

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REpubLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة

التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

En : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Par : Benrahou Ilhem

Sujet

Analyse comparative des modèles d'indice de la qualité des eaux de surface
(cas du barrage de Keddara)

Soutenu publiquement, le 25 /09 /2023 , devant le jury composé de :

Mr CHIBOUB FELLAH Abdelghani	Université de Tlemcen	Président
Mme LALLAM Faiza	Université de Tlemcen	Examineur
M/Mme BESSEDIK Madani	Université de Tlemcen	Encadreur
Mme ABDELBAKI Chérifa	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Année universitaire : 2023 /2024

REMERCIEMENT

Tout d'abord Je remercie Dieu tout puissant qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé de courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.

En second je remercie fortement mes parents de m'avoir toujours aidé et encouragé.

J'exprime toute ma gratitude à Monsieur le professeur BESSEDIK Madani pour sa disponibilité, ses conseils, sa suggestion, son précieux conseil et son aide qu'il m'a prodigué durant toute la période du travail ainsi que pour le temps qu'il m'a consacré, et son encadrement.

Madame ABDELBAKI chérifa d'avoir accepté de Co-encadrer Ce travail.

Au président du jury, Mr CHIBOUB FELLAH Abdelghani, pour l'honneur de présider ce jury.

Je remercie également madame LALLAM Faiza d'avoir accepté de réviser ce modeste travail.

Je voudrais également remercier mes enseignants au département D'hydraulique de l'Université de Tlemcen.

Enfin, je remercie toute personne, qui de près ou de loin a contribué à l'élaboration de ce travail.

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect à : À ma très chère mère, qui est un exemple de dévouement car tu n'as jamais cessé de m'encourager et de prier pour moi. Que Dieu, le Tout-Puissant, te préserve et t'accorde santé, longue vie et bonheur. À mon père, qui a fourni tant d'efforts jour et nuit pour mon éducation et mon bien-être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

À mes frères Salim et Abdeljabar.

À ma grand-mère que j'aime.

À tous les proches de ma famille.

À mes amies, merci d'être toujours près de moi.

Résumé

Résumé :

L'analyse comparative des modèles d'indice de la qualité de l'eau est essentielle pour évaluer la qualité des eaux de surface. Ces modèles fournissent des outils permettant de mesurer la propreté de l'eau en utilisant divers paramètres chimiques, physiques et biologiques. Ils sont cruciaux pour évaluer l'efficacité des stations d'épuration et la conformité aux normes environnementales. Le choix du modèle dépend des objectifs spécifiques de surveillance de la qualité de l'eau et des données disponibles. Une utilisation judicieuse de ces modèles contribue à une gestion durable des ressources hydriques, cas de barrage de keddara

Mots clés: l'indice de qualité de l'eau; la qualité de l'eau; les eaux de surface; Barrage de KEDDARA

Abstract:

Comparative analysis of water quality index models is crucial for assessing the quality of the surface waters. These models provide tools to measure water cleanliness using various chemical, physical, and biological parameters. They are essential for evaluating the efficiency of treatment plants and compliance with environmental standards. The choice of model depends on specific water quality monitoring objectives and available data. Thoughtful use of these models contributes to sustainable water resource management, keddara dam case study

keywords: water quality index; surface waters; keddara dam; quality of water;

ملخص:

تحليل المقارن لنماذج مؤشر جودة المياه ضروري لتقييم جودة المياه السطحية. توفر هذه النماذج أدوات لقياس نظافة المياه باستخدام معلمات كيميائية وفيزيائية وبيولوجية متنوعة. إنها ضرورية لتقييم كفاءة محطات المعالجة والامتثال للمعايير البيئية. اختيار النموذج يعتمد على أهداف مراقبة جودة المياه المحددة والبيانات المتاحة. الاستخدام العاقل لهذه النماذج يسهم في إدارة مستدامة لموارد المياه لذا قمنا بدراسة جودة مياه سد قدارة .

الكلمات المفتاحية: مؤشر جودة المياه; المياه السطحية; جودة المياه سد قدارة

Sommaire

Remercîment

Dédicace

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale

Chapitre 01 : Généralité sur la qualité de l'eau

I.1 Introduction	2
I.2 La qualité de l'eau.	2
I.3 Les ressources des eaux	2
I.4 Les type des eaux.....	3
I.4.1 Les eaux souterraines.....	3
I.4.1.1 Définition des eaux souterraine	3
I.4.1.2 Les ressources de consommation des eaux souterraine..	5
I.4.1.3 Les avantage des eaux souterraine.....	6
I.4.2 Les eaux de surface	8
I.4.2.1 Définition des eaux de surface	8
I.4.2.2 Quantité des eaux de surface.....	9
I.4.2.3 Les source de pollution des eaux de surface	9
I.4.3 Les eaux usées	10
I.4.3.1 Définition des eaux usée..	1
I.4.3.2 L'origine des eaux usée	11
I.5 La qualité de l'eau	12
I.5.1 Les paramètres organoleptiques.....	12
I.5.1.1 La couleur	12
I.5.1.2 Gout et odeur	12
I.5.1.3 La turbidité	13
I.5.2 Les paramètres physico chimiques	14
I.5.2.1 La température	14

Sommaire

I.5.2.2 Le PH	15
I.5.2.3 La dureté.....	15
I.5.2.4 L'alcalinité	16
I.5.2.5 La conductivité	16
I.5.3 Les paramètres indésirables.....	17
I.5.3.1 Les matières organiques.....	17
I.5.3.2 L'azote.....	18
I.5.3.3 Le fer.....	18
I.5.3.4 Les hydrocarbure dissous.....	18
I.5.3.5 Les métaux lourds ou éléments en trace métalliques.....	19
I.5.4 Les paramètres toxiques.....	21
I.5.5 Les caractéristiques biologiques.....	21
I.6 Impacts de la pollution sur la qualité de l'eau	22
I.7 Les norme de la qualité de l'eau	23

Chapitre 02 : Les modèles de l'indice de qualité de l'eau

II.1 Introduction	26
II.2 Généralité sur L'indice de qualité de l'eau (IQE).....	26
II.3 Définition de l'indice de qualité de l'eau	27
II.4 Les modèles de l'indice de qualité de l'eau.....	29
II.4.1 Les indice de qualité de l'eau fondamentale	29
II.4.1.1 L'indice de qualité de l'eau par la méthode d'Horton	29
II.4.1.2 L'indice de qualité de l'eau SRDD	30
II.4.1.3 Indice de qualité de l'eau Columbia brithannique.....	31
II.4.1.4 Indice de qualité de l'eau en Malaisie (MWQI).....	33
II.4.2 1 ^{er} version modifiée de Développement historique du modèle IQE.....	35
II.4.2.1 L'indice de qualité de l'eau NSF (National sanitation Foundation)	35
II.4.2.2 L'indice de qualité de l'eau CCME	37
II.4.3 2 ^{ème} version modifiée de Développement historique du modèle IQE	41
II.4.3.1 L'indice de qualité de l'eau de l'Oregon	41
II.4.3.2 L'indice de West Java	44
II.4.3.3 Indice arithmétique pondéré de la qualité de l'eau (Weighted Arithmetic)	49
II.4.4 Fuzzy interface system (FIS).....	51

Sommaire

II.5 Une étude comparative des valeurs de poids des paramètres communs de qualité de l'eau en appliquant différents modèles d'IQE	53
---	----

Chapitre 03 : Calcule de l'indice de qualité de l'eau de barrage de keddara

III.1 Introduction	56
III.2 Présentation de barrage de KEDARRA	56
III.2.1 La situation de barrage de KEDARRA	56
III.2.2 Les caractéristiques générales du barrage sont les suivantes.....	57
III.2.3 La Retenue	57
III.2.3.1 Caractéristiques générales de retenue.....	58
III.2.3.2 Destination.....	58
III.3 Méthodologie et données	59
III.3.1 Base de données.....	59
III.3.2 Calcule de l'indice de qualité de l'eau	59
III.3.2.1 Calcule de l'indice de qualité de l'eau par la méthode CCME	59
III.3.2.2 Calcule de l'indice de qualité de l'eau par la méthode arithmétique	62
III.4 La comparaison entre les deux modèles	67

Conclusion générale

Bibliographie

La liste des figures

Figure I.1 : l'origine des eaux	3
Figure I.2 : Schéma de la nape libre et captive	5
Figure II.1 : Développement historique du modèle IQE	28
Figure III.1 : situation géographique barrage KEDDARA.....	57
Figure III.2 : le barrage de KEDARRA.....	58

La liste des tableaux

Tableau I.1: Les Sources de contamination des eaux souterraines.....	6
Tableau I.2: Les principales différence entre les eaux souterraines et les eaux de surface.....	8
Tableau I.3: les norme de la qualité de l'eau	24
Tableau II.1: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode d'Horton.....	29
Tableau II.2: les avantages et les inconvénients de l'indice d'Horton.....	30
Tableau II.3: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de SRDD.....	31
Tableau II.4: les avantages et les inconvénients de l'indice de SRDD.....	31
Tableau II.5: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de Columbia....	32
Tableau II.6: les avantages et les inconvénients de l'indice de Columbia britannique.....	33
Tableau II.7: La gamme des seuils des paramètres et leurs fonctions de sous-indice pour le calcul de la valeur du sous-indice (Department of Environment Malaysia)2005.....	34
Tableau II.8: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de Malaisie.....	35
Tableau II.9: les avantages et les inconvénients de l'indice de Malaisie.....	35
Tableau II.10: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de NSF.....	36
Tableau II.11: les avantages et les inconvénients de l'indice de NFS.....	37
Tableau II.12: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de CCME.....	39
Tableau II.13: les avantages et les inconvénients de l'indice de CCME.....	40
Tableau II.14: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de l'Oregon.....	42
Tableau II.15: les avantages et les inconvénients de l'indice de l'Oregon pondéré de la qualité de l'eau.....	42
Tableau II.16: Paramètres de qualité de l'eau, leurs seuils et les valeurs des sous-indices (l'indice de l'Oregon).....	43
Tableau II.17: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de West java.....	45
Tableau II.18: les avantages et les inconvénients de l'indice de West java.....	45
Tableau II.19: Paramètres de qualité de l'eau, leurs seuils et les valeurs des sous-indices (l'indice de west java).....	46
Tableau II.20: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de l'indice arithmétique pondéré de la qualité de l'eau.....	50
Tableau II.21: les avantages et les inconvénients de l'indice arithmétique.....	50
Tableau II.22: les avantages et les inconvénients de Fuzzy interface system.....	52
Tableau II.23: Une étude comparative des valeurs de poids des paramètres communs de qualité de l'eau en appliquant différents modèles d'IQE.....	54
Tableau III. 1 : Les recommandations des paramètres physico-chimiques de barrage.....	59
Tableau III .2 : IQE des eaux de surface de barrage KEDARRA par la méthode de CCME..	61

La liste des tableaux

Tableau III.3 : Poids des paramètres physico-chimiques et norme de qualité des eaux de surface.....	.62
Tableau III.4 : Valeurs de IQE et classe de qualité des eaux de Barrage pendant la période humide63
Tableau III.5 : Valeurs de IQE et classe de qualité des eaux de barrage pendant la période sèche64

La liste d'abréviation

Al³⁺ : L'aluminium (mg/l)

a : Normes de qualité de l'eau de l'Indonésie

b : Réglementation vietnamienne sur la qualité de l'eau de

CCME : Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement

CaCO₃ : carbonate de calcium (mg/l)

Ca : Calcium (mg /l)

Cr : Le chrome (mg/l)

CL : Le clore (Mg/L CL⁻)

Cu²⁺ : Le cuivre (mg/l)

Cr⁶⁺ : l'hexavalent (mg/l)

Cr³⁺ : le trivalent (mg/l)

COT : Carbone organique total

CO₂ : Le dioxyde de carbone

CO₃²⁻ : ions carbonate

CGS : le Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique

Condu : conductivité (μs /cm)

c : Guide ou niveau obligatoire selon la Directive 75/440/CEE

DCO : : Demande Chimique en Oxygène (mgO₂.L⁻¹)

DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène à 5 jours (mgO₂.L⁻¹)

d : Sous-indices de valeur

ETM : éléments en trace métalliques

EQ : Environmental Quality Index

E. coli : l'Escherichia coli

e : Directives de l'OMS pour la qualité de l'eau potable

°F : degrés français

FIS: Fuzzy interface system

F.T.U: Formazine Turbidity Unit

FC: Fecal coliform

Fe : Le fer (mg/l)

f : Concentration idéale pour le MBAS dans l'eau potable

H⁺ : ion hydrogène

HCO₃²⁻ : ion hydrogénocarbonate

IQE : l'indice de qualité de l'eau

La liste d'abréviation

J.T.U: Jackson Turbidity Unit

KMnO₄ : Oxydabilité au permanganate de potassium

MBAS: The methylene blue active substances

MES : matière en suspension

MetHb : méthémoglobine

Mn : Le manganèse (mg/l)

Mg: Magnésium (mg /l)

N.T.U: Nephelometric Turbidity Unit

NH₄⁺: Ammonium (mgN/l)

NO₂⁻ : le dioxyde d'azote (mgN/l)

NO₃⁻ : Les nitrates (mgN/l)

NH₃ : L'ammoniac (mg/l)

Ni²⁺ : Le nickel (mg/l)

NO₂⁻: les Nitrite (mg/l)

NSF : National Sanitation Foundation

OH⁻ : ions hydroxyde

OMS : L'organisation mondiale de la santé

O₂: oxygène

O₂diss : l'oxygène dissous

PB : plomb

PH : potentiel hydrogène

PO₄³⁻ : les Ortho-phosphates (mg/l)

Pb²⁺ : Le plomb (mg/l)

SS : Concentration en substrat rapidement biodégradable (mg O₂/ l)

SRDD: Scottish Research Development Department

Sn⁴⁺ : l'étain (mg/l)

SnO₂ : Le dioxyde d'étain

SC : Specific Con

T : (°C)

TA : Alcalinité

TAC : titre alcalimétrique complet

Tem : température

La liste d'abréviation

Turb: turbidité (NTU)

TON : Total Nitrogen

TP: T. Phosphate

TC: T. Coliforms

TS : Total Solide

Wi : Le poids relatif

Zn²⁺ : Le zinc (mg/l)

μS/cm : microsiemens par centimètre

% : Le signe pour cent

Introduction générale

L'eau est une ressource vitale pour la survie de toutes les formes de vie sur Terre, y compris les êtres humains. Cependant, la disponibilité d'eau douce de qualité est de plus en plus menacée en raison de la croissance démographique, de l'urbanisation, de l'industrialisation et des changements climatiques. Par conséquent, il est de la plus haute importance de surveiller et d'évaluer la qualité de l'eau afin de garantir la santé des écosystèmes aquatiques et la sécurité de l'approvisionnement en eau potable.

L'évaluation de la qualité de l'eau est un processus complexe qui nécessite la collecte, l'analyse et l'interprétation de données provenant de divers paramètres physiques, chimiques et biologiques. Pour simplifier cette tâche, de nombreux chercheurs et gestionnaires de l'eau ont développé des modèles d'indice de la qualité de l'eau. Ces modèles visent à synthétiser des informations complexes en une mesure unique ou en une échelle qui peut être utilisée pour évaluer la qualité de l'eau de manière plus accessible.

Cependant, il existe de nombreux modèles d'indice de la qualité de l'eau différents, chacun ayant ses propres avantages, inconvénients et domaines d'application. De plus, l'utilisation de ces modèles pour évaluer la qualité des eaux usées et épurées pose des défis spécifiques en raison des variations de composition et de qualité de ces eaux. Il est donc essentiel de comprendre en détail ces modèles et d'explorer leur pertinence pour évaluer la qualité des eaux usées et épurées.

Notre objectif principal dans ce mémoire, qui revêt une connotation bibliographique, est de mettre la lumière sur ces différentes méthodes de calcul de l'indice de qualité de l'eau, et d'en choisir deux d'entre elles, pour déterminer l'indice de la qualité de l'eau du barrage de Keddara. Nous avons organisé notre mémoire en deux parties, elles-mêmes constituées par trois chapitres :

- Une partie théorique divisée en deux chapitres :

Le premier chapitre a pour objectif de présenter une introduction générale sur la qualité de l'eau ainsi que les paramètres qui y sont associés. Ensuite, il aborde les normes de qualité de l'eau.

Dans le deuxième chapitre, nous abordons les différentes méthodes de calcul de l'indice de qualité de l'eau, ainsi que les avantages et les inconvénients de ces modèles. De plus, nous effectuons une étude comparative des valeurs de poids des paramètres communs de la qualité de l'eau en appliquant différents modèles d'indice de qualité de l'eau.

Introduction générale

- Et Une partie pratique :

Dans le dernier chapitre, nous allons présenter le barrage de Keddara et calculer l'indice de qualité de l'eau de ce barrage en utilisant deux méthodes différentes : la méthode canadienne et la méthode arithmétique.

Chapitre 01 :
Généralité sur la qualité de
l'eau

I.1 Introduction :

L'eau est une ressource vitale présente sous différentes formes : eaux souterraines, eaux de surface et eaux usées. Chacune de ces formes joue un rôle essentiel pour l'équilibre écologique et le bien-être humain. Les eaux souterraines sont stockées en profondeur, alimentant les puits et les sources, essentielles pour l'approvisionnement en eau douce et l'irrigation. Les eaux de surface comprennent les rivières, les lacs et les océans, abritant une grande biodiversité et jouant un rôle clé dans la régulation climatique. Cependant, les eaux usées sont devenues un défi majeur en raison de la pollution due aux activités humaines. Un traitement adéquat est essentiel pour protéger l'environnement et la santé publique. La gestion responsable de ces formes d'eau est cruciale pour préserver la qualité de l'eau, protéger les écosystèmes aquatiques et assurer un approvisionnement durable en eau pour les générations actuelles et futures [1].

I.2 La qualité de l'eau :

Malgré la pénurie d'eau, le gaspillage reste généralisé. Que ce soit dans les villages ou dans les grandes villes, dans les fermes ou dans l'industrie, aussi bien dans les pays en développement que dans les économies industrialisées, l'eau est généralement gaspillée. La qualité de l'eau de surface se détériore dans les bassins versants en raison des rejets de déchets urbains et industriels. La demande en eau pour un usage domestique est modérée par rapport aux utilisations agricoles et industrielles, cependant, les exigences de qualité pour l'eau potable sont élevées. Ces utilisations domestiques de l'eau se réfèrent principalement à la consommation pour boire, le lavage, la préparation des aliments et les installations sanitaires [2].

I.3 Les ressources des eaux :

Les ressources en eau disponibles se composent des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface retenues ou en mouvement (barrages, lacs, rivières) et des eaux de mer. Ces dernières totalisent à elles seules plus de 97% de la quantité d'eau sur notre globe. Alors que les 3% restantes, principalement de l'eau douce, qui représentent un volume estimé à 1.3 milliard de km³, englobent [5] :

- 18% d'eaux profondes inexploitable.
- 77% sous forme de glace.
- 5% dans d'autres réserves, qui se répartissent comme suit :

- 3,5% dans les êtres vivants.
- 1% dans les rivières.
- 5.5% dans l'atmosphère.
- 20% dans les eaux souterraines superficielles.
- 30% dans les lacs salés.
- 40% dans les lacs d'eau douce.

La figure suivante explique l'origine des eaux dans la Terre :

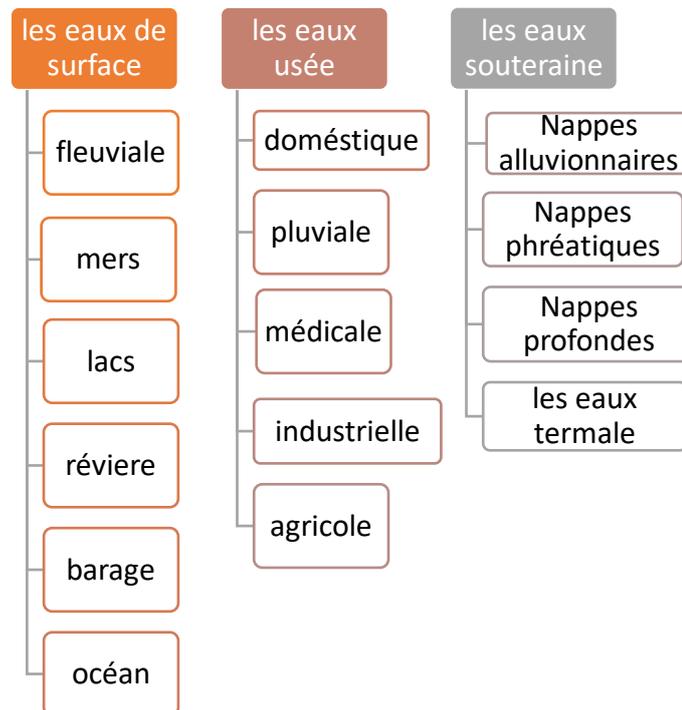


Figure I.1 : l'origine des eaux [6]

I.4 Les type des eaux :

I.4.1 Les eaux souterraines :

I.4.1.1 Définition des eaux souterraine :

Les eaux souterraines représentent environ 20% des réserves d'eau, Leur origine est due à l'accumulation des infiltrations dans le sol, qui varient en fonction de sa porosité et de sa structure géologique. Les eaux souterraines sont généralement de qualité physique, chimique et bactériologique excellente [7].

Elles se regroupent en nappes, qui peuvent être de plusieurs types :

A- Nappes profondes :

Ces nappes peuvent fournir des eaux naturellement utilisables à leur émergence naturelle (source), soit par forage ou par puits, à condition qu'elles soient protégées contre les infiltrations superficielles.

B- Nappes phréatiques :

Ces nappes sont couramment exploitées en milieu rural par des puits. Malheureusement, elles sont souvent contaminées en raison de l'infiltration importante.

C- Nappes alluvionnaires :

Ce sont des eaux qui circulent dans les alluvions des grands cours d'eau (oueds) et qui peuvent alimenter les nappes phréatiques situées le long des berges des cours d'eau. Cependant, il existe un risque de contamination par les infiltrations superficielles.

Les nappes d'eau souterraines peuvent être classées en deux types :

C-1 Nappes libres :

Elles sont directement alimentées par l'infiltration des eaux de ruissellement, ce qui les rend très sensibles à la pollution provenant de la surface

C-2 Nappes captives :

Elles sont séparées de la surface du sol par une couche imperméable. Elles ne sont pas directement alimentées par le sol et sont donc moins sensibles à la pollution provenant de la surface [9].

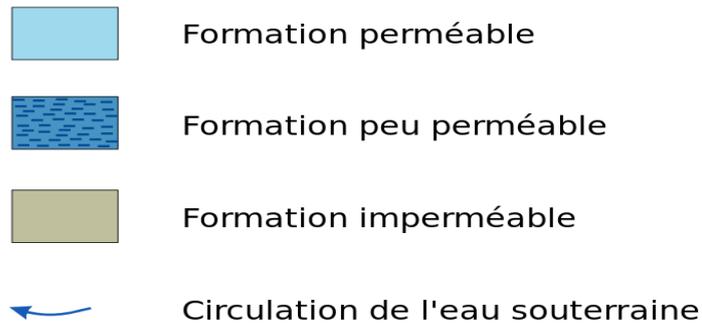
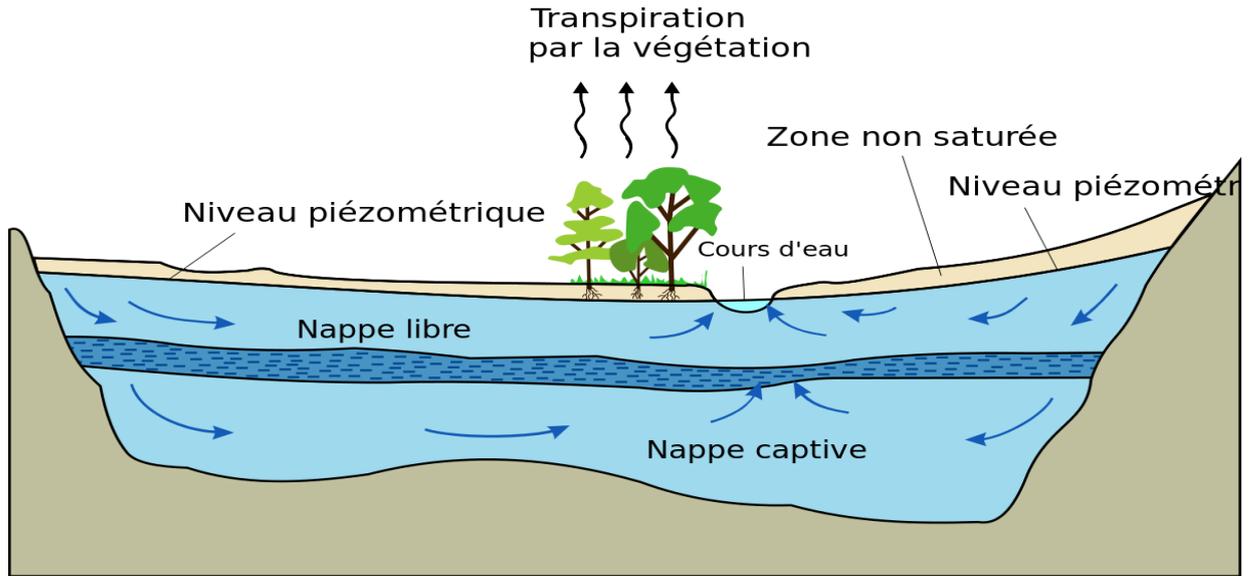


Figure I.2 : Schéma de la nappe libre et captive [10]

I.4.1.2 Les Sources de contamination des eaux souterraines :

Les eaux souterraines sont moins vulnérables à la pollution que les eaux de surface, tout de même certaines activités humaines ou facteurs naturels peuvent altérer la qualité de ces eaux, parmi lesquels certains sont indiqués dans le tableau ci-dessous [11].

Tableau I.1: Les Sources de contamination des eaux souterraines

Activités humaines	Facteurs naturels
<ol style="list-style-type: none"> 1. Agriculture : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Utilisation excessive d'engrais et de pesticides. ➤ Ruissellement des terres agricoles vers les aquifères 2. Industrie : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Déversement de produits chimiques toxiques et de déchets industriels. ➤ Fuites de réservoirs de stockage souterrains. 3. Décharges et sites d'enfouissement : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Lixiviation des déchets vers les nappes phréatiques. ➤ Contamination par des substances nocives. 4. Infrastructures de stockage de carburant : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Fuites de réservoirs de carburant souterrains. ➤ Contamination par des hydrocarbures. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Intrusion saline : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Influence de la proximité de la mer ou des océans. ➤ Infiltration de l'eau salée dans les aquifères. 2. Activité volcanique : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Présence de minéraux dissous et de gaz volcaniques. ➤ Potentiel d'acidification des eaux souterraines. 3. Géologie et composition du sol : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Migration naturelle de composés géochimiques. ➤ Présence de métaux lourds naturels

I.4.1.3 Les avantages des eaux souterraine :

L'eau souterraine présente de nombreux avantages par rapport à l'eau de surface en termes de qualité, d'accessibilité et de fiabilité. Elle est généralement exempte de polluants microbiologiques car elle est filtrée par le sol et les roches lorsqu'elle s'infiltré dans les aquifères. Cela réduit les risques de maladies liées à la présence d'organismes vivants dans l'eau.

De plus, l'eau souterraine peut être stockée pendant une durée indéterminée dans les aquifères tout en conservant sa bonne qualité. En revanche, la qualité de l'eau de surface peut varier en fonction des saisons et nécessite souvent une désinfection plus intensive pour s'adapter aux variations de son état. Par conséquent, l'eau de surface nécessite une surveillance plus étroite et un traitement plus rigoureux que l'eau souterraine.

En raison de sa position protégée, l'eau souterraine est moins susceptible d'être contaminée et de transmettre des maladies par rapport à l'eau de surface. Même dans les régions où l'eau de surface est abondante, l'exploitation des sources d'eau souterraine peut être un choix plus judicieux pour assurer l'approvisionnement en eau potable.

Les aquifères agissent comme des réservoirs naturels d'eau et, s'ils sont suffisamment vastes, ils peuvent fournir de l'eau pendant les saisons sèches et les périodes de sécheresse, lorsque les autres sources d'eau sont peu fiables ou inexistantes. Cependant, il est important de noter que l'importance des aquifères, leur capacité de stockage et leur taux de recharge peuvent varier. Une surexploitation excessive et rapide des aquifères peut entraîner leur épuisement. Il est donc nécessaire de réaliser des tests de pompage pour déterminer la durabilité à long terme des puits.

Les aquifères situés à proximité des communautés locales sont les sources d'eau les plus appropriées, car ils permettent aux populations de parcourir de courtes distances pour accéder aux puits situés dans les villes et les villages, sans avoir à se rendre à des sources d'eau de surface éloignées. Cela facilite l'accès à l'eau et favorise une utilisation plus fréquente de celle-ci, ce qui améliore l'hygiène et la santé des populations. De plus, cela réduit les risques pour les femmes et les enfants qui pourraient être exposés à des dangers lorsqu'ils cherchent de l'eau loin des villages.

En termes de coûts, les systèmes d'approvisionnement en eau souterraine sont souvent moins chers à installer et à entretenir que les systèmes d'eau de surface, car ils nécessitent moins de traitement. L'installation de puits et de pompes peut généralement être réalisée en quelques jours à quelques semaines, et inclut la formation d'agents locaux pour assurer le fonctionnement et la maintenance du système. De plus, si l'eau souterraine est utilisée pour l'irrigation agricole, cela peut améliorer les rendements des cultures, ce qui entraîne une augmentation des revenus des agriculteurs. Ainsi, un petit projet initial peut être étendu progressivement grâce aux bénéfices qu'il génère [12].

I.4.2 Les eaux de surface :**I.4.2.1 Définition des eaux de surface :**

Les eaux de surface, également appelées eaux superficielles, sont les eaux qui se trouvent à la surface de la Terre et qui sont en contact avec l'atmosphère. Elles comprennent les eaux de pluie, les sources et les eaux de ruissellement provenant d'autres sources. Ces eaux suivent un cheminement naturel pour rejoindre des plans d'eau plus importants, tels que les rivières qui se jettent dans les océans. Les eaux de surface sont importantes pour de nombreuses fonctions écologiques et humaines, mais elles peuvent également être menacées par la pollution, le changement climatique et l'exploitation non durable des ressources naturelles. Il est donc essentiel de protéger et de gérer efficacement les eaux de surface pour préserver leur biodiversité et leur fonctionnement écologique pour les générations futures [13].

Tableau I.2: Les principales différences entre les eaux souterraines et les eaux de surface [14].

Caractéristique	Eaux souterraines	Eaux de surface
Température	Relativement constante	Variable suivant les saisons
Couleur	Liée surtout aux matières en solution (acides humiques...)	Liée surtout aux MES sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)
Minéralisation globale	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région.	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...
Turbidité	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)	Variable, parfois élevée
Fer et Mg	Généralement présents	Généralement absents
Micropolluants minéraux et organique	Généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps	Présents dans les eaux des pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source
Nitrates	Teneur parfois élevée	Peu abondants en général
Éléments vivants	Ferme bactéries fréquentes	Bactéries, virus

Parmi les eaux de surface, on peut citer :

- Les fleuves, les rivières, les lacs, les ruisseaux, les cours d'eau,
- Les eaux de ruissellement (eaux de pluies),
- Les réservoirs,
- Les lacs de barrage,
- Les mers et les océans,
- Les eaux côtières,

Les zones humides ou eaux de transitions, c'est-à-dire toutes les masses d'eau situées à proximité des embouchures de rivières ou de fleuves (estuaires, vasières, marais côtiers, lagunes, mares, bordures de lacs...) [15].

I.4.2.2 Quantité des eaux de surface :

La quantité d'eau disponible varie en fonction du cycle hydrologique et du débit que l'on souhaite prélever. L'étude des quantités disponibles doit prendre en compte les paramètres suivants :

- Météorologie
- Hydrologie
- Géologie
- Topographie [13].

I.4.2.3 Les sources de pollution des eaux de surface :

Les sources de pollution des eaux de surface sont diverses et peuvent provenir de différentes activités humaines. Voici quelques-unes des principales sources de pollution :

- a) Pollution d'origine domestique :
 - Rejets d'eaux usées non traitées ou insuffisamment traitées provenant des habitations et des systèmes d'assainissement défectueux.
 - Utilisation excessive de produits chimiques ménagers tels que les détergents, les produits de nettoyage et les produits pharmaceutiques, qui peuvent être rejetés dans les égouts.
- b) Pollution d'origine industrielle :

- Déversements accidentels de substances chimiques provenant d'installations industrielles.
- Rejets de déchets industriels non traités contenant des produits chimiques toxiques dans les cours d'eau.
- c) Pollution agricole :
 - Utilisation excessive de fertilisants, d'engrais et de pesticides dans l'agriculture, qui peuvent être entraînés par les eaux de pluie et les ruissellements vers les rivières et les lacs.
 - Érosion des sols agricoles, qui peut entraîner la libération de sédiments et de nutriments dans les eaux de surface.
- d) Pollution provenant des activités de construction et d'aménagement du territoire :
 - Ruissellement des eaux de pluie sur les sites de construction, entraînant des sédiments, des matériaux de construction et des produits chimiques dans les cours d'eau.
 - Déversement de substances toxiques telles que le béton, l'asphalte et les solvants dans les eaux de surface.
- e) Pollution provenant des activités minières :
 - Rejets d'eau contaminée provenant de l'extraction minière et du traitement des minéraux.
 - Déversement de substances chimiques utilisées dans l'exploitation minière, telles que les cyanures et les métaux lourds, dans les rivières et les lacs.
- f) Pollution provenant des activités de loisirs et du tourisme :
 - Déchets laissés par les visiteurs (emballages, plastiques, etc.) dans les zones récréatives, les plages et les plans d'eau.

Rejets de substances chimiques provenant des bateaux, des engins de plaisance et des installations touristiques, tels que les hydrocarbures, les produits chimiques de nettoyage et les produits de protection solaire [16].

I.4.3 Les eaux usées :

I.4.3.1 Définition des eaux usées

Les eaux usées sont les eaux qui ont été utilisées par les individus ou d'autres secteurs tels que l'industrie ou l'agriculture. Elles résultent de la pollution, à la fois d'origine physico-chimique et bactériologique, des eaux de consommation de bonne qualité, causée par les

activités humaines. Ces eaux sont généralement chargées en matières minérales ou organiques, sous forme dissoute ou en suspension.

Les eaux usées désignent toutes les eaux qui parviennent dans le réseau d'assainissement et dont les caractéristiques naturelles sont altérées. La plupart des eaux usées sont polluantes, certaines sont même pathogènes, ce qui peut entraîner de graves problèmes de santé publique [17].

I.4.3.2 L'origines des eaux usées :

Il existe cinq origines principales des eaux usées :

a) Les Eaux usées domestiques :

Ces eaux proviennent des besoins domestiques de l'homme. Elles représentent la majeure partie de la pollution et se composent des éléments suivants :

- Eaux de cuisine contenant des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, de produits alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protéines) et de produits détergents.
- Eaux de buanderie contenant principalement des détergents.
- Eaux de salle de bains chargées de produits d'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées.
- Eaux des toilettes (eaux de vannes) très chargées en matières organiques hydrocarbonées, composés azotés, phosphorés et micro-organismes

b) Eaux usées pluviales :

Ce sont les eaux de ruissellement formées après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées, surtout en début de pluie, en raison de deux mécanismes (Lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées)

Remise en suspension des dépôts dans les collecteurs. Elles ont une nature similaire aux eaux usées domestiques et contiennent des métaux lourds et des toxines (plomb, zinc, hydrocarbures) provenant principalement de la circulation Eaux usées agricoles [18].

I.5 La qualité de l'eau :

I.5.1 Les paramètres organoleptiques :

I.5.1.1 La couleur :

Lorsque l'on observe une eau pure sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres, elle présente une teinte bleu clair. Cela est dû au fait que les longueurs d'onde courtes, comme le bleu, sont moins absorbées par l'eau, tandis que les longueurs d'onde plus longues, comme le rouge, sont rapidement absorbées.

Cependant, dans le cas des eaux de surface ou des eaux souterraines, la couleur est généralement causée par la présence de substances colorées provenant de diverses sources. Elle peut résulter de la décomposition de la matière végétale, des algues ou d'autres pigments présents, ainsi que de substances minérales telles que le fer et le manganèse, qui peuvent donner des précipités colorés. Les rejets industriels, tels que ceux des teintureries, peuvent également entraîner une coloration de l'eau.

Le terme "couleur" décrit la perception visuelle d'une combinaison d'effets chromatiques et achromatiques. La norme distingue différents types de coloration :

- **La couleur de l'eau** : il s'agit d'une propriété optique qui modifie la composition spectrale de la lumière transmise à travers l'eau.
- **La couleur apparente de l'eau** : elle est due aux substances dissoutes et aux particules en suspension présentes dans l'eau.
- **La couleur réelle de l'eau** : elle est uniquement attribuée aux substances dissoutes dans l'eau, excluant les particules en suspension.

Ces distinctions permettent de caractériser et d'évaluer la couleur de l'eau en fonction de ses différentes composantes [19].

I.5.1.2 Gout et Odeur :

La mesure de ces paramètres est généralement une évaluation visant à déterminer la concentration la plus élevée d'une substance dans l'eau à partir de laquelle une sensation gustative ou olfactive est **perçue**. **La norme NFV00-150 propose les définitions suivantes pour ces sensations :**

a) Goût :

Il s'agit de l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et des sensibilités chimiques communes perçues lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche. C'est aussi la propriété des produits qui provoquent ces sensations.

b) Odeur :

Il s'agit des sensations perçues par les organes olfactifs lors de l'inhalation de certaines substances volatiles. Comme on peut le voir, la notion de goût intègre celle de l'odeur et est utilisée de manière plus générale. Le goût d'une eau est le résultat de la combinaison de nombreux facteurs, parmi lesquels :

La minéralisation de l'eau : certains sels minéraux donnent des goûts particuliers à l'eau.

Les matières organiques dissoutes : elles proviennent de la décomposition de matières végétales, de résidus agricoles, de rejets urbains ou industriels.

Les métabolites de certains micro-organismes vivant dans l'eau, tels que certaines algues ou champignons microscopiques, Cette détermination peut donc fournir des informations sur la composition d'une eau inconnue ainsi que sur la nature d'une pollution présente dans cette eau [32].

I.5.1.3 La turbidité :

La mesure de l'aspect trouble de l'eau concerne la réduction de sa transparence due à la présence de matières non dissoutes. Ce phénomène est principalement causé par la présence de matières en suspension (MES), telles que les argiles, les limons et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut également être attribuée à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale [21,22].

La turbidité résulte de la diffusion de la lumière, qui est déviée dans toutes les directions en raison des particules en suspension dans l'eau. Ces particules peuvent avoir diverses origines, telles que l'érosion des roches, l'entraînement de matières minérales ou organiques provenant du sol, ou le rejet d'eaux usées domestiques ou industrielles contenant des matières en suspension grossière. Pour mesurer la turbidité, différents instruments sont utilisés, tels que

le turbidimètre de Jackson (méthode visuelle), l'opacimétrie, le turbidimètre de Hellige et la néphélométrie de Hach [23,24]

La turbidité est généralement mesurée en trois unités équivalentes : l'**Unité J.T.U (Jackson Turbidity Unit)**, l'**Unité F.T.U (Formazine Turbidity Unit)** et l'**Unité N.T.U (Nephelometric Turbidity Unit)**. La mesure de la turbidité, qui est très utile pour le contrôle d'un traitement, ne fournit pas d'indications sur la nature, la concentration et la taille des particules en suspension responsables.

Cependant, il est important de réduire la turbidité pour améliorer l'aspect esthétique de l'eau de consommation, faciliter une désinfection efficace et prévenir les dépôts dans les installations et les réseaux. En effet, les MES peuvent servir de support aux microorganismes, les protégeant ainsi partiellement de l'action des désinfectants et favorisant leur développement dans les réseaux, ce qui peut entraîner des problèmes sanitaires [22].

I.5.2 Paramètre physico-chimique :

Ce sont ces éléments qui contribuent à l'identité fondamentale de l'eau. Ils sont principalement représentés par des sels minéraux tels que le calcium, le sodium, le potassium, le magnésium, les sulfates, etc. On peut également utiliser des indicateurs plus généraux tels que la conductivité électrique, qui donne une indication de la salinité de l'eau, et le titre alcalimétrique, qui permet d'évaluer la concentration totale des carbonates et des bicarbonates dans l'eau.

I.5.2.1 La température :

La température de l'eau est un paramètre essentiel à connaître. En effet, elle joue un rôle crucial dans la solubilité des sels et des gaz, ainsi que dans la détermination du pH de l'eau. La température peut influencer la capacité de l'eau à dissoudre des substances, et donc son potentiel de saturation en sels et en gaz. De plus, la température peut avoir un impact sur les réactions chimiques et biologiques qui se produisent dans l'eau. Il est donc important de surveiller la température de l'eau afin de détecter des conditions extrêmes qui pourraient être préjudiciables au bon fonctionnement des processus biologiques [25].

I.5.2.2 Le pH :

Est une mesure qui permet de déterminer si une solution est acide (pH inférieur à 7), neutre (pH égal à 7) ou basique (pH supérieur à 7). En ce qui concerne les eaux, le pH est important car il peut avoir un impact significatif sur la vie aquatique et sur les processus d'autoépuration du milieu naturel.

En général, l'activité biologique dans les eaux se situe entre 6,5 et 8 unités de pH. En dehors de cette plage, des valeurs trop acides ou trop basiques peuvent affecter la vie aquatique et perturber les écosystèmes. Certaines espèces aquatiques sont sensibles aux variations extrêmes du pH, ce qui peut entraîner des effets néfastes sur leur santé et leur reproduction.

Il est donc crucial de surveiller le pH des eaux afin de s'assurer qu'il reste dans des limites acceptables pour maintenir la santé des écosystèmes aquatiques et favoriser l'autoépuration naturelle de l'eau [23].

I.5.2.3 La dureté :

La dureté de l'eau, également appelée titre hydrométrique, est principalement due à la présence de sels de calcium et de magnésium. Elle est directement liée à la composition des terrains traversés par l'eau, notamment ceux contenant des roches calcaires ou dolomitiques. [22,26].

On distingue différents types de dureté dans une eau naturelle :

- **Dureté totale** : c'est la somme des concentrations en calcium et en magnésium.
- **Dureté calcique** : elle représente la concentration totale en calcium.
- **Dureté magnésienne** : elle correspond à la concentration totale en magnésium.

La dureté calcique et la dureté magnésienne peuvent être exprimées en milligrammes par litre (mg/l) de calcium (Ca) et de magnésium (Mg). Ces différentes concentrations ne peuvent pas être simplement additionnées pour calculer la dureté totale. Il est nécessaire de convertir la concentration de chaque ion en une unité commune. La dureté est généralement exprimée en degrés français (°F) ou en milli-équivalents par litre (meq/l). Par exemple, 1 °F correspond à 5 meq/l, à 4 mg/l de calcium (Ca) ou à 2,43 mg/l de magnésium (Mg), ou à 10 mg/l de carbonate de calcium (CaCO₃).

La mesure de la dureté se fait généralement en utilisant une réaction de complexation entre les ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) et une substance appelée acide éthylène diamine tétracétique (EDTA), en présence d'un indicateur coloré. Cette réaction permet de déterminer la concentration des ions calcium et magnésium présents dans l'eau, ce qui permet ensuite de calculer la dureté totale de l'eau [23,21].

I.5.2.4 L'alcalinité :

L'alcalinité d'une eau est sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H^+). et est principalement due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3^{2-}), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-). On distingue deux types d'alcalinité, correspondant à deux plages de pH :

Alcalinité au point de virage du rouge de méthyle : Elle représente l'alcalinité totale de l'eau à un pH de 4,5, ce qui permet de déterminer les ions HCO_3^{2-} , CO_3^{2-} et OH^- . Cette mesure est également appelée titre alcalimétrique complet (TAC).

Alcalinité au point de virage de la phénolphthaléine (alcalinité composite) : Elle correspond à l'alcalinité due aux ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-} . Cette mesure d'alcalinité composite est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égal à 8,3. Elle est également appelée titre alcalimétrique (TAC).

Ces deux mesures d'alcalinité permettent d'évaluer la capacité d'une eau à neutraliser les acides et sont importantes pour comprendre son comportement chimique [23,27,28].

I.5.2.5 La conductivité

La conductivité est une caractéristique physique-chimique de l'eau qui est liée à la concentration et à la nature des substances dissoutes. Les matières organiques et colloïdales ont une faible conductivité. La conductivité varie en fonction de la température.

La conductivité électrique d'une eau est mesurée en évaluant la conductance entre deux électrodes métalliques d'une surface de 1 cm^2 et séparées par 1 cm . Elle est exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Mesurer la conductivité permet d'obtenir rapidement une indication sur la concentration des sels dissous dans l'eau. Une conductivité élevée peut indiquer soit un pH normal, soit le plus souvent une salinité élevée [22,23].

I.5.3 Les paramètres indésirables :

I.5.3.1 Les matières organiques :

Les matières organiques dans l'eau peuvent être évaluées à l'aide de différentes méthodes :

a) Oxydabilité au permanganate de potassium (KMnO₄) :

Cette mesure indique la concentration de matières organiques présentes dans une eau peu chargée. On utilise le permanganate de potassium (KMnO₄) comme oxydant dans des conditions spécifiques pour oxyder les molécules présentes dans l'eau. Ces molécules sont principalement d'origine organique, bien que des molécules minérales puissent également être oxydées. Le KMnO₄ n'attaque pas toutes les molécules organiques, mais il est largement utilisé pour suivre l'évolution de la matière organique dans les stations de traitement de l'eau. L'oxydation des matières organiques et des substances oxydables peut être réalisée à chaud ou à froid, mais la méthode à chaud est généralement préférée en raison de sa rapidité [22,23].

b) Absorbance UV à 254 nm :

La mesure de l'absorption à 254 nm est un indicateur des substances contenant une ou plusieurs doubles liaisons (telles que des groupes carboxyliques ou benzéniques). La mesure de l'absorbance permet d'évaluer le contenu organique de l'eau, notamment la présence de composés aromatiques. L'absorbance mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre peut fournir une estimation de la teneur en substances humiques dans l'eau naturelle, comme les eaux de surface [24].

c) Carbone organique total (COT) :

Le COT représente la concentration de carbone en milligrammes par litre d'échantillon. Il s'agit d'une méthode directe de mesure de la teneur en matières organiques de l'eau. Elle consiste à brûler l'échantillon d'eau à 950°C en présence d'oxygène gazeux et à mesurer le CO₂ libéré, ce qui permet ensuite de déterminer la quantité totale de carbone (organique et minéral) présente. Le COT est une méthode rapide et présente plusieurs avantages, notamment la possibilité d'analyser l'eau indépendamment de sa qualité (salinité élevée, acidité ou basicité, présence de composés toxiques). Cependant, cette méthode nécessite un équipement coûteux [25,29].

I.5.3.2 L'azote :

L'azote est principalement présent sous forme ionique dans l'eau, notamment sous forme de NH_4^+ , NO_2^- et NO_3^- . La pollution par les ions NH_4^+ est courante dans les eaux de surface. Leur oxydation conduit à la formation d'ions NO_2^- , qui sont en équilibre avec la forme gazeuse NH_3 . Ces deux espèces sont toxiques pour la faune aquatique et peuvent poser des problèmes de santé publique. Ils favorisent la prolifération bactérienne dans les réseaux d'eau, entraînant une dégradation des qualités organoleptiques de l'eau et la corrosion des canalisations. Cependant, les nitrates sont la principale source d'inquiétude. Ces ions peuvent se transformer en ions nitrites en milieu acide faible, représentant environ 5% de la transformation. Les nitrites sont toxiques pour l'organisme humain, agissant comme des agents vasodilatateurs puissants qui provoquent des vertiges et une hypotension. Ils s'oxydent ensuite au niveau des ions ferreux de l'hémoglobine pour former à nouveau des nitrates. Cela conduit à la formation de méthémoglobine (MetHb) contenant des ions ferriques incapables de transporter efficacement les molécules d'oxygène [28,29].

I.5.3.3 Le fer :

Le fer est un élément abondant dans la croûte terrestre et est largement utilisé dans la métallurgie, ainsi que dans diverses applications chimiques. Dans les eaux bien oxygénées, sa concentration est généralement faible. Cependant, dans les eaux souterraines, des concentrations élevées de fer peuvent être observées lorsque les conditions de solubilisation sont réunies. Le fer peut être présent sous forme colloïdale ou sous forme de complexes organiques ou minéraux. Lorsqu'il entre en contact avec l'air, il peut précipiter en raison de son oxydation. Le fer est souvent associé au manganèse, avec lequel il a la propriété de précipiter [28].

I.5.3.4 Les hydrocarbures dissous :

Les hydrocarbures, également appelés huiles minérales, se retrouvent dans les eaux brutes en raison de diverses sources, telles que les usines à gaz, l'industrie pétrochimique, les ateliers de mécanique, les bitumes, ainsi que les particules de fumée entraînées par les eaux de pluie. La biodégradabilité des hydrocarbures est lente dans l'environnement. Dans les eaux souterraines, les hydrocarbures peuvent persister pendant longtemps en raison de la capacité

de rétention du sol et des roches réservoirs. Il est donc essentiel de protéger les ressources utilisées pour l'alimentation humaine afin d'éviter tout risque de pollution [30].

I.5.3.5 Les métaux lourds ou éléments en trace métalliques (ETM) :

Les métaux lourds sont des polluants d'origine humaine ayant un fort impact toxique. Cependant, le terme "métaux lourds" n'a pas de fondement scientifique ni d'application juridique précise. Ils sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, généralement à des concentrations très faibles, dites "en traces". Certains métaux toxiques ne sont pas nécessairement "lourds" (comme le zinc) et certains éléments toxiques ne sont pas des métaux (comme l'arsenic). Pour ces raisons, de nombreux scientifiques préfèrent utiliser le terme "éléments en trace métalliques" (ETM) ou "éléments traces". La toxicité des métaux lourds a conduit à des réglementations limitant leurs émissions. Cependant, il n'y a pas de liste définitive de métaux à surveiller, car elle varie en fonction des milieux considérés (émissions atmosphériques, rejets dans l'eau, épandage des boues, mise en décharge, etc.). Les métaux toxiques courants comprennent l'arsenic, le cadmium, le plomb et le mercure, qui ont des effets nocifs sur les végétaux, les produits de consommation courante et la santé humaine [31] :

a) Le fer (Fe) et le manganèse (Mn) :

Ces deux éléments sont souvent présents ensemble dans la nature. La présence de fer dans l'eau peut avoir différentes origines, qu'elles soient naturelles, telles que le lessivage des terrains argileux, ou industrielles, comme les activités métallurgiques et sidérurgiques. Quant au manganèse, il est généralement lié à l'industrie métallurgique, électrique et chimique. Dans les eaux bien oxygénées, les concentrations de fer et de manganèse sont souvent faibles, mais dans les eaux peu aérées, comme les nappes phréatiques captives, on peut observer des concentrations élevées. Le manganèse peut même être présent dans l'eau à un potentiel d'oxydoréduction plus élevé que celui du fer.

b) Le chrome (Cr) et l'étain (Sn⁴⁺) :

Le chrome se trouve naturellement dans les roches basiques avec des concentrations plus importantes, ainsi que sous forme de traces dans les silicates tels que le pyroxène et le grenat. Sur le plan industriel, le chrome est utilisé dans des secteurs tels que la galvanoplastie, la tannerie, la raffinerie, la métallurgie, les colorants, le textile et la peinture. Dans l'eau, le chrome

peut se présenter sous deux formes chimiques, l'hexavalent (Cr^{6+}) et le trivalent (Cr^{3+}), le premier étant la forme la plus toxique pour l'homme. L'étain provient naturellement de la cassitérite (SnO_2) et est utilisé industriellement dans la production d'alliages communs de bronze (étain et cuivre), d'étain à braser (étain et plomb), de métaux pour caractères d'imprimerie (étain, plomb et antimoine), de la chimie industrielle (catalyseurs et pigments colorés) et dans la soudure et la galvanoplastie.

c) Le zinc (Zn^{2+}) :

Le zinc est un métal largement répandu dans le monde. Il est utilisé dans la fabrication d'alliages, la galvanisation des pièces métalliques et la production de pigments pour la teinture.

d) Le plomb (Pb^{2+}) :

Le plomb se présente sous forme de sulfures, de carbonates et de phosphates. Il est utilisé dans l'industrie pour la fabrication d'accumulateurs acides, de soudures et de pigments.

e) L'aluminium (Al^{3+}) :

L'aluminium est couramment présent sous forme de silicate d'aluminium ou combiné avec d'autres éléments tels que le sodium, le potassium, le fer, le calcium et le magnésium. Il est utilisé dans l'industrie du traitement de surface, la métallurgie, la production d'alumine, les colorants et l'industrie pétrochimique.

f) Le nickel (Ni^{2+}) :

Le nickel a de nombreuses utilisations industrielles, notamment dans la production d'alliages, les revêtements, la céramique et le verre.

g) Le cuivre (Cu^{2+}) :

Le cuivre est largement utilisé dans la fabrication d'alliages tels que le laiton, le bronze et le maille.

I.5.4 Les paramètres toxiques :

Une pollution industrielle du point de captage ou une détérioration des réseaux de distribution peut entraîner la présence d'éléments toxiques dans l'eau, ce qui peut représenter un danger pour la santé en cas de consommation régulière. Ces substances toxiques peuvent inclure des micropolluants minéraux tels que les métaux lourds (comme le chrome, le cadmium, le nickel) ainsi que des substances telles que les cyanures ou des composés organiques qui peuvent inhiber les mécanismes biologiques [30].

I.5.5 Les caractéristiques biologiques :

Les caractéristiques biologiques de l'eau potable sont essentielles pour assurer sa sécurité et sa salubrité. Il est primordial que l'eau potable ne contienne aucun microorganisme pathogène et soit dépourvue de bactéries indiquant une contamination fécale

Le groupe de microorganismes bactériens largement utilisé comme indicateur de la pollution fécale est celui des coliformes. Ces bactéries sont présentes dans les intestins des humains et des animaux à sang chaud et leur présence dans l'eau potable peut indiquer une contamination par des matières fécales.

Plus spécifiquement, l'*Escherichia coli* (*E. coli*) est une bactérie du groupe des coliformes qui est souvent utilisée comme un germe témoin pour évaluer la potabilité de l'eau. La présence d'une seule bactérie d'*E. coli* par 100 ml d'eau peut être considérée comme potentiellement dangereuse.

En se basant sur la présence ou l'absence de ces germes témoins, les critères de potabilité de l'eau sont définis. Ainsi, pour qu'une eau soit considérée comme potable, elle doit être exempte de microorganismes pathogènes, de bactéries indiquant une contamination fécale, et respecter les critères établis en termes de quantité d'*E. coli* présente.

Ces mesures et critères sont importants pour garantir la qualité de l'eau potable et prévenir les risques sanitaires associés à la consommation d'eau contaminée [27 ,29].

I.6 Impacts de la pollution sur la qualité de l'eau :

La pollution a un impact significatif sur la qualité de l'eau de surface. Voici quelques-uns des principaux impacts de la pollution sur l'eau :

a) Dégradation de la qualité chimique de l'eau :

Présence de substances chimiques toxiques provenant des déchets industriels, agricoles et domestiques, tels que les métaux lourds, les pesticides, les hydrocarbures et les produits pharmaceutiques. Ces substances peuvent contaminer l'eau et rendre sa consommation dangereuse pour les êtres humains et la faune aquatique.

b) Diminution de la qualité biologique de l'eau :

Réduction de l'oxygène dissous dans l'eau due à la dégradation de la matière organique. Cela peut entraîner une diminution de la vie aquatique, car de nombreux organismes aquatiques ont besoin d'une teneur suffisante en oxygène pour survivre.

Introduction d'espèces exotiques envahissantes dans les écosystèmes aquatiques en raison des rejets d'eau de ballast des navires et des canaux. Ces espèces peuvent perturber l'équilibre écologique naturel et nuire à la biodiversité locale.

c) Altération de la qualité physique de l'eau :

Augmentation de la turbidité de l'eau due aux sédiments, aux particules en suspension et aux matières organiques. Cela réduit la pénétration de la lumière et entrave la photosynthèse des plantes aquatiques, affectant ainsi la production alimentaire dans les écosystèmes aquatiques.

Accumulation de déchets solides tels que les plastiques, les emballages et les déchets flottants, ce qui nuit à l'esthétique des plans d'eau et menace la vie marine.

d) Risques pour la santé humaine :

La consommation d'eau contaminée peut entraîner des maladies d'origine hydrique telles que la gastro-entérite, l'hépatite A, la fièvre typhoïde et la dysenterie.

Les activités récréatives dans les eaux polluées peuvent causer des problèmes de peau, des infections des voies respiratoires et des infections gastro-intestinales.

e) Perturbation des écosystèmes aquatiques :

La pollution de l'eau peut entraîner la diminution de la diversité et de l'abondance des espèces aquatiques, ainsi que des déséquilibres dans les chaînes alimentaires et les interactions écologiques.

Destruction des habitats aquatiques en raison de la contamination chimique et de la modification des caractéristiques physiques de l'eau.

Il est essentiel de prévenir et de réduire la pollution de l'eau par le biais de réglementations environnementales, de pratiques durables dans l'industrie, l'agriculture et les ménages, ainsi que par la sensibilisation et l'éducation du public. La protection et la préservation des écosystèmes aquatiques sont cruciales pour assurer une bonne qualité de l'eau et préserver la santé humaine et la biodiversité [30].

I.7 Les norme de la qualité de l'eau :

Les normes de qualité de l'eau sont des directives établies par les autorités sanitaires et environnementales pour définir les niveaux acceptables de différents polluants, substances chimiques et paramètres physico-chimiques dans l'eau destinée à la consommation humaine, ainsi que dans les eaux de surface et les eaux souterraines le tableau I.3 présenté les norme Algériennes et françaises de qualité de l'eau [32].

Tableau I.3: Les normes de qualité de l'eau en Algérie et en France.

Paramètres	Valeur guide OMS (mg/l)	Les directives du conseil des communautés européennes (mg/l)	La réglementation Française (mg/l)	Les normes algériennes
Couleur	15 unités 15 mg/l pt	20 unités 20 mg/l pt	15 unités 15 mg/l pt	25 unités 25 mg/l pt
Température	Acceptable	2 à 12 c° et 3 à 25 c°	2 à 12 c° et 3 à 25 c°	4 à 25c°..
Turbidité	5 NTU	4 Jackson	2 Jackson	5NTU
Gout et Odeur	Acceptable			25°
Calcium	Pas de norme	100	100	75
Magnésium	Pas de norme	30	50	Pas de norme
Manganèse	0.5	0.02	0.05	
Nitrites	3	0.1	0.1	0.2
Chlore	250	200	200	
Arsenic	0.01	0.05	0.05	0.05
Dureté	Pas de norme	60 mg/l	15degrés français	100 mg/l
Phosphate	Pas de norme	0.4mg/l	0.4 mg/l	0.5
Potassium	Pas de norme	12 mg/l	12 mg/l	Pas de norme
Sulfates	250 mg/l	250 mg/l	250 mg/l	200 mg /l
Fer	0.3 mg/l	0.2 mg/l	0.2 mg/l	0.3 mg/l
Oxydabilité	Pas de norme	2 mg/l d'O2	5 mg/l	Pas de norme
Oxygène	Pas de norme	75% les eaux	75% les eaux	5 mg/l
Dissous O2	Norme	Souterraines	Souterraines	
PH	≤8	6.5≤PH≤9	6.5≤PH≤9	6.5≤PH≤9
Aluminium	0.2 mg/l	0.2mg/l	0.2mg/l	Pas de norme
Sulfure	0.05mg/l	Pas de norme	Pas de norme	
Chlorure	250 mg/l	200mg/l	200mg/l	200mg/l
Sodium	200mg/l	200mg/l	150mg/l	Pas de norme

Chapitre 02 :
Les modèles de
l'indice de qualité
de l'eau

II.1 Introduction :

La qualité de l'eau, qu'elle soit de surface ou souterraine, est essentielle pour l'environnement. Cependant, elle se détériore en raison de facteurs naturels et humains. Les activités humaines telles que l'exploitation minière, l'élevage et l'élimination des déchets, ainsi que les changements d'utilisation des terres, contribuent à cette détérioration. Les pays en développement et développés font face à des défis pour préserver la qualité de l'eau tout en répondant aux besoins croissants d'approvisionnement et d'assainissement [33].

La gestion de la qualité de l'eau nécessite l'analyse de vastes ensembles de données, ce qui peut être complexe. Les modèles d'indice de qualité de l'eau (IQE) sont des outils utiles pour agréger et évaluer ces données, produisant un indice unique qui représente la qualité de l'eau d'un plan d'eau. Ces indices sont largement utilisés par les agences de gestion de l'eau en raison de leur simplicité et de leur facilité d'interprétation.

Les modèles IQE se composent généralement de quatre étapes : la sélection des paramètres de qualité de l'eau, la conversion des données en sous-indices adimensionnels, l'attribution de pondérations aux paramètres et le calcul de l'indice global. De nombreux modèles IQE existent, chacun ayant ses spécificités et ses sources d'incertitude [34]

II.2 Généralité sur L'indice de qualité de l'eau (IQE) :

L'histoire du développement de l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE) est présentée graphiquement dans la figure 1. Bien que les modèles IQE n'aient été développés que ces 50 dernières années, des indices de qualité de l'eau étaient utilisés pour la classification de la qualité de l'eau dès le milieu des années 1800. Horton a développé le premier modèle IQE dans les années 1960, en se basant sur 10 paramètres de qualité de l'eau jugés significatifs dans la plupart des plans d'eau. Brown, avec le soutien de la National Sanitation Foundation, a développé une version plus rigoureuse du modèle IQE de Horton, le IQE de NSF, pour lequel un panel de 142 experts en qualité de l'eau a contribué à la sélection et à la pondération des paramètres [35].

Plusieurs autres modèles IQE ont été développés par la suite, en se basant sur le IQE de NSF. En 1973, le Scottish Research Development Department (SRDD) a développé son propre IQE de SRDD, qui était également basé en partie sur le modèle de Brown, et l'a utilisé pour évaluer la qualité de l'eau des rivières. L'indice Bascaron (1979), l'indice House (1986) et l'indice Dalmatian sont tous des dérivés ultérieurs du IQE de SRDD. Le SRDD a ensuite

développé le modèle Environmental Quality Index (EQ) pour l'évaluation de la qualité de l'eau dans les écosystèmes des Grands Lacs [36].

Un autre développement important a été l'indice de qualité de l'eau de la Colombie-Britannique, développé par le ministère de l'Environnement, des Terres et des Parcs de la Colombie-Britannique au milieu des années 90. Il a été utilisé pour évaluer l'état de qualité de nombreux plans d'eau dans la province de la Colombie-Britannique, au Canada. Il convient de noter que l'IQE de la Colombie-Britannique s'est révélé être le plus sensible à la conception de l'échantillonnage et le plus dépendant de l'application spécifique des objectifs de qualité de l'eau. Le groupe de travail sur les lignes directrices de qualité de l'eau du Conseil canadien des ministres de l'Environnement a développé l'IQE de CCME en 2001 après avoir examiné et révisé le modèle IQE de la Colombie-Britannique. Ce modèle est reconnu par le CCME depuis 1990. Récemment, des modèles tels que l'indice Liou, l'indice malaisien et l'indice Almeida ont également été développés.

À ce jour, plus de 35 modèles IQE ont été introduits par différents pays et/ou organismes pour évaluer la qualité de l'eau de surface dans le monde entier [37].

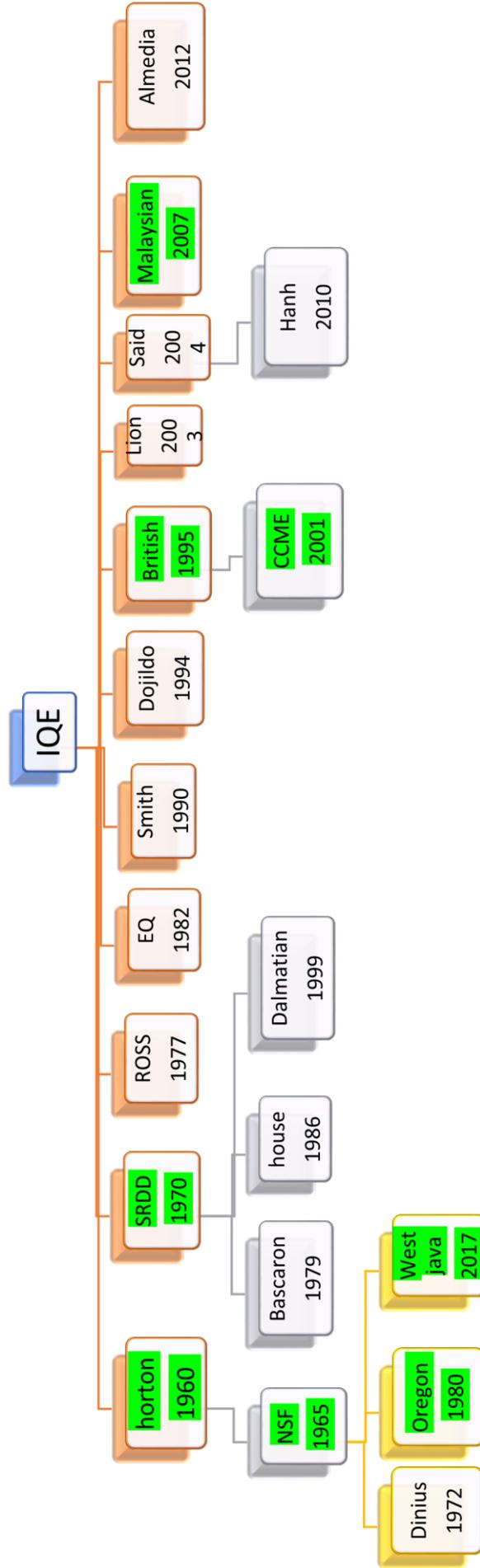
II.3 Définition de l'indice de qualité de l'eau :

L'indice de qualité de l'eau (IQE) est une mesure utilisée pour évaluer la qualité de l'eau en fonction de plusieurs paramètres physiques, chimiques et biologiques. Il permet de synthétiser l'information provenant de différents paramètres pour fournir une évaluation globale de la qualité de l'eau dans une zone donnée, telle qu'un lac, une rivière ou un estuaire.

L'IQE prend généralement en compte des paramètres tels que la concentration en oxygène dissous, la température de l'eau, le pH, la turbidité, la conductivité électrique et la présence de contaminants tels que les nitrates, les phosphates, les métaux lourds, les pesticides et autres substances toxiques [3].

L'indice de qualité de l'eau est souvent utilisé pour évaluer la santé des écosystèmes aquatiques et pour évaluer la qualité de l'eau pour différentes utilisations, telles que la consommation humaine, l'irrigation agricole, la pêche, la baignade, entre autres.

Il existe différentes méthodes pour calculer l'indice de qualité de l'eau en fonction des paramètres pris en compte et des objectifs de l'évaluation. L'indice de qualité de l'eau est une mesure importante pour surveiller et protéger la qualité de l'eau et garantir un approvisionnement en eau propre et sûr pour les populations et les écosystèmes [4].



Les cases en orange sont les indices de qualité de l'eau fondamentale

Les cases en gris sont les indices de la 1^{er} version modifiée

Les cases en jaune sont les indices de la 2^e version modifiée

Les cases colorées en vert sont les cases mentionnées ci-dessous

Figure 03 : Développement historique du modèle IQE[37].

II.4 Les modèles de l'indice de qualité de l'eau :

II.4.1 Les indice de qualité de l'eau fondamentale :

II.4.1.1 L'indice de qualité de l'eau par la méthode d'Horton :

Le modèle de Horton a été utilisé par de nombreux chercheurs dans de nombreux pays pour l'évaluation des eaux douces de surface. Il contient les quatre composantes standard de l'IQE, à savoir la sélection des paramètres, le calcul des sous-indices, la pondération des paramètres et l'agrégation des sous-indices [36].

$$\text{WQI Horton} = \left[\frac{s_1 w_1 + s_2 w_2 + \dots + w_n s_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \right] m_1 m_2 \quad (1)$$

S_i = sous-indice du ième paramètre de qualité de l'eau

W_i = poids associé au ième paramètre de qualité de l'eau

Où m_1 et m_2 sont les coefficients de la température et de la pollution évidente, respectivement. Si la température est inférieure à 34°C, on utilise $m_1 = 0,5$ et lorsque la température est supérieure à 34 °C, $m_1 = 1,0$ est utilisé [37].

a) Classification de l'indice:

Pour cette méthode d'Horton, la classification de l'indice de qualité de l'eau se fait selon le tableau N°1 [37] :

Tableau II.1: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode d'Horton

Valeur de l'IQE	Évaluation de la qualité de l'eau
91 – 100	Très bon
71 – 90	Bon
51 – 70	Médiocre
31 – 50	Mauvais
0 – 30	Très mauvais

b) Les avantages et les inconvénients de cet indice :

Les avantages et les inconvénients de cette méthode d'Horton sont mentionné selon le tableau N°2 [36] :

Tableau II.2: les avantages et les inconvénients de l'indice d'Horton

Le modèle	Les avantages	Les inconvénients
L'indice d'Horton (1960)	<ul style="list-style-type: none"> - Facile à calculer et peut être effectué à l'aide de logiciels de SIG. - Sensibilité aux changements dans la structure du réseau de drainage - Utilisation dans les études de l'érosion et de la sédimentation - Aide à la planification de la gestion des ressources en eau Adaptabilité	<ul style="list-style-type: none"> - Limité aux mesures physiques - Sensibilité aux valeurs aberrantes - Limité aux données de surface - Ne prend pas en compte les effets à long terme

II.4.1.2 L'indice de qualité de l'eau SRDD (Scottish Research Development Department) :

L'indice de qualité de l'eau SRDD est développé par le gouvernement de l'État de São Paulo, au Brésil. Il utilise 9 paramètres différents pour évaluer la qualité de l'eau, notamment la DBO, la DCO, le pH, les nitrates, les phosphates, les coliformes fécaux, la turbidité, la température et la conductivité électrique. Chaque paramètre est pondéré en fonction de son importance relative et l'indice global est calculé en moyennant les pondérations. L'échelle de l'indice WQI SRDD est de 0 à 100, où une valeur plus élevée indique une meilleure qualité de l'eau, avec cinq classes de qualité de l'eau : excellente, bonne, moyenne, médiocre et mauvaise. L'indice SRDD est spécifiquement conçu pour les eaux douces et ne convient pas à l'évaluation de la qualité de l'eau dans les environnements marins ou côtiers [37].

$$SRDD = \frac{1}{100} (\sum_{i=1}^n w_i s_i)^2 \quad (2)$$

a) **Classification de l'indice :**

L'IQE calculé peut varier de 0 à 100 et le modèle propose une échelle de sept catégories pour évaluer la qualité de l'eau, Pour cette méthode SRDD, la classification de l'indice de qualité de l'eau se fait selon le tableau N°3 [38] :

Tableau II.3: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de SRDD

Valeur de l'IQE	Évaluation de la qualité de l'eau
90 – 100	Propre
80 – 89	Bonne
70 – 79	Bonne sans traitement
40 – 69	Tolérable
30 – 39	Pollué
20 – 29	Très polluées
0 – 19	Déchets de porcherie

b) Les avantages et les inconvénients de cet indice :

Les avantages et les inconvénients de cette méthode de l'indice de SRDD sont mentionné selon le tableau N°4 [39] :

Tableau II.4: les avantages et les inconvénients de l'indice de SRDD

Le modèle	Les avantages	Les inconvénients
L'indice de SRDD (1970)	<ul style="list-style-type: none"> - L'indice de qualité de l'eau SSRD est un outil simple et rapide pour évaluer la qualité de l'eau. - Il permet de suivre les changements dans la qualité de l'eau au fil du temps. - Il fournit une évaluation globale de la qualité de l'eau en utilisant plusieurs paramètres. - Il peut être utilisé pour comparer la qualité de l'eau entre différentes stations de surveillance. 	<ul style="list-style-type: none"> - L'indice de qualité de l'eau SSRD ne prend en compte qu'un nombre limité de paramètres, ce qui peut ne pas refléter la qualité de l'eau de manière exhaustive. - Certains paramètres, tels que les produits chimiques toxiques, ne sont pas inclus dans l'indice de qualité de l'eau SSRD. - Les résultats de l'indice de qualité de l'eau SSRD peuvent être influencés par des facteurs tels que la météo, les éclusées et les activités humaines à proximité des sites de surveillance. <p>4-Il ne fournit pas d'informations détaillées sur les sources de pollution ou sur les mesures de gestion nécessaires pour améliorer la qualité de l'eau</p>

III.4.1.3 Indice de qualité de l'eau de Columbia brithannique :

L'indice de qualité de l'eau de Columbia brithannique est un indice utilisé pour évaluer la qualité de l'eau dans différents cours d'eau, lacs et autres sources d'eau douce en Colombie.

Cet indice est calculé en fonction de plusieurs paramètres, tels que la turbidité, la présence de matières organiques, le pH, les niveaux de bactéries et de métaux lourds, entre autres. Il permet de déterminer la qualité globale de l'eau et d'identifier les zones où des mesures de protection ou de réhabilitation sont nécessaires [40].

$$BC\ WQI = \sqrt{F1^2 + F2^2 + (F3/3)^2} / 1.43 \quad (3)$$

F1 : le nombre d'objectifs non rempli en pourcentage de tous les objectifs vérifiés

F2 : la fréquence avec laquelle les objectifs ne sont pas respectés en pourcentage de tous les instancier d'objectifs

F3 : est le montant par lequel les objectifs ne se sont pas respectés comme l'écart maximal pour un objectif

a) Classification de l'indice:

Pour cette méthode Columbia, la classification de l'indice de qualité de l'eau se fait selon le tableau N°5 [40] :

Tableau II.5: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de Columbia

Valeur de l'IQE	Évaluation de la qualité de l'eau
0-3	Excellent
4-17	Bon
18-43	Moyen
44-59	Limite
60-100	Médiocre

b) Les avantages et les inconvénients de cet indice :

Les avantages et les inconvénients de cette méthode de l'indice de Columbia sont mentionné selon le tableau N°6 [40] :

Tableau II.6: les avantages et les inconvénients de l'indice de Columbia britannique

Le modèle	Les avantages	Les inconvénients
Indice de qualité de l'eau de Columbia Brithannique (1995)	<ul style="list-style-type: none"> - Un indice représente les mesures d'une variété de paramètres sous une seule forme, réduisant ainsi la complexité - Permettre la combinaison de divers paramètres avec des unités différentes en une seule mesure. - Facilite la communication des résultats en utilisant une seule mesure uniforme et sans dimension 	<ul style="list-style-type: none"> - Les interactions entre les paramètres ne sont pas prises en compte - Les résultats sont très sensibles à la manière dont l'indice est dérivé ou calculé - Rend les tendances dans les paramètres individuels invisibles.

II.4.1.4 Indice de qualité de l'eau en Malaisie :

L'Indice de Qualité de l'Eau en Malaisie est un indicateur utilisé en Malaisie pour évaluer la qualité de l'eau des rivières et des cours d'eau du pays. Il s'agit d'un outil qui permet de mesurer la qualité de l'eau en se basant sur plusieurs paramètres tels que la concentration de différents polluants, la turbidité, le pH, la conductivité électrique, etc.

L'IQE est un système de classification qui attribue un score à chaque paramètre mesuré, puis agrège ces scores pour obtenir un indice global de la qualité de l'eau. Cela permet de donner une indication de la pollution et de la potabilité de l'eau dans différentes régions de la Malaisie.

L'IQE est utilisé par les autorités malaisiennes pour surveiller et gérer la qualité de l'eau, ainsi que pour prendre des décisions en matière de gestion des ressources en eau et de protection de l'environnement. Des actions peuvent être entreprises pour améliorer la qualité de l'eau dans les zones où l'indice est bas.

Il convient de noter que les détails spécifiques de l'indice, tels que les paramètres utilisés, les seuils de classification et les méthodes de calcul, peuvent varier. Pour obtenir des informations précises sur l'Indice de Qualité de l'Eau en Malaisie, il est préférable de consulter les sources officielles ou les organismes responsables de sa mise en œuvre [41]. Le sous-indice de cette méthode est présenté dans le Tableau II.7 [42].

$$MWQI=0.22 \times SI_{DO}+0.19 \times SI_{DBO}+0.16 \times SI_{DCO}+0.15 \times SI_{AN}+0.16 \times SI_{SS}+0.12 \times SI_{PH} \quad (4)$$

x : est une variable qui représente la valeur mesurée d'un paramètre donné

Tableau II.7: La gamme des seuils des paramètres et leurs fonctions de sous-indice pour le calcul de la valeur du sous-indice (Department of Environment Malaysia)2005

Indice de qualité des eaux de Malaisie		
Les paramètres	Gamme applicable (x)	Sous-index Fonction
DO	$x \leq 8$	$SI(DO) = 0$
	$x \geq 92$	$SI(DO) = 100$
	$8 < x < 92$	$SI(DO) = -0.395 + 0.030 x^2 - 0.00020 x^3$
DBO	$x \leq 5$	$SI(DBO) = 100.4 - 4.23 x$
	$x > 5$	$SI(DBO) = 108 * \text{Exp}(-0.055 x) - 0.1 x$
DCO	$x \leq 20$	$SI(DCO) = -1.33 x + 99.1$
	$x > 20$	$SI(DCO) = 103 * \text{Exp}(-0.0157 x) - 0.04 x$
NH3-N	$x \leq 0.3$	$SI(NH3-N) = 100.5 - 105 x$
	$0.3 < x < 4$	$SI(NH3-N) = 94 * \text{Exp}(-0.573 AN) - 5 * I x - 2 I$
	$x \geq 4$	$SI(NH3-N) = 0$
MES	$x \leq 100$	$SI(MES) = 97.5 * \text{Exp}(-0.00676 x) + 0.05 x$
	$100 < x < 1000$	$SI(MES) = 71 * \text{Exp}(-0.0061 x) + 0.015 x$
PH	$x \leq 100$	$SI(MES) = 0$
	$x < 5.5$	$SI(pH) = 17.02 - 17.2 x + 5.02 x^2$
	$5.5 \leq x < 7$	$SI(pH) = -242 + 95.5 x - 6.67 x^2$
	$7 \leq x < 8.75$	$SI(pH) = -181 + 82.4 x - 6.05 x^2$
	$x \geq 8.75$	$SI(pH) = 536 - 77.0 x + 2.76 x^2$

a) Classification de l'indice:

Pour cette méthode de Malaisie, la classification de l'indice de qualité de l'eau se fait selon le tableau N°8 [38] :

Tableau II.8: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de Malaisie

Valeur de l'IQE	Évaluation de la qualité de l'eau
81 – 100	Propre
60 – 80	Légèrement pollué
0 – 59	Pollué

b) Les avantages et les inconvénients de cet indice [43] :

Les avantages et les inconvénients de cette méthode de l'indice de Malaisie sont mentionné selon le tableau N°9 [43]

Tableau II.9: les avantages et les inconvénients de l'indice de Malaisie

Le modèle	Les avantages	Les inconvénients
Indice de qualité de l'eau en Malaisie (2007)	<ul style="list-style-type: none"> - Mesure multidimensionnelle - Adaptabilité locale - Utilisation pour orienter les politiques - Comparabilité internationale - Sensibilisation aux inégalités 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitations de données - Biais dans la sélection des indicateurs - Complexité de calcul - Dépendance aux indicateurs - Risque de réductionnisme

II.4.2 1 er version modifiée de Développement historique du modèle IQE :

II.4.2.1 L'indice de qualité de l'eau NSF (National sanitation Foundation) :

Une méthode habituelle d'indice de qualité de l'eau a été développée en accordant une grande rigueur à la sélection des paramètres, au développement d'une échelle commune et à l'attribution de poids. Cette tentative a été soutenue par la National Sanitation Foundation (NSF) et donc appelée NSFQI afin de calculer l'indice de qualité de l'eau de différents corps d'eau gravement pollués. La méthode proposée pour comparer la qualité de l'eau de

différentes sources est basée sur neuf paramètres de qualité de l'eau tels que la température, le pH, la turbidité, les coliformes fécaux, l'oxygène dissous, la demande biochimique en oxygène, les phosphates totaux, les nitrates et les solides totaux [44,45].

Les données de qualité de l'eau sont enregistrées et transférées sur un graphique de courbe de pondération, où une valeur numérique de Qi est obtenue. L'expression mathématique pour le NSF WQI est donnée par :

$$WQI\ NFS = \sum_{i=1}^n s_i w_i \quad (5)$$

a) Classification de l'indice :

Pour cette méthode de NSF, la classification de l'indice de qualité de l'eau se fait selon le tableau N°10 [46] :

Tableau II.10: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de NSF

Valeur de l'IQE	Évaluation de la qualité de l'eau
91 – 100	Excellent
71 – 90	Bon
51 – 70	Moyenne
26 – 50	Mauvais
0 – 25	Très mauvais

b) Les avantages et les inconvénients de cet indice :

Les avantages et les inconvénients de cette méthode de l'indice de NSF sont mentionné selon le tableau N°11 [47 ;48] :

Tableau II.11: les avantages et les inconvénients de l'indice de NFS

Le modèle	Les avantages	Les inconvénients
L'indice de NFS (1965)	<ul style="list-style-type: none"> - Résume les données en une seule valeur d'indice d'une manière objective, rapide et reproductible, objective, rapide et reproductible. - Évaluation entre zones et identification des changements dans la qualité de l'eau. - La valeur de l'indice est liée à une utilisation potentielle de l'eau. - Facilite la communication avec le public 	<ul style="list-style-type: none"> - Représente la qualité générale de l'eau, mais ne représente pas l'utilisation spécifique de l'eau. - Perte de données lors du traitement des données. - Absence de gestion de l'incertitude et de la subjectivité présentes dans les questions environnementales complexes.

II.4.2.2 L'indice de qualité de l'eau CCME :

L'indice de qualité de l'eau CCME fournit une méthode cohérente, formulée par les juridictions canadiennes, pour transmettre des informations sur la qualité de l'eau à la fois pour la gestion et le public. De plus, un comité établi sous le Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement (CCME) a développé l'IQE, qui peut être appliqué par de nombreuses agences de l'eau dans différents pays avec de légères modifications. Cette méthode a été développée pour évaluer l'eau de surface pour la protection de la vie aquatique conformément à des directives spécifiques. Les paramètres liés à diverses mesures peuvent varier d'une station à l'autre et le protocole d'échantillonnage nécessite au moins quatre paramètres, échantillonnés au moins quatre fois. Le calcul des valeurs de l'indice par la méthode IQE de CCME peut être obtenu en utilisant les relations suivantes [49].

Cette méthode permet de synthétiser des données multivariées et fournit un modèle d'indice flexible adaptable à la spécificité du site [50].

La figure 2 présente l'IQE calculé dans un espace tridimensionnel en additionnant trois facteurs (F1, F2 et F2) sous forme de vecteurs [51]

Les trois éléments ont été calculés comme suit [52] :

Portée "F1 "est le pourcentage de paramètres mesurés qui n'atteignent pas leur limite au moins une fois au cours de la période de temps (paramètres défailants), par rapport au nombre total de paramètres mesurés.

$$F1 = \frac{\text{nombre de paramètres en échec}}{\text{paramètres de nombre totale}} * 100 \quad (6)$$

Fréquence "F2 "est le pourcentage de tests individuels qui n'atteignent pas leur limite (tests échoués).

$$F2 = \frac{\text{nombre de tests ratés}}{\text{nombre total d'essais}} * 100 \quad (7)$$

Amplitude "F3 "est le nombre de valeurs de test qui n'ont pas atteint leur limite. F3 est calculé en trois étapes :

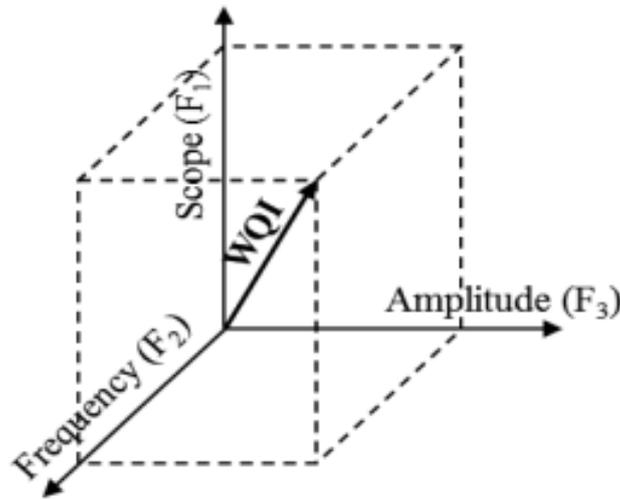


Figure 04 : Modèle conceptuel de l'IQE du CCME [53]

(a) Le nombre de fois qu'une concentration individuelle est supérieure (ou inférieure dans le cas d'une directive minimale) à la directive est appelé "excursion" et s'exprime comme suit. :

(a1) Lorsque la valeur d'essai ne doit pas dépasser la ligne directrice :

$$\text{Excursion } i = \frac{\text{valeur du test échoué } i}{\text{limitation } i} - 1 \quad (8)$$

(a2) Pour les cas où la valeur du test ne doit pas être inférieure à la ligne directrice en dessous de la ligne directrice :

$$\text{Excursion } i = \frac{\text{imitation } i}{\text{valeur du test échoué } i} - 1 \quad (9)$$

(b) Le montant collectif, en cas d'essais individuels non conformes, est calculé en additionnant les écarts par rapport à la norme. Non conformes, est calculé en additionnant les écarts des tests individuels par rapport à leurs lignes directrices et en divisant le montant total par le nombre de tests individuels. Des essais individuels par rapport à leurs lignes directrices et en divisant leur somme par le nombre total de tests. Ce paramètre, connu sous le nom de somme normalisée des écarts (nse), est calculé comme suit :

$$\text{nse} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excursion } i}{\text{nombre totale de tests}} \quad (10)$$

F3 est alors calculé par une fonction asymptotique qui met à l'échelle la somme normalisée des excursions (nse) par rapport aux objectifs pour obtenir une valeur comprise entre 0 et 10

$$F3 = \frac{\text{nse}}{0.01\text{nse} + 0.01} \quad (11)$$

L'IQE du CCME est alors calculé comme suit :

$$\text{IQE CCME} = 100 - \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \quad (12)$$

a) Classification de l'indice :

L'IQE du CCME est considéré comme un nombre sans dimension entre 0 et 100, Pour cette méthode, la classification de l'indice de qualité de l'eau se fait selon le tableau N°12 [54] :

Tableau II.12: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de CCME

La valeur de l'IQE	Évaluation de la qualité de l'eau	Descriptions
95 – 100	Excellente	La qualité naturelle de l'eau
80 – 94	Bonne	La qualité de l'eau s'écarte des niveaux naturels ou souhaitables.

65 – 79	Passable	La qualité de l'eau s'écarte parfois des niveaux naturels ou souhaitables
45 – 64	Marginale	La qualité de l'eau est fréquemment menacée ou altérée ; les conditions s'écartent souvent des niveaux naturels ou souhaitables
0 – 44	Médiocre	La qualité de l'eau n'est pas adaptée à l'utilisation, à quelque niveau que ce soit

b) Les avantages et les inconvénients de cet indice :

Les avantages et les inconvénients de cette méthode de l'indice de CCME sont mentionnés selon le tableau N°13 [55 ;56] :

Tableau II.13: les avantages et les inconvénients de l'indice de CCME

Le modèle	Les avantages	Les inconvénients
L'indice de CCME (2001)	<ul style="list-style-type: none"> - Représenter les mesures d'une variété de variables par un seul nombre. - Flexibilité dans la sélection des paramètres d'entrée et des objectifs. - Adaptabilité aux différentes exigences légales et aux différentes utilisations de l'eau. - Simplification statistique de données multivariées complexes. - Diagnostic clair et intelligible pour les gestionnaires et le grand public. - Outil adapté à l'évaluation de la qualité de l'eau dans un lieu spécifique - Facile à calculer - Tolérance aux données manquantes 	<ul style="list-style-type: none"> - Perte d'informations sur des variables uniques. - Perte d'informations sur les objectifs spécifiques à chaque lieu et à chaque utilisation de l'eau. - Sensibilité des résultats à la formulation de l'indice. - Perte d'informations sur les interactions entre variables. - Manque de transférabilité de l'indice à différents types d'écosystèmes. - Facile à manipuler (biaisé). - La même importance est accordée à toutes les variables.

	<ul style="list-style-type: none"> - Adapté à l'analyse des données provenant d'un automatisé. - Combinaison de diverses mesures dans une variété d'unités de mesure dans une seule unité métrique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de combinaison avec d'autres indicateurs ou données biologiques - Diagnostic partiel de la qualité de l'eau. - F1 ne fonctionne pas correctement lorsque trop peu de variables sont prises en compte ou lorsqu'il y a trop de covariance entre elles.
--	---	---

II.4.3 2^{ème} version modifiée de Développement historique du modèle IQE :

II.4.3.1 L'indice de qualité de l'eau de l'Oregon :

L'indice de qualité de l'eau de l'Oregon est un chiffre qui synthétise la qualité de l'eau en prenant en compte huit paramètres (température, oxygène dissous, demande biochimique en oxygène, pH, ammoniac-nitrate d'azote, phosphore total, solides totaux et coliformes fécaux). Il a été développé dans les années 1970 et a été mis à jour en fonction des avancées dans la compréhension du comportement de la qualité de l'eau. Son objectif est de fournir une méthode simple et concise pour évaluer la qualité de l'eau dans les ruisseaux de l'Oregon utilisés pour des activités récréatives telles que la pêche et la baignade. Ce rapport décrit l'origine historique de l'indice de qualité de l'eau de l'oregon et présente sa conception améliorée actuelle. L'indice de qualité de l'eau de l'oregon permet aux utilisateurs de comprendre facilement les données et de relier la qualité globale de l'eau aux variations dans des catégories spécifiques de détérioration. Ce rapport démontre l'importance de l'indice de qualité de l'eau de l'oregon dans la présentation des informations spatiales et temporelles sur la qualité de l'eau. Il contribue à une meilleure compréhension des problèmes généraux de qualité de l'eau, à la communication de l'état de la qualité de l'eau et à l'illustration de la nécessité et de l'efficacité des pratiques de protection [58].

$$WQI \text{ Oregon} = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{s_i^2}}} \quad (13)$$

n = nombre de sous-indices.

SI = sous-indice de ce paramètre (comme indique donne le Tableau II.16)

a) Classification de l'indice [59] :

Pour cette méthode de l'Oregon, la classification de l'indice de qualité de l'eau se fait selon le tableau N°14 [59] :

Tableau II.14: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de l'Oregon

Valeur de l'IQE	Évaluation de la qualité de l'eau
90 - 100	Excellent
85 - 89	Bon
80 - 84	Passable
60 - 79	Médiocre
10 - 59	Très mauvais

b) Les avantages et les inconvénients de cet indice :

Les avantages et les inconvénients de cette méthode de l'indice de L'oregon sont mentionné selon le tableau N°15 [49] :

Tableau II.15: les avantages et les inconvénients de l'indice de l'Oregon pondéré de la qualité de l'eau

Le modèle	Les avantages	Les inconvénients
L'indice de qualité de l'eau de l'Oregon	<ul style="list-style-type: none"> - La formule moyenne harmonique non pondérée utilisée pour combiner les sous-indices permet au paramètre le plus impacté d'exercer la plus grande influence sur l'indice de qualité de l'eau. - La méthode reconnaît que différents paramètres de qualité de l'eau auront une importance différente sur la qualité globale de l'eau à différents moments et endroits. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ne tient pas compte des changements de concentrations toxiques, d'habitat ou de biologie. - Il n'est pas possible de tirer des conclusions sur les conditions de qualité de l'eau en dehors des emplacements réels du réseau ambiant. - Ne peut pas déterminer la qualité de l'eau pour des utilisations spécifiques et ne peut pas être utilisé pour fournir des informations définitives sur la

	<ul style="list-style-type: none"> - La formule est sensible aux conditions changeantes et aux impacts significatifs sur la qualité de l'eau. 	<p>qualité de l'eau sans tenir compte de toutes les données physiques, chimiques et biologiques appropriées.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ne peut pas évaluer tous les risques pour la santé (toxiques, bactéries, métaux, etc.).
--	--	--

Le sous-indice de cette méthode est présenté dans le Tableau II.16 [60] :

Tableau II.16: Paramètres de qualité de l'eau, leurs seuils et les valeurs des sous-indices (L'indice de l'Oregon)

Indice de qualité des eaux de l'Oregon		
Les paramètre	Gamme applicable (x)	Sous-index Fonction
Température (C°)	$x \leq 11$	SI(T) = 100
	$1 < x < 29$	$SI(T) = 76.54 + 4.172 x - 0.1623 x^2 - 2.0557E - 3 x^3$
	$x > 29$	SI(T) = 10
DCO (mg/l) DSO (% saturation)	$x < 3.3$	SI(DO) = 10
	$3.3 < x \leq 10.5$	$SI(DO) = -80.29 + 31.88 x - 1.401 x^2$
	$x > 10.5$	SI(DO) = 10
DSO (% saturation)	$100\% < x \leq 275\%$	$SI(DO) = 100 \exp((x - 100)^{-1.197E - 2})$
	$x > 275\%$	SI(DO) = 10
DBO ₅ (mg/l)	$x \leq 8$	$SI(BOD) = 100 \exp(x * - 0.1993)$
	$x > 8$	SI(BOD) = 10
PH	$x < 4$	SI(PH) = 10
	$4 \leq x < 7$	$SI(PH) = 2.628 \exp(x * 0.5200)$

	$8 < x \leq 11$ $x > 11$	$SI(PH) = 100 \exp((x - 8) * - 0.5188)$ $SI(PH) = 10$
Matières solides totales (mg/l)	$x < 40$ $40 < x \leq 220$ $x > 220$	$SI(TS) = 100$ $SI(TS) = 142.6 \exp(x - 8.862E - 3)$ $SI(TS) = 10$
Ammonia+NO3-N	$x \leq 3$ $x > 3$	$SI(N) = 100 \exp(x * - 0.4605)$ $SI(N) = 10$
Phosphore total	$x \leq 0.25$ $x > 0.25$	$SI(P) = 100 - 299.5 x - 0.1384 x^2$ $SI(P) = 10$
Coliformes fécaux (nos./100 ml)	$x \leq 50$ $50 < x \leq 1600$ $x > 1600$	$SI(FC) = 98$ $SI(FC) = 98 \exp((x - 50) * - 9.9178E - 4)$ $SIFC = 10$

II.4.3.2 L'indice de West Java :

L'indice de qualité de l'eau de West Java est un système utilisé pour mesurer la qualité de l'eau dans la région de Java occidental en Indonésie. Cet indice a été développé par l'Agence de gestion de l'eau de la province de Java occidental (BPDAS Citarum-Ciliwung) en collaboration avec des experts locaux et internationaux.

L'indice est basé sur plusieurs paramètres physico-chimiques de l'eau, tels que le pH, la turbidité, la conductivité, le taux d'oxygène dissous, les matières organiques, les nutriments, les métaux lourds et les substances toxiques. Les échantillons d'eau sont prélevés dans différentes parties de la région de Java occidental, notamment les rivières, les lacs et les zones côtières.

Il est important de noter que la qualité de l'eau dans la région de Java occidental a été un sujet de préoccupation ces dernières années en raison de la pollution industrielle, agricole et domestique. Le gouvernement et les organismes de réglementation locaux ont mis en place des mesures pour améliorer la qualité de l'eau, notamment la mise en place de stations

d'épuration et la sensibilisation du public à l'importance de la préservation de l'environnement [61].

$$WQI = \prod_{i=1}^n S_i^{w_i} \quad (14)$$

n : le nombre de sous-indices

w_i : le poids ième

S_i : le sous-indice ième

a) Classification de l'indice :

Pour cette méthode de West java, la classification de l'indice de qualité de l'eau se fait selon le tableau N°17 [38] :

Tableau II.17: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de West java

Valeur de l'IQE	Évaluation de la qualité de l'eau
90 - 100	Excellent
75 - 90	Bon
50 - 75	Passable
25 - 50	Marginal
5 - 25	Médiocre

b) Les avantage et les inconvénients de cet indice :

Les avantages et les inconvénients de cette méthode de l'indice de West java sont mentionné selon le tableau N°18 [61] :

Tableau II.18: les avantages et les inconvénients de l'indice de West java

Le modèle	Les avantages	Les inconvénients
L'indice de west java (2017)	<ul style="list-style-type: none"> - Prise en compte des dimensions multiples - Pertinence locale - Utilisation de données primaires - Visualisation des résultats - Orientation vers l'action 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitations géographiques - Subjectivité dans la sélection des indicateurs - Défi de la comparabilité - Manque de données historiques - Défi de l'interprétation des résultats

Le sous-indice de cette méthode est présenté dans le Tableau II.19 [62] :

Tableau II.19: Paramètres de qualité de l'eau, leurs seuils et les valeurs des sous-indices (l'indice de west java)

(1)	(2)	unité	Paramètre la valeur de sub index		
			Min	Max	entre 100 et 5
			(3)	(4)	(5)
1	Température Clase 1-4 Clase 5	C °	< 40 ^b >40 ^b		Si=100 Si=50
2	Matière solide en suspension Clase 1 Clase 2 Clase 3 Clase 4 Clase 5	Mg/L	0 >20 ^b > 30 ^b >50 ^a > 400 ^a	20 ^b 30 ^b 50 ^a 400 ^a	Si=100 100<si<75 75<Si<50 50<Si<5 Si=5
3	Demande d'oxygène chimique Clase 1 Clase 2 Clase 3 Clase 4 Clase 5	Mg/L	0 >10 ^a >25 ^a >50 ^a >100 ^a	10 ^a 25 ^a 50 ^a 100 ^a	Si=100 100<si<75 75<Si<50 50<Si<5 Si=5
4	Oxygène dissous Clase 1	Mg/L O2		>6 ^a	Si=100

	Clase 2		$<6^a$	4^a	$100 < Si < 75$
	Clase 3		$<4^a$	3^a	$75 < Si < 50$
	Clase 4		$<3^a$	2.04^d	$50 < Si < 5$
	Clase 5		0	$>2.04^d$	Si=5
5	NO2	Mg /L NO2-			
	Clase 1		0	0.01^b	Si=100
	Clase 2		$>0.01^b$	0.02^b	$100 < Si < 75$
	Clase 3		$>0.02^b$	0.04^b	$75 < Si < 50$
	Clase 4		$>0.04^b$	0.06^a	$50 < Si < 5$
	Clase 5		$>0.06^a$		Si=5
6	TP	Mg/L PO4-P			
	Clase 1		0	0.2^a	Si=100
	Clase 2		$>0.2^a$	0.4^c	$100 < Si < 75$
	Clase 3		$>0.4^c$	1^a	$75 < Si < 50$
	Clase 4		$>1^a$	5^a	$50 < Si < 5$
	Clase 5		$>5^a$		Si=5
7					
	Clase 1		0	0.000^f	Si=100
	Clase 2		$>0.000^f$	200^a	$100 < Si < 75$
	Clase 3-4		$>200^a$	500^c	$75 < Si < 5$
	Clase 5		$>500^c$		Si=5
8					
	Clase 1		0	1^a	

	Clase 2		$>1^a$	5^c	
	Clase 3-4		$>5^c$	10^c	
	Clase 5		$>10^c$		
9	CL	Mg/L CL-			
	Clase 1		0	200^c	Si=100
	Clase 2-3		$>200^c$	250^e	$100 < si < 50$
	Clase 4		$>250^e$	600^a	$50 < Si < 5$
	Clase 5		$>600^a$		Si=5
10	Zinc	Mg/L Zn			
	Clase 1		0	0.05^a	Si=100
	Clase 2		$>0.05^a$	1^c	$100 < si < 75$
	Clase 3 - 4		$>1^c$	2^a	$75 < Si < 5$
	Clase 5		$>2^a$		Si=5
11	PB	Mg/L Pb			
	Clase 1		0	0.02^b	Si=100
	Clase 2		$>0.02^b$	0.03^a	$100 < si < 75$
	Clase 3		$>0.03^a$	0.05^c	$75 < Si < 50$
	Clase4		$>0.05^c$	1^a	$50 < Si < 5$
	Clase 5		$>1^a$		Si=5
12	HG	Mg /L Hg			
	Clase 1		0	0.0005^b	Si=100
	Clase 2		$>0.0005^b$	0.001^a	$100 < si < 75$
	Clase 3		$>0.001^a$	0.002^a	$75 < Si < 50$
	Clase 4				$50 < Si < 5$

	Clase 5		>0.002 ^a >0.005 ^a	0.005 ^a	Si=5
13	FC	MPN /100			
	Clase 1		0	50 ^b	Si=100
	Clase 2		>50 ^b	100 ^a	100<si<75
	Clase 3		>100 ^a	1000 ^a	75<Si<50
	Clase 4		>1000 ^a	2000 ^a	50<Si<5
	Clase 5		>2000 ^a		Si=5

- a : Normes de qualité de l'eau de l'Indonésie
 b : Réglementation vietnamienne sur la qualité de l'eau de surface
 c : Guide ou niveau obligatoire selon la Directive
 d : Sous-indices de valeur
 e : Directives de l'OMS pour la qualité de l'eau potable
 f : Concentration idéale pour le MBAS dans l'eau potable

II.4.3.3 Indice arithmétique pondéré de la qualité de l'eau (Weighted Arithmetic) :

La méthode de l'indice arithmétique pondérée classe la qualité de l'eau selon le degré de pureté en utilisant les variables de qualité de l'eau les plus couramment mesurées. La méthode a été largement utilisée par différents scientifiques, et le calcul de l'indice de qualité de l'eau a été effectué en utilisant l'équation suivante [63].

• $W_i = \frac{k}{s_i}$ (15)

• $k = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (\frac{1}{s_i})}$ (16)

• $Q_i = 100 \frac{C_i}{s_i}$ (17)

• $IQE = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i * W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$ (18)

W_i : le poids relatif

n : nombre de paramètres

S_i : valeur maximale de la norme standard de chaque paramètre

k : constante de proportionnalité et peut également être calculée à l'aide de l'équation suivante:

Q_i : échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre.

C_i : la concentration de chaque paramètre en mg/l

a) Classification de l'indice :

Pour cette méthode d'arithmétique, la classification de l'indice de qualité de l'eau se fait selon le tableau N°20 [49] :

Tableau II.20: Classification de L'indice de qualité de l'eau par la méthode de l'indice arithmétique pondéré de la qualité de l'eau

Valeur de l'IQE	Évaluation de la qualité de l'eau
0 - 25	Excellent
26 - 50	Bon
51 - 75	Mauvaise
76 - 100	Très Mauvais
> 100	Eaux non potable

b) Les avantages et les inconvénients de cet indice :

Les avantages et les inconvénients de cette méthode de l'indice d'arithmétique sont mentionné selon le tableau N°21 [64 ;65] :

Tableau II.21: les avantages et les inconvénients de l'indice arithmétique

Le modèle	Les avantages	Les inconvénients
Indice arithmétique pondéré de la	<ul style="list-style-type: none"> - Intégrer des données provenant de plusieurs paramètres de qualité de l'eau dans une équation mathématique qui évalue la qualité de l'eau avec un nombre. - Moins de paramètres requis en comparaison avec tous les paramètres de 	<ul style="list-style-type: none"> - L'indice de qualité de l'eau peut ne pas fournir suffisamment d'informations sur la véritable situation de la qualité de l'eau.

<p>qualité de l'eau</p>	<p>qualité de l'eau pour une utilisation particulière.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utile pour communiquer des informations globales sur la qualité de l'eau aux citoyens concernés et aux décideurs politiques. - Reflète l'influence composite de différents paramètres, c'est-à-dire important pour l'évaluation et la gestion de la qualité de l'eau. - Décrire la pertinence des ressources d'eau de surface et souterraines pour la consommation humaine. 	<ul style="list-style-type: none"> - De nombreuses utilisations des données sur la qualité de l'eau ne peuvent pas être satisfaites par un indice. - L'éclipse ou la suraccentuation d'une seule mauvaise valeur de paramètre. - Un seul chiffre ne peut pas raconter toute l'histoire de la qualité de l'eau ; il existe de nombreux autres paramètres de qualité de l'eau qui ne sont pas inclus dans l'indice. - L'indice de qualité de l'eau basé sur certains paramètres très importants peut fournir un indicateur simple de la qualité de l'eau
-------------------------	--	--

II.4.4 Fuzzy interface system (FIS) :

Le système d'interface floue (Fuzzy Interface System ou FIS) est une technique de modélisation mathématique utilisée pour la résolution de problèmes de contrôle et de décision. Il est largement utilisé dans diverses industries telles que l'automobile, la robotique, la finance et la gestion des risques. Dans ce texte, nous allons fournir une vue d'ensemble du système d'interface floue, son fonctionnement et ses applications [66].

Le système d'interface floue est basé sur la théorie des ensembles flous qui permet de décrire des concepts vagues et imprécis en termes mathématiques. Le système utilise des règles de décision pour déterminer les actions à entreprendre en fonction des entrées et des sorties floues. Les entrées sont les variables d'entrée qui sont généralement mesurées, tandis que les sorties sont les actions à entreprendre qui sont contrôlées par le système.

a) Les composantes principales d'interface floue :

Le système d'interface floue est constitué de quatre composantes principales :

- Le bloc d'entrée : il prend les données d'entrée et les transforme en valeurs floues en utilisant des fonctions d'appartenance floue.

- La base de règles : elle est constituée de règles de décision qui sont utilisées pour déterminer les actions à entreprendre en fonction des entrées floues.
- Le bloc de traitement : il calcule les valeurs de sortie en utilisant les règles de décision et les valeurs d'entrée floues.

Le bloc de sortie : il convertit les valeurs de sortie floues en valeurs numériques utilisables pour contrôler les actions à entreprendre [67].

b) Applications du système d'interface floue :

Le système d'interface floue est largement utilisé dans diverses industries, notamment :

- L'automobile : il est utilisé pour le contrôle de la transmission automatique, le contrôle de la traction, le contrôle de la direction assistée, etc.
- La robotique : il est utilisé pour la commande des mouvements des robots, la détection des obstacles, etc.
- La finance : il est utilisé pour l'évaluation des risques, la gestion de portefeuille, la détection de fraudes, etc.

La gestion des risques : il est utilisé pour la détection de menaces, la sécurité informatique, la détection d'incendies, etc [68]

c) Les avantages et les inconvénients de Fuzzy interface system (FIS) :

Les avantages et les inconvénients de cette méthode de l'indice de Fuzy interface system sont mentionné selon le tableau N°22 [69] :

Tableau II.22: les avantages et les inconvénients de Fuzzy interface system

Le modèle	Les avantages	Les inconvénients
Fuzzy interface system (FIS)	<ul style="list-style-type: none"> - Le système d'interface floue est capable de gérer des données imprécises et incertaines. - Il est capable de traiter des informations non linéaires. - Il est facile à comprendre et à utiliser pour les non-spécialistes. - Il est facilement implémentable dans les systèmes informatiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Il peut être difficile de définir les fonctions d'appartenance floue. - Les règles de décision peuvent être complexes à établir et à valider. - Le système peut être sensible aux données d'entrée. - Les résultats peuvent être difficiles à interpréter.

II.5 Une étude comparative des valeurs de poids des paramètres communs de qualité de l'eau en appliquant différents modèles d'IQE :

En général, la valeur du poids des paramètres est estimée en fonction de l'importance relative du paramètre de qualité de l'eau et des directives appropriées en matière de qualité de l'eau [8]. La majorité des modèles d'indice de qualité de l'eau (IQE) ont appliqué des techniques de pondération inégale où la somme de toutes les valeurs de poids des paramètres était égale à 1 (Tableau 4) [37].

Tableau II.23: Une étude comparative des valeurs de poids des paramètres communs de qualité de l'eau en appliquant différents modèles d'IQE.

valeur pondérale des paramètres de qualité de l'eau																	
WQI	Tem	Turb	SS	TS	PH	DO	DBO	DCO	SC	TA	Cl-	NH3-N	FC	TC	TP	NO3-	TON
Horton					4	4			1	1	1		1				
NFS	0.1	0.08		0.07	0.11	0.17	0.11						0.16		0.10	0.10	
SRDD	0.05		0.07		0.09	0.18	0.15		0.06			0.12	0.12		0.08		0.08
Oregon					0.167	0.167	0.167				0.167		0.167			0.167	
MIQE			0.16		0.12	0.22	0.19	0.16				0.15					
WJIQE	0.034		0.044			0.10		0.10			0.077		0.179		0.058	0.065	

Chapitre03 :
Calcul de l'indice
de qualité de l'eau
de barrage de
keddara

III.1 Introduction :

La région d'étude porte sur le barrage de Keddara, de type remblai, situé sur le territoire de la commune d'El Kharrouba, dans la wilaya de Boumerdès, en Algérie. Il a été construit entre 1982 et 1987.

Dans ce chapitre, nous avons essayé d'étudier l'indice de qualité de l'eau selon deux méthodes. La première méthode est la méthode du Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement, et la deuxième méthode est la méthode arithmétique [70].

III.2 Présentation de barrage de KEDARRA :

III.2.1 La situation de barrage de KEDARRA :

Le barrage de KEDDARA est situé à 8 km au Sud du village de BOUDOUAOU et 35 km à l'est d'ALGER, dans la Wilaya de Boumerdes en Algérie, L'oued KEDDARA, au droit du site et après sa confluence avec l'oued EL HAAD, prend le nom d'oued BOUDOUAOU, mais le site est, cependant, généralement appelé KEDDARA. Il est fondé sur une couche rocheuse de schistes et a été instrumenté par le Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS) avec un réseau dense d'accélérographes.

La digue du barrage est constituée d'un noyau central argileux incliné, sur lequel reposent des filtres et des zones de transition, couverts par des enrochements calcaires compactés pour assurer la stabilité du barrage.

En ce qui concerne l'hydrogéologie, la région présente un climat fort contrasté avec des hauts massifs caractérisés par un climat froid et pluvieux, et des plaines de part et d'autre des chaînes montagneuses de l'Atlas avec un climat relativement sec à fort écart thermique. Le régime d'écoulement est de type bi-modal à influence méditerranéenne, avec deux maxima de débit autour du mois de mars et de novembre [71].

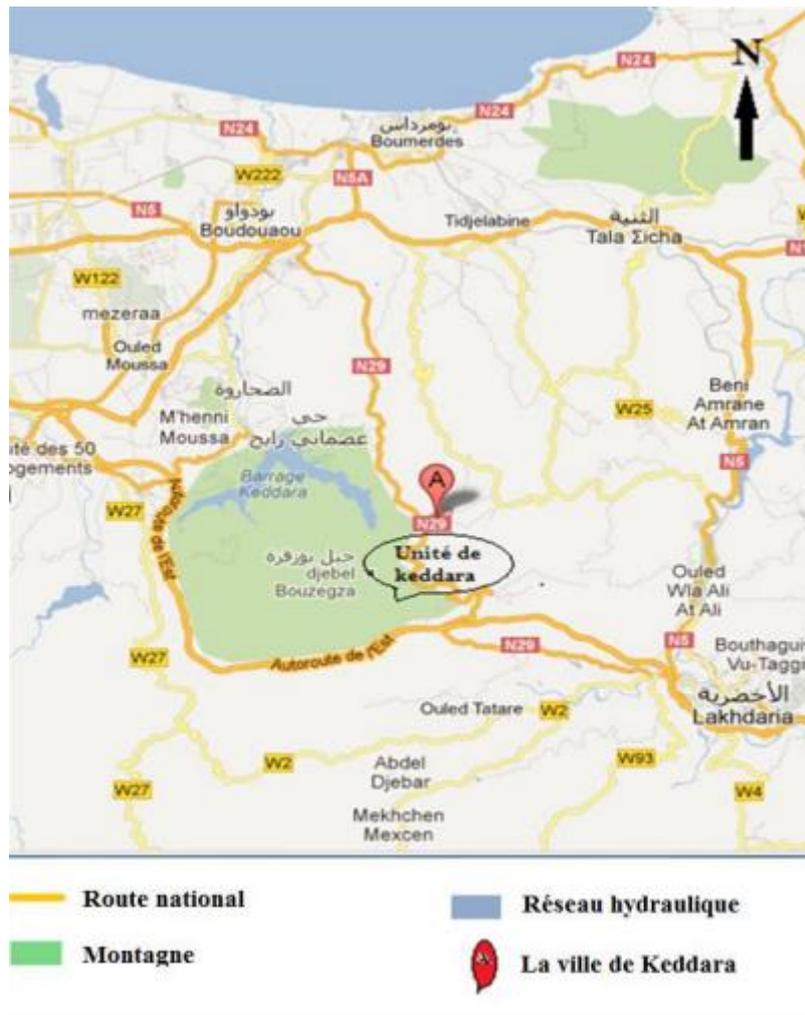


Figure III.1 : situation géographique barrage KEDDARA

III.2.2 Les caractéristiques générales du barrage sont les suivantes :

- Hauteur maximale (digue) : 106,00 m
- Longueur en crête : 468,00 m
- Largeur en crête : 12 m
- Largeur maximale au niveau du terrain naturel : 426 m [72].
- Évacuateur de crues :

L'évacuateur de crues du barrage comprend un déversoir de 50 m de long avec une capacité de débit de 750 m³/s en utilisant un labyrinthe, et une vidange de fond avec un débit de 55 m³/s.

III.2.3 La Retenue :

La retenue du barrage dépend du pompage des eaux de la prise de Beni-Amrane, des eaux de dérivation du barrage de Hamiz et des apports de son propre bassin versant. La retenue a été mise en eau en 1986

III.2.3.1 Caractéristiques générales de retenue :

- Altitude de la retenue normale (eau) 145m
- Altitude des plus hautes eaux 147.32m
- Capacité totale de la retenue 145.6 Mm³
- Réserve d'envasement 32.30 Mm³ /an
- Volume régularisé 142.39 Mm³

III.2.2.2 Destination :

- Alimentation en eau potable de la ville d'Alger :

-dotation annuelle en 2011 : 83 Mm³ [20].



Figure III.2 : le barrage de KEDARRA

III.3 Méthodologie et données :

III.3.1 Base de données :

Les données utilisées, dans le cadre de cette étude, comprennent les données relatives aux analyses physicochimiques des eaux brutes. Les échantillons d'eau ont été prélevés au niveau Barrage sur une période de temps du (29 Décembre 2018 jusqu'au25 mai 2021).

Les données utilisées, dans le cadre de cette étude, comprennent les données relatives aux analyses physicochimiques des eaux brutes. Les échantillons d'eau ont été prélevés au niveau Barrage sur une période de temps du (29 Décembre 2018 jusqu'au25 mai 2021).

- La base de données de la 1^{er} méthode (CCME) comprend en tout 11 échantillons. Les paramètres comprennent le pH, l'oxygène dissous (O₂diss), le Rés sec, la température T °C, la turbidité, la conductivité, les Ortho-phosphates (PO₄³⁻), les Nitrite (NO₂⁻), L'ammonium (NH₄⁺) les Nitrates (NO₃⁻) et les matières en suspensions (MES).
- La base de données de la 2^{-ème} méthode (arithmétique) comprend en tout 8 échantillons. Les paramètres comprennent le pH, l'oxygène dissous (O₂diss), la température T °C, la turbidité, la conductivité, les Ortho-phosphates (PO₄³⁻), les Nitrite (NO₂⁻)et L'ammonium (NH₄⁺)

L'analyse se fait donner le laboratoire. L'évaluation des calculs et la visualisation des résultats ont été effectuées à l'aide du logiciel Excel 2010.

III.3.2 Calcul de l'indice de qualité de l'eau

III.3.2.1 Calcul de l'indice de qualité de l'eau par la méthode CCME :

Les valeurs recommandées pour les eaux brute pour chaque paramètre sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau III. 1 : Les recommandations des paramètres physico-chimiques de barrage

Les paramètres	La valeur Recommandée	UNITE
Temp	25	C°
PH	6.5-9	/
Conductivité	2800	µs/cm
Turbidité	5	
Oxygène dissout	5	mg/l

MES	35	mg/l
Rés sec	1500	mg/l
NO-2	0.2	mg/l
NO3-	50	mg/l
NH+4	0.5	mg/l
PO43-	0.5	mg/l

a. Exemple de calcul :

Selon les formules (6-7-8-9-10-11-12), je souhaite effectuer des calculs pour la période du 29 décembre 2018 au 25 mars 2019 :

Il y a 1 paramètres non conformes (turbidité) à la valeur recommandée correspondante. Le nombre total de paramètres est de 11. Ainsi :

$$F1 = \left(\frac{1}{11}\right) * 100 = 9.09$$

Le nombre de résultats analytiques ne respectant pas les valeurs recommandées est de 20, et le nombre total de résultats analytiques, de 128. Dans ce cas :

$$F2 = \left(\frac{20}{128}\right) * 100 = 15.62$$

Les coefficients d'écart, leur somme normalisée et F3 sont calculés comme suit :

$$\text{Coefficient d'écart} = \left(\frac{9.94}{5}\right) - 1 = 0.98$$

(Calculé pour chaque valeur > valeur recommandée correspondante)

$$\text{Sncé} = \frac{(17.38)}{128} = 0.1357$$

$$F3 = \left(\frac{0.1357}{0.01(0.1357)+0.01}\right) = 11.45$$

Les trois facteurs ayant été établis, on peut maintenant calculer la valeur de l'indice :

$$\text{IQE de CCME} = 100 - \left(\frac{\sqrt{9.09^2 + 15.62^2 + 11.45^2}}{1.732}\right) = 87.64$$

Les résultats de cette méthode sont présentés dans le tableau suivant :

III .2 : IQE des eaux de surface de barrage KEDARRA par la méthode de CCME

La date	29/12/2008 27/03/2019	03/04/2019 28/09/2019	07/10/2019 27/03/2020	04/04/2020 20/09/2020	02/10/2020 31/03/2021	03/04/2021 23/05/2021
Saison	Humide	Sèche	Humide	Sèche	Humide	Sèche
Echantillons	20	35	27	27	35	10
Nombre total d'analyse	128	213	163	173	216	62
+	20	11	15	17	35	14
F1	9.09	27.27	9.09	27.27	9.09	18.18
F2	15.62	5.16	9.20	9.82	16.20	22.58
F3	11.45	3.10	2.72	5.39	15.89	19.93
CCME IQE	87.64	83.87	92.36	82.97	85.88	79.68
Qualité eau	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Moyenne

Interprétation :

Au cours de la période allant du 29 décembre 2018 au 25 mai 2021, nous avons effectué une étude de la qualité de l'eau en utilisant la méthode du Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME) pendant les saisons sèches et humides. Les résultats des indices de qualité de l'eau du barrage sont résumés dans le tableau III.2. Selon nos observations, la qualité de l'eau pendant la saison humide est généralement considérée comme bonne, comme l'indique le tableau II.12. Cela suggère que les conditions environnementales et les facteurs influençant la qualité de l'eau sont favorables pendant cette période de l'année. Cependant, il est important de noter que la qualité de l'eau pendant la saison sèche présente une certaine variabilité. Les indices de qualité varient entre "bonne" et "moyenne" pendant cette période. Cette variation peut être attribuée à divers facteurs, tels que la disponibilité des précipitations, l'activité humaine, et d'autres paramètres environnementaux. Il serait judicieux de poursuivre cette étude pour comprendre en détail les causes de cette variation de la qualité de l'eau pendant la saison

sèche, ce qui pourrait contribuer à mettre en place des mesures de gestion de l'eau plus efficaces et à garantir une qualité de l'eau optimale tout au long de l'année.

III.3.2.2 Calcul de l'indice de qualité de l'eau par la méthode arithmétique :

Le poids relatif (W_i) de chaque paramètre physico-chimique et la constante de proportionnalité k sont calculés en premier lieu en utilisant les valeurs maximales de la norme standard des eaux de surface des paramètres physico chimiques étudiés (tableau III.3).

Tableau III.3 : Poids des paramètres physico-chimiques et norme de qualité des eaux de surface

Paramètre	Si	1/Si	Wi
PH	9	0,111111	0,012
T°	25	0,04	0,00417
Conductivité	2800	0,000357	0,000036
Turbidité	5	0,2	0,0208
O2	5	0,2	0,0208
MES	35	0,028571	0,0029
Rés sec	1500	0,000667	0,000068
NO-2	0,2	5	0,52
NO3-	50	0,02	0,00208
NH+4	0,5	2	0,208
PO43-	0,5	2	0,208
		9,600706	1,000
	k	0,104159	

Après le calcul de l'indice global de qualité IQE en utilisant les résultats d'analyses physico-chimiques et les valeurs standards de la norme de qualité de l'eau, la classe de qualité des eaux est déterminée pour les 8 échantillons relatif. Ainsi, Cinq classes de qualité (Excellente,

bonne, mauvaise très mauvais et non potable) sont identifiées lors des période sèche (avril jusqu'à septembre) et humide (octobre jusqu'à mars) , Les résultats de cette saison sont présentés dans les deux tableaux suivant :

Tableau III.4 : Valeurs de IQE et classe de qualité des eaux de Barrage pendant la période humide

La date (S1)	IQE	La qualité de l'eau	La date (S3)	IQE	La qualité de l'eau	La date(S5)	IQE	La qualité de l'eau
29/12/2018	16,405	Excellente	07/10/2019	8,435	Excellente	02/10/2020	15,37	Excellente
02/01/2019	9,342	Excellente	13/10/2019	6,066	Excellente	05/10/2020	7,39	Excellente
06/01/2019	19,135	Excellente	14/10/2019	10,538	Excellente	10/10/2020	17,95	Excellente
09/01/2019	10,222	Excellente	23/10/2019	8,970	Excellente	15/10/2020	14,64	Excellente
14/01/2019	12,177	Excellente	31/10/2019	8,818	Excellente	22/10/2020	17,27	Excellente
22/01/2019	11,208	Excellente	07/11/2019	8,913	Excellente	30/10/2020	10,42	Excellente
31/01/2019	11,472	Excellente	15/11/2019	9,327	Excellente	07/11/2020	11,87	Excellente
01/02/2019	9,150	Excellente	20/11/2019	9,904	Excellente	15/11/2020	17,33	Excellente
08/02/2019	10,947	Excellente	28/11/2019	9,474	Excellente	23/11/2020	20,03	Excellente
16/02/2019	14,016	Excellente	29/11/2019	8,215	Excellente	27/11/2020	18,06	Excellente
23/02/2019	11,035	Excellente	06/12/2019	9,186	Excellente	05/12/2020	18,87	Excellente
28/02/2019	9,575	Excellente	14/12/2019	9,601	Excellente	13/12/2020	22,35	Excellente
02/03/2019	3,481	Excellente	22/12/2019	11,488	Excellente	16/12/2020	10,40	Excellente
08/03/2019	12,980	Excellente	28/12/2019	10,291	Excellente	21/12/2020	25,11	Bonne
14/03/2019	8,162	Excellente	05/01/2020	13,388	Excellente	26/12/2020	17,83	Excellente
16/03/2019	17,272	Excellente	06/01/2020	7,889	Excellente	04/01/2021	19,33	Excellente
18/03/2019	5,441	Excellente	13/01/2020	11,998	Excellente	11/01/2021	14,88	Excellente
23/03/2019	17,686	Excellente	21/01/2020	11,931	Excellente	13/01/2021	8,31	Excellente
26/03/2019	17,056	Excellente	02/02/2020	9,510	Excellente	19/01/2021	14,05	Excellente
27/03/2019	9,053	Excellente	10/02/2020	9,423	Excellente	26/01/2021	10,91	Excellente
			18/02/2020	11,618	Excellente	27/01/2021	13,08	Excellente
			22/02/2020	9,054	Excellente	03/02/2021	12,64	Excellente
			26/02/2020	8,938	Excellente	04/02/2021	15,48	Excellente
			05/03/2020	9,256	Excellente	11/02/2021	20,00	Excellente
			13/03/2020	9,681	Excellente	12/02/2021	12,03	Excellente
			21/03/2020	9,251	Excellente	19/02/2021	9,73	Excellente
			27/03/2020	9,414	Excellente	20/02/2021	9,97	Excellente
						28/02/2021	15,96	Excellente

	08/03/2021	14,08	Excellente
	16/03/2021	13,21	Excellente
	18/03/2021	4,32	Excellente
	23/03/2021	7,81	Excellente
	24/03/2021	11,48	Excellente
	26/03/2021	12,43	Excellente
	31/03/2021	4,12	Excellente

Tableau III.5 : Valeurs de IQE et classe de qualité des eaux de barrage pendant la période sèche

La date(S2)	IQE	La qualité de l'eau	La date (S4)	IQE	La qualité de l'eau	La date (S6)	IQE	La qualité de l'eau
03/04/2019	12,867	Excellent	04/04/2020	9,950	Excellent	03/04/2021	11,966	Excellent
04/04/2019	8,640	Excellent	12/04/2020	8,887	Excellent	12/04/2021	7,798	Excellent
11/04/2019	13,391	Excellent	15/04/2020	3,182	Excellent	13/04/2021	10,926	Excellent
12/04/2019	8,853	Excellent	20/04/2020	9,738	Excellent	20/04/2021	5,602	Excellent
17/04/2019	5,101	Excellent	29/04/2020	12,893	Excellent	21/04/2021	13,268	Excellent
19/04/2019	11,323	Excellent	06/05/2020	11,972	Excellent	27/04/2021	11,734	Excellent
20/04/2019	8,827	Excellent	13/05/2020	9,714	Excellent	30/04/2021	7,767	Excellent
01/05/2019	12,475	Excellent	18/05/2020	5,689	Excellent	16/05/2021	13,473	Excellent
09/05/2019	9,233	Excellent	19/05/2020	3,861	Excellent	17/05/2021	3,844	Excellent
13/05/2019	9,218	Excellent	20/05/2020	9,295	Excellent	23/05/2021	10,936	Excellent
21/05/2019	8,782	Excellent	22/06/2020	9,874	Excellent			
22/05/2019	6,367	Excellent	29/06/2020	16,866	Excellent			
28/05/2019	8,745	Excellent	30/06/2020	4,584	Excellent			
29/05/2019	3,534	Excellent	06/07/2020	16,924	Excellent			
05/06/2019	8,852	Excellent	12/07/2020	23,132	Excellent			
13/06/2019	8,841	Excellent	15/07/2020	2,598	Excellent			
21/06/2019	8,847	Excellent	21/07/2020	16,982	Excellent			
22/06/2019	3,605	Excellent	29/07/2020	19,949	Excellent			
26/06/2019	8,875	Excellent	06/08/2020	16,321	Excellent			
28/06/2019	3,645	Excellent	14/08/2020	10,401	Excellent			
04/07/2019	8,620	Excellent	22/08/2020	11,361	Excellent			
12/07/2019	8,135	Excellent	28/08/2020	4,162	Excellent			
14/07/2019	2,951	Excellent	30/08/2020	60,617	Mauvaise			
20/07/2019	7,986	Excellent	05/09/2020	56,459	Mauvaise			

27/07/2019	5,625	Excellent	06/09/2020	17,856	Excellent
28/07/2019	8,201	Excellent	10/09/2020	8,588	Excellent
04/08/2019	5,004	Excellent	12/09/2020	6,967	Excellent
06/08/2019	11,997	Excellent	20/09/2020	12,670	Excellent
12/08/2019	4,708	Excellent			
14/08/2019	11,902	Excellent			
20/08/2019	5,894	Excellent			
22/08/2019	10,754	Excellent			
02/09/2019	5,245	Excellent			
18/09/2019	5,442	Excellent			
28/09/2019	8,117	Excellent			

- **Interprétation de tableau III.4 :**

Nous avons mené une étude de la qualité de l'eau en utilisant la méthode arithmétique pendant la saison des pluies. Les données des indices de qualité de l'eau du barrage sont résumées dans le tableau III.4. Il est important de noter que la qualité de l'eau pendant cette période est généralement excellente, avec des indices de qualité (IQ) inférieurs ou égaux à 25. Cependant, il convient de mentionner qu'à la date du 21 décembre 2020, la qualité de l'eau a été classée comme bonne, avec des indices de qualité compris entre 26 et 50, selon les informations fournies dans le tableau II.20. Ces résultats suggèrent que la qualité de l'eau du barrage est généralement très satisfaisante pendant la saison humide, mais qu'elle a atteint un niveau légèrement inférieur à la date spécifique mentionnée. Il peut être intéressant d'examiner de plus près les facteurs qui ont contribué à cette variation temporaire de la qualité de l'eau à cette date particulière.

- **Interprétation de tableau III.5:**

Dans le cadre de notre étude, nous avons examiné la qualité de l'eau en utilisant la méthode arithmétique pendant la saison sèche. Les résultats de l'indice de qualité de l'eau du barrage sont consignés dans le tableau III.5. Il est important de noter que la qualité de l'eau pour cette période est généralement excellente, avec un indice de qualité (IQ) inférieur ou égal à 25. Cependant, deux dates, le 30 août 2020 et le 5 septembre 2020, se distinguent par une qualité de l'eau de mauvaise qualité, avec un indice de qualité de l'eau (IQE) compris entre 76 et 100, selon les données du tableau II.20. Ces résultats soulignent l'importance de surveiller de près les conditions de l'eau, en particulier pendant les périodes de sécheresse, pour s'assurer

du maintien d'une qualité adéquate. Les dates spécifiques mentionnées méritent une attention particulière en vue d'une éventuelle gestion et intervention pour améliorer la qualité de l'eau dans le barrage.

III.4 La comparaison entre les deux modèles :

La comparaison entre les deux modèles est essentielle pour évaluer leur efficacité respective dans le calcul de l'indice de qualité de l'eau. Dans le premier tableau, nous avons opté pour la méthode canadienne, divisant les données par saisons pour calculer l'indice de qualité de l'eau. Cette approche saisonnière nous permet d'obtenir une vision globale de la qualité de l'eau au fil des saisons, ce qui peut être précieux pour identifier des tendances à long terme et des variations saisonnières significatives.

En revanche, la deuxième méthode, la méthode arithmétique, repose sur une division par jour. Cette granularité accrue offre la possibilité de suivre les fluctuations quotidiennes de l'indice de qualité de l'eau. Cette approche est particulièrement utile pour détecter des variations plus subtiles, des événements à court terme et pour prendre des mesures réactives en temps réel. La différence fondamentale entre les deux méthodes réside donc dans leur résolution temporelle. La méthode canadienne privilégie une vue d'ensemble à long terme, tandis que la méthode arithmétique se concentre sur des analyses quotidiennes plus détaillées. Le choix entre ces deux approches dépendra des objectifs de l'étude, des besoins en termes de données et des capacités de gestion de la qualité de l'eau requises. En fin de compte, cette comparaison éclaire sur les forces et les limites de chaque modèle, permettant ainsi de faire un choix éclairé en fonction des exigences spécifiques du projet.

Conclusion générale

En conclusion, cette analyse comparative des modèles d'indice de la qualité de l'eau et de leur utilisation pour évaluer la qualité des eaux usées et épurées met en évidence l'importance cruciale de la sélection du modèle approprié en fonction des objectifs spécifiques de l'étude et des besoins de gestion de la qualité de l'eau.

Nous avons examiné deux approches distinctes : la méthode canadienne, axée sur une vision globale à long terme de la qualité de l'eau, et la méthode arithmétique, privilégiant une analyse détaillée à court terme. Chacune de ces méthodes offre des avantages uniques en termes de résolution temporelle et de capacité à détecter différentes variations dans la qualité de l'eau.

En fin de compte, il n'y a pas de modèle universellement applicable, car le choix dépendra des circonstances et des objectifs spécifiques. Cette comparaison nous a permis de mieux comprendre les forces et les limites de chaque modèle, offrant ainsi aux chercheurs, aux gestionnaires de l'eau et aux décideurs une base solide pour prendre des décisions éclairées.

Il est également important de souligner que cette étude suggère que l'adaptabilité et la flexibilité dans l'utilisation de ces modèles sont essentielles pour une gestion efficace de la qualité de l'eau. La recherche future peut continuer à affiner ces modèles, en les adaptant aux conditions locales et aux besoins particuliers, afin de garantir une gestion durable et optimale des ressources en eau.

En somme, cette analyse comparative apporte une contribution significative à la compréhension des méthodes d'indice de la qualité de l'eau, tout en soulignant leur pertinence et leur utilité dans le domaine de la gestion de l'eau, où la qualité de l'eau est une préoccupation majeure pour la santé publique et l'environnement.

La liste des références bibliographique

- [1] : Degrémont : "Mémento technique de l'eau, Lavoisier SAS –Lexique technique de l'eau, 10ème édition", Paris, France, 1718 p, (2005).
- [2]: Hatia, R., Falkenmark, M.: "Water resource policies and the urban poor: innovative approaches and policy imperatives", Document d'information, ICWE, Dublin. Irlande, (1992).
- [3] : Festy, B., Hartemann, P., LEDRANS, M., LEVALLOIS, P., PAYMENT, P., TRICARD, D. : "qualité de l'eau. In : Environnement et santé publique-Fondements et pratique ", pp.333-368, (2003).
- [4]: Thukral, A. K.: "water quality indices. in book: Statistical accounting of water ressources", pp.138-155, (2005).
- [5] : Jean-claud. B. : " Contrôle des Eaux Douces et de Consommation Humaine, Edition Ed. Techniques Ingénieur", pp 2-8, (1983).
- [6] : <https://eauvelines.wordpress.com/origine/> consulté le 02/05/2023
- [7] : Margat, J., Monition., L. : " les eaux souterraine, organisation mondiale de la santé", (1971).
- [8]: Sarkar, C., Abbasi, S.A.: "Qualidex - A new software for generating water quality indice. Environ. Monit. Assess", 119, 201–231. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-9023-6>, (2006).
- [9] : Vincent, W., Jaclyn, A., WILLIAM, W., DENNIS, B., CHRISTOPHER, C. : "Exploitation des eaux souterraines : concepts de base pour l'élargissement des programmes d'hydraulique du CRS, 4-5 p, (2009).
- [10] : Mokeddem, K., Ouddane, S. : "Qualité Physico-chimique Et Bactériologique De L'eau De Source Sidi Yaakoub (Mostaganem), Mémoire d'ingénieur institut de biologie "Mascara, pp 18-22, (2005).
- [11] : Catherine, G. : " La qualité chimique de l'eau, 3 ème Éditions", Paris, p10, (2009).
- [12] : Zerzou, A.D. : " Analyse de qualité des eaux de surface et contribution à la modélisation de fonctionnement de la station de traitement (Cas d'étude : stations de traitement de Ain Dalia et de Hammam Debagh) ", MEMOIRE DE MASTER Université L'Arbi Ben M'hidi– OUM EL BOUAGHI – 13-20p, (2014).
- [13]: Marsily, J. L. : " Pathogens in livestock waste, their potential for movement through soil and environmental pollution", vol. 2, pp 1-15; WDSLEY, (1995).
- [14]: Gremont, T., "technique de l'eau, Technique et documentation", p 167, (1989).
- [15] : Chocat, B., "Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et assainissement. Edition Techniques et documentations", Paris, pp1124, (1994).
- [16] : Tchimogo, M. : " Epuration des eaux usées de l'E.N.S.H par lagunage naturel. Mém.ing", Génie rurale. Blida, (2001).
- [17] : Le livre analyse des eaux aspects réglementaires et techniques Franck Rejsek, (2002).

La liste des références bibliographique

- [18]: Alberta Environmental Protection. Standards and Guidelines for Municipal Waterworks, Wastewater and Storm Drainage, pages 110, (2002).
- [19]: Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, lycée de borda, P 67, (2007).
- [20] : Agence nationale des barrages, 1987. Monographie barrage KEDDARA.
- [21] : Chimie des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, BEAURY J.P, Canada, (1984).
- [22] : Bliefert, C., Perraud, R, : "Chimie de l'environnement", P291, (2002).
- [23] : Pommery, j., Thomas, P. : "Evolution d'une eau de surface au cours des traitements de potabilisation, comportement des espèces métalliques au contact des matières humiques, Philippo", (1981).
- [24] : Valiron, F. : " Gestion des Eaux : alimentation en eau - assainissement, Presses de l'école Nationale des ponts et chaussées ", Paris, (1989).
- [25] : Ronalad, v. : " Environnement et Santé Publique, 2ème édition", PARIS, (2003).
- [26] : jean, P. : "Traitement des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, BEAUDRY JeanPaul", Canada, (1984).
- [27] : CardotARDOT Claude, Génie de l'environnement ; le traitement de l'eau,. Paris, p 901, (1999).
- [28] : J., L " le guide des analyses de l'eau potable, 7ème édition", p 98, (1998).
- [29]: Masson, M. H., Canu, S, Grandvalet, Y, Lyngaard-Jensen, A,:" Software sensor design based on empirical data", Ecological Modelling, P: 139.
- [30] : Pollution de l'eau : Origines et impacts, (2010).
- [31] : Debieche, T.H. : " Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle",Th. Doct. Univ FrancheComté, P 199, (2002).
- [32] : Rodier, J. : " l'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaire; eaux de mer ; édition dunod, 8eme édition "w pages (945 à1075), (1976).
- [33]: Magesh, N.S., Krishnakumar, S., Chandrasekar, N., Soundranayagam, J. P.:" Groundwater quality assessment using WQI and GIS techniques, Dindigul district, Tamil Nadu" India. Arab. J, Geosci. 6, 4179–4189. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0673-8>, (2013).
- [34]: Debels, P., Figueroa, R., Urrutia, R., Barra, R., Niell, X.: "Evaluation of water quality in the Chillan ´ River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified Water Quality Index". Environ. Monit. Assess. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-8064-1>, (2005).
- [35]: Kumar, A., Palmate, S.S., Shukla, R.: "Water Quality Modelling, Monitoring, and Mitigation". Appl. Sci. 2022, 12, 11403.

La liste des références bibliographique

- [36]: Abeshu, G. W.: “Horton Index: Conceptual framework for exploring multi-scale links between catchment water balance and vegetation dynamics. *Water Resources Research*”.57, e2020WR029343, (2021).
- [37]: Galal Uddin, MD., Nash, S., olbert, A.:” A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality”. *Ecological indicators* 122,107218, (2021).
- [38]: Galal Uddin, M. D., Nash, S., Rahman, A., olbert, A.n.,” A comprehensive method for improvement of water quality index (WQI) models for coastal water quality assessment”. *Water research* 219,118532, (2022).
- [39]: House, E. R.: “Measures of inter-institutional scientific collaboration”. *Scientometrics*. (1986).
- [40]: Zandbergen, P.A., Hall, K.J.:” Analysis of British Columbia a water quality index for water shed managers”, (1998).
- [41]: Tang, K.M., Garnon, G.: “ Modeling Volatility in the Malaysian Stock Market”. *Asia Pacific Journal in Finance*. 1:155-190, (1998).
- [42]: Gazzaz, N.M., Yusoff, M.K., Aris, A.Z., Juahir, H., Ramli, M.F.:” Artificial neural network modeling of the water quality index for Kinta River (Malaysia) using water quality variables as predictors”, (2012).
- [43]: Rosylin, M.Y., Shabri,A.M.: “Stock Market Volatility Transmission in Malaysia”. *Islamic Versus Conventional Stock Market*, (2007).
- [44]: Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A., Tozer, R.G., “Water quality index-do we dare”. *Water Sewage Works*, 117(10). 339-343, (1970).
- [45]: Kumar, D., Alappat, B.: “NSF-Water Quality Index: Does It Represent the Experts’ Opinion”, *Pract. Period. Hazard. Toxic Radioact. Waste Manage.*, 13(1). 75-79, (2009).
- [46]: Nikoo, M.R., Kerachian, R., Estalaki, S.M., Bashi-Azghadi, S.N., Azimi-Ghadikolae, M.M.:” Aprobabilistic water quality index for river water quality assessment: a case study”. *Environ Monit Assess* 181:465–478.DOI 10.1007/s10661-010-1842-4, (2011).
- [47]: Mnisi, L.N., “Assessment of the state of the water quality of the Lusushwana River, Swaziland, using selected water quality indices”. *M.Sc. Thesis, University of Zimbabwe, Harare*. 2010.
- [48]: Wills, M., Irvine, K.N.: “Application of the national sanitation foundation water quality index”
- [49]: Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., Dobhal, R.:” Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index”. *American journal of water resources*, (2013).
- [50]: Hurley. T., Sadiq, R., Mazumder, A.:” Adaptation and evaluation of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for use as an effective tool to characterize drinking source water quality”. *Water Res.*, 46 3544–3552. Doi: 10.1016/j.watres.2012.03.061, (2012).

La liste des références bibliographique

- [51]: Terrado, M., Barcelo, D., Tauler, R., Borrell, E., Campos, S.D.: "Surface-water-quality indices for the analysis of data generated by automated sampling networks", *TrAC, Trends Anal. Chem.*, 29 40–52, (2010).
- [52]: Akoteyon, I.S., Omotayo, A.O., Soladoye, O. and Olaoye, H.O., "Determination of water quality index and suitability of urban river for municipal water supply in Lagos-Nigeria", *Europ. J. Scientific Res*, 54(2). 263-271. 2011
- [53]: bessedik, M., Abdelbaki, C., Badr, N., Tiar, S.M., Megnounif, A.: "Application of water quality indices for assessment of influent and effluent wastewater from wastewater treatment plant of Oran City, Algeria". *Desalination and water treatment*, 236, 306-317, (2021).
- [54] : Hébert., S., "comparaison entre l'indice de la qualité générale de l'eau de Québec (IQBP) et l'indice de qualité des eaux de CCME (IQE) pour la protection de la vie aquatique, Québec, ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs, d'érection de suivi de l'État de l'environnement", ISBN 2-550-45900-8, (2005).
- [55]: Terrado, M., Barcelo, D., Tauler, R., Borrell, E. and Campos, S.D., "Surface-water-quality indices for the analysis of data generated by automated sampling networks", *Trends Anal. Chem.*, 29(1). 40- 52, (2010).
- [56]: Abbasi, T., Abbasi, S.A.: "Water quality indices". Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, (2012).
- [57]: Pham, T.M.H., Sthiannopkao, S., Ba, D.T., Kim, K.W.: "Development of water quality indexes to identify pollutants in Vietnam's surface water", *J. Environ. Eng.*, (2011).
- [58]: Curtis, G.: "Oregon water quality index a tool for evaluating water quality management effectiveness", *Journal of the American water resources association*, (2001).
- [59]: Abbasi, S. A. and Arya, D. S.: 2000, *Environmental Impact Assessment*, Discovery Publishing House, New Delhi
- [60]: Chinmoy, S., Abbas, S.A.: "QUALIDEX – A NEW SOFTWARE FOR GENERATING WATER QUALITY INDICES" *Environmental Monitoring and Assessment*, 119: 201–231 DOI: 10.1007/s10661, (2006).
- [61]: Sutadiana, A.D.: "Development of a Cost Effective River Water Quality Index: A Case Study of West Java Province", Indonesia. College of Engineering and Science, Victoria University, Australia, (2017).
- [62]: Sutadiana, A.D., Muttala, N., Yilmazd, A.G., Pereraa, B.G.C.: "Development of a water quality index for rivers in West Java Province, Indonesia", *Ecological Indicators* 85 966–98 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.049>, (2018).
- [63]: Chatterji, C., Raziuddin, M.: "Determination of water quality index of a degraded river in Asanol Industrial area, Raniganj, Burdwan, West Bengal. *Nature, Environment and Pollution Technology*, 1 (2) (pp. 181-189), (2002).

La liste des références bibliographique

- [64]: Akoteyon, I.S., Omotayo, A.O., Soladoye, O., Olaoye, H.O.: “Determination of water quality index and suitability of urban river for municipal water supply in Lagos-Nigeria”, *Europ. J. Scientific Res*, 54(2). 263-271, (2011).
- [65]: Yogendra, K., Puttaiah E.T.: “Determination of water quality index and suitability of an urban waterbody in Shimoga Town, Karnataka”, *Proceedings of Taal2007: The 12th World Lake Conference*, pp. 342-346, (2008).
- [66]: Peche, R., Rodríguez, E.:” Development of environmental quality indexes based on fuzzy logic”. A case study. *Ecol. Indic.* 23, 555–565. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.04.029>, (2012).
- [67]: Lermontov, A., Yokoyama, L., Lermontov, M., Machado, M.A.S.:” River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed”, *Brazil. Ecol. Indic.* 9, 1188–1197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.02.006> , (2011).
- [68]: Ocampo-Duque, W., Ferré-Huguet, N., Domingo, J.L., Schuhmacher, M., 2006. “Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: A case study”, *Environ. Int.* <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.03.009>, (2006).
- [69]: Nikoo, M.R., Kerachian, R., Malakpour-Estalaki, S., Bashi-Azghadi, S.N., AzimiGhadikolae, M.M.:” A probabilistic water quality index for river water quality assessment: A case study. *Environ. Monit. Assess.* <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1842-4>, (2011).
- [70] :]Schleiss, A. J., Pougatsch, H.: ” Les barrages: du projet à la mise en service ” PPUR Presses polytechniques, (2011).
- [71] : Bouchahed Ala , mémoire fin d'étude , évaluation des risque d'inondations associées a la rupture du barrage à l'aide du model telemac_2D et système d'information géographique cas du barrage kEDDARA a Boumerdes
- [72] : Berkouk ABD elmadjid ;