj Bou Arréridj [Mémoire de master, Université Mohamed El Bachir El-Ibrahimi – Bordj Bou Arréridj], p. 87.
- **ANBT. (2015).** Rapport environnemental du projet Kef Eddir. Direction de l'environnement.
- **ANBT. (2016).** Construction du barrage Kef-Eddir wilaya de Tipaza. Rapport technique.
- **ANRH. (2013).** Étude d'impact environnemental du barrage de Kef Eddir. Rapport imprimé.
- **Ayad, J. (2017).** Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : Cas des puits de la région d'El-Harrouch (wilaya de Skikda) [Mémoire de master, Université de Skikda].
- **Bara, Y. (2016).** Étude comparative de la qualité physicochimique et bactériologique de l'eau du barrage de Hammam Debagh avant et après traitement [Mémoire de master, Université 8 Mai 1945 Guelma].
- **Boeglin, J. (1983).** Contrôle des eaux douces et de consommation humaine. Éditions Techniques de l'Ingénieur, pp. 2–8.
- **Boeglin, J. (2001).** Propriétés des eaux naturelles. Techniques de l'ingénieur, Traité Environnement, G 1110.

- **Bordalo, P. (2001).** Qualité de l'eau et utilisations de la rivière Bangpakong (Est de la Thaïlande). Water, pp. 3635–3642.
- **Bouridi, W., Fardjallah, S., & Saaidia, N. (2017).** Traitement et critères de potabilité de l'eau (les normes) [Mémoire de master, Université 8 Mai 1945 Guelma].
- **Bremond, R., & Vuichard, R. (1973).** Paramètres de la qualité des eaux. OSPEPE, Paris.
- **CCME. (2001).** Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : Indice de la qualité des eaux du CCME 1.0. Manuel de l'utilisateur. Winnipeg : Conseil canadien des ministres de l'Environnement.
- **De Villers, J., Squilbin, M., & Yourassowsky, C. (2005).** Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement.
- **EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2003).** Rapport complémentaire. Drinking Water Advisory : Consumer Acceptability Advice and Health Effects Analysis on Sulfate, EPA 822-R-03-007.
https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-09/documents/support_cc1_sulfate_healtheffects.pdf
- **Gaujous, D. (1985).** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire (Éd. revue et augmentée). p. 49.
- **Guechi, H., & Leulmi, A. (2016).** Les eaux superficielles : caractérisation physico-chimique et aptitude [Mémoire de master, Université Badji Mokhtar – Annaba].
- **Hamida, M. (2016).** Impact de la mise en eau du barrage Kef Eddir sur la nappe phréatique à l'aval (Tipaza).
- **Horton, R. K. (1965).** An index number system for rating water quality. Journal de la Fédération de contrôle de la pollution de l'eau, 37(3), 300–306.
- **Imken, F. (2015).** Les étapes de traitement des eaux et contrôle de qualité [Mémoire de licence, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah].
- **INRF (Institut National de la Recherche Forestière). (2014).** Etude des milieux forestiers littoraux : climat, flore et zones bioclimatiques de Tipaza — cas de Damous.

- **Kourchi. (2010).** Achèvement du système d'épuration de la ville de Draa El Mizan [Mémoire de fin d'études, UMMTO], p. 27.
- **Larbi, A. (2004).** Contribution à l'étude de la qualité des eaux de barrages de la région centre de l'Algérie [Mémoire d'ingénieur, École Nationale Supérieure de l'Hydraulique, Blida].
- **Lefevre, J, G. (1991).** Les analyses d'eau avec les tests prêts à l'emploi. Merck-Clevenot.
- **Loumi, M., & Yefsah, A. (2010).** Valorisation des eaux usées traitées en irrigation : Cas de la station d'épuration Est de Tizi Ouzou [Mémoire d'ingénieur], p. 134.
- **Malaoui, S., & Agoudjil, N. (2015).** Étude de la qualité des eaux de surface et des eaux traitées : Cas des barrages de Koudiat Medaouar et de Aïn Zada [Mémoire de master, Université Larbi Ben M'hidi – Oum El Bouaghi].
- **Md Galal Uddin, S, N., & Olbert, A. I. (2021).** Review of water quality index models and their use for assessing surface water quality.
- **MEDD & Agence de l'eau. (2003).** Rapport complémentaire : Justifications des seuils des classes d'aptitude à la biologie et aux usages.
- **Moletta, R., & Torrijos, M. (1999).** Techniques de l'ingénieur : article de référence F1500 v1.
- **Myrand, D. (2008).** Guide technique : captage d'eau souterraine pour des résidences isolées.
- **Nguengar, N. (2011).** Accès à l'eau potable et à l'assainissement : quels enjeux pour la santé dans les quartiers précaires – Cas de Gamkallé, Niamey [Mémoire de master, Université Abdou Moumouni, Niger].
- **OCDE. (2012).** Qualité de l'eau et agriculture : un défi pour les politiques publiques. États-Unis : OECD Publishing.
- **OPU-PCI. (2025).** Qualité de l'eau de surface et potable : Introduction au traitement de l'eau. ENP, p. 4.
- **Planificateur. (2025).** Climat du Damous. Rapport électronique.
<https://planificateur.a-contresens.net/afrique/algerie/wilaya-de-tipaza/damous/2500997.html>

- **Rodier, J. (2005).** L'analyse de l'eau : eaux résiduaires, eaux de mer. 8 éd., Dunod, Paris, pp. 1383–1479.
- **Rodier, J. (2009).** L'analyse de l'eau. 9 éd., Dunod Bordas, Paris, 526 p.
- **Sironneau, J. (1998).** Le droit international de l'eau existe-t-il ? Évolution et perspectives pour la résolution des conflits d'usages. Congrès international de Kaslik, Liban, p. 1.
- **Tardat-Henry, M. (1992).** Chimie des eaux (2 éd.).