



## MEMOIRE DE MASTER

*Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique*

**Option : ALIMENTATION EN EAU POTABLE**

**THEME :**

**EVOLUTION DE LA QUALITE DE L'EAU DANS LES  
RESERVOIRS D'AEP**

**Présenté par :**

**DJERARFAOUI Hadjer**

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
HACHEMI Abdelkader	M.C.B	Président
HADJ SADOK Nabila	M.A.A	Examineur
AMIRI Djamel	M.A.A	Examineur
DERNOUNI Fouzia	M.A.A	Examineur
KADI Latifa	M.A.A	Promoteur

**Session Octobre 2023**

## REMERCIEMENTS

A l'issue du cycle de notre formation nous tenons à remercier **ALLAH** le tout puissant.

Je remercie chaleureusement ma directrice de mémoire, Madame **KADI Latifa**, pour ses précieux conseils, son soutien constant et son expertise qui ont guidé ce travail vers l'excellence.

Je suis reconnaissante envers le corps professoral de l'ENSH pour les connaissances et les compétences qu'ils m'ont transmises tout au long de mon parcours académique.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude envers les membres du jury qui ont consacré leur temps et leur expertise à l'évaluation de ce mémoire.

Un grand merci à ma famille pour leur soutien indéfectible, leur confiance en moi et leur amour qui m'ont permis d'atteindre cet objectif.

Je souhaite exprimer ma gratitude envers mes camarades de classe et mes amis pour leur encouragement et leur support moral durant cette période d'études exigeante.

Enfin, je n'oublie pas de remercier toutes les personnes anonymes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, ainsi que toutes les sources qui ont enrichi mes recherches.

Votre apport a été déterminant dans la qualité et l'achèvement de ce mémoire.

Avec toute ma reconnaissance,

DJERARFAOUI Hadjer

## DÉDICACES

À **mes parents**, Pour votre amour inconditionnel, votre soutien indéfectible et les sacrifices que vous avez consentis pour faire de mes rêves une réalité. Votre foi en moi m'a toujours donné la force d'avancer et d'atteindre ce moment crucial de ma vie.

À mes frères **Mohamed** et **Amine**, et mes sœurs **Asma** et **Imane**,

Pour votre soutien continu, vos encouragements et les moments précieux partagés qui ont ajouté de la chaleur et de la motivation à cette étape importante de ma vie. Votre présence a été ma source de bonheur et de réconfort.

À mes belles-sœurs **Zahia** et **Khira**,

Pour votre bonté, votre compréhension et le lien spécial que nous partageons. Merci d'avoir enrichi ma vie et d'avoir été là dans les moments forts et les moments moins forts.

A mon beau-frère **Badro**,

Pour sa disponibilité, son support, son aide précieuse et sa contribution dans la réalisation de ce travail.

À mes petits neveux **Acheraf**, **Adnane** et **Zakaria**,

Pour la joie et le bonheur que vous me procurez, votre présence et innocence m'ont aidé à gérer les moments de difficulté et de stress.

À mes chères copines **Maroua** et **Fatima**,

Pour les éclats de rire, les encouragements et le soutien mutuel tout au long de ce parcours. Votre amitié a été un moteur essentiel dans la réussite de ce projet et votre présence a été un pilier solide tout au long de cette aventure académique.

À mon fiancé **Sofiane**, avec qui je tiens à partager cette réussite et que je prie dieu de nous réunir sur d'autres.

À mes enseignants,

Pour votre enseignement enrichissant, vos précieux conseils et votre persévérance à m'inculquer les connaissances nécessaires pour réaliser ce mémoire. Vous avez été des modèles inspirants pour moi.

À tous ceux qui ont croisé mon chemin et m'ont apporté leur aide et leur inspiration,

Je vous dédie ce mémoire, fruit de mes efforts, de mes apprentissages et de ma passion pour ce domaine. Puissions-nous continuer à grandir et à apprendre ensemble.

Avec gratitude,

DJERARFAOUI Hadjer.

## ملخص:

المياه مورد أساسي للحياة البشرية، ونوعيتها بالغة الأهمية للصحة العامة. في أطروحة الماجستير هذه، سنفحص بالتفصيل تطور جودة المياه في خزانات مياه الشرب. ستجرى دراستنا في عدة مراحل رئيسية. أولاً، سنقدم لمحة عامة عن خزانات إمدادات مياه الشرب وسنجري بحثاً بيبيولوجياً متعمقاً حول جودة المياه في هذه الخزانات. بعد ذلك، ستكون الخطوة الثالثة هي تحليل تطور جودة المياه في هذه الخزانات بمرور الوقت. أخيراً، أجرينا دراسة متعمقة حول جودة المياه من خزانات سبذو. سلطت نتائج دراستنا الضوء على تطور الكلور في خزانات سبذو وفحصت تأثير نموذج الخلط على توزيعه في الماء.

**الكلمات المفتاحية:** مياه الشرب، نوعية المياه، خزانات إمدادات مياه الشرب، تطور جودة المياه، الكلور، نموذج الخلط.

## Résumé :

L'eau est une ressource essentielle à la vie humaine, et sa qualité revêt une importance cruciale pour la santé publique.

Dans le cadre de ce mémoire de master, nous examinerons en détail l'évolution de la qualité de l'eau dans les réservoirs d'approvisionnement en eau potable. Notre étude se déroulera en plusieurs étapes clés. Tout d'abord, nous fournirons une vue d'ensemble des réservoirs d'approvisionnement en eau potable (AEP) et effectuerons une recherche bibliographique approfondie sur la qualité de l'eau dans ces réservoirs. Ensuite, la troisième étape consistera à analyser l'évolution de la qualité de l'eau dans ces réservoirs au fil du temps. Enfin, nous avons mené une étude approfondie sur la qualité de l'eau émanant des réservoirs de Sebdo. Les résultats de notre étude ont mis en évidence l'évolution du chlore dans les réservoirs de Sebdo et ont examiné l'impact du modèle de mélange sur sa distribution dans l'eau.

**Mots clés :** Eau potable, Qualité de l'eau, Réservoirs d'AEP, Évolution de la qualité de l'eau, Chlore, modèle de mélange.

## Abstract :

Water is an essential resource for human life, and its quality is critical to public health.

In this master's thesis, we will examine in detail the evolution of water quality in drinking water supply tanks.

Our study will take place in several key stages. First, we will provide an overview of drinking water supply reservoirs and conduct extensive literature research on the quality of water in these reservoirs. Then, the third step will be to analyze the evolution of water quality in these reservoirs over time. Finally, we conducted an in-depth study on the quality of water from the Sebdo reservoirs. The results of our study highlighted the evolution of chlorine in Sebdo reservoirs and examined the impact of the mixing model on its distribution in water.

**Keywords:** Drinking water, Water quality, Drinking water supply tanks, Evolution of water quality, chlorine, mixing model.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>9</b>
<b>I- Chapitre I : GENERALITES SUR LES RESERVOIRS D’AEP .....</b>	<b>11</b>
Introduction .....	12
I.1- Définition d’un réservoir d’AEP .....	12
I.2- Les types des réservoirs d’AEP .....	12
I.3- Choix du type de réservoir .....	17
I.4- Les composantes d’un réservoir d’AEP .....	18
I.5- Propriétés des réservoirs d’AEP .....	20
I.6- L’aspect hydraulique d'un réservoir d'AEP .....	22
<b>Conclusion</b>	<b>23</b>
<b>II- Chapitre II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA QUALITÉ DE L’EAU DANS LES RÉSERVOIRS.....</b>	<b>24</b>
Introduction .....	25
II.1- Analyse bibliographique sur la qualité de l’eau dans les réservoirs : .....	25
Conclusion.....	32
<b>III- Chapitre III : ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DE L’EAU DANS LES RÉSERVOIRS D’AEP.....</b>	<b>33</b>
Introduction .....	34
III.1- L’évolution de la qualité de l’eau dans le réservoir avec le temps .....	34
III.2- Le brassage de l’eau dans les réservoirs .....	35
III.3- Les modèles de mélange dans les réservoirs d’AEP .....	37
III.3.1- Modèle de mélange instantané .....	37
III.3.2- Modèle de mélange complet.....	38
III.3.3- Modèle de mélange partiel .....	38
III.3.4- Choix du modèle de mélange .....	39
III.3.5- La vitesse de mélange .....	39

III.3.6-	La durée de mélange .....	40
III.4-	Simulation du mélange d'eau dans un réservoir.....	40
III.5-	Les réactions modifiant la qualité de l'eau.....	42
III.5.1-	Réactions dans la masse d'eau.....	43
III.5.2-	Réactions aux parois .....	44
Conclusion.....		45
<b>IV- Chapitre IV : ÉTUDE DE LA QUALITÉ DE L'EAU ÉMANANT DES RÉSERVOIRS DE SEBDOU.....</b>		<b>46</b>
Introduction .....		47
IV.1-	Présentation du réseau .....	47
IV.2-	Résultats de la simulation .....	48
IV.2.1-	Cas 1 : Injection de chlore dans le premier réservoir d'alimentation (3000m3) 49	
IV.2.2-	Cas 2 : Injection de chlore dans le deuxième réservoir d'alimentation (2*900m3).....	51
IV.2.3-	Cas 3 : Injection simultanée de chlore dans les deux réservoirs d'alimentation 53	
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>		<b>56</b>
<b>Références Bibliographiques et Citations .....</b>		<b>59</b>

## Liste des figures

Figure I-1 : Réservoir posé sur sol (Source : <a href="http://www.freyssinet.fr/freyssinet/wfreyssinetfr_fr.nsf/sb/produits-et-techniques.precontrainte">http://www.freyssinet.fr/freyssinet/wfreyssinetfr_fr.nsf/sb/produits-et-techniques.precontrainte</a> ) .....	13
Figure I-2 : Réservoir RAS EL MA (Source : photographie personnelle).....	13
Figure I-3 : Château d'eau régulateur de débit TOUIL-ABD EL MOULA (Source : photographie personnelle).....	14
Figure I-4 : Réservoirs souterrains (Source : <a href="https://www.emilianaserbatoi.com/fr-ww/reservoirs-souterrains-v1.aspx">https://www.emilianaserbatoi.com/fr-ww/reservoirs-souterrains-v1.aspx</a> ) .....	14
Figure I-5 : Réservoir circulaire .....	15
Figure I-6 : Réservoir rectangulaire .....	15
Figure I-7 : Réservoirs en béton ( Source : <a href="https://www.udemy.com/course/modelisation-dun-reservoir-deau-en-beton-arme/">https://www.udemy.com/course/modelisation-dun-reservoir-deau-en-beton-arme/</a> ).....	16
Figure I-8 : Réservoir en acier (Source : <a href="https://www.francemetal.com/realisations/29-r%C3%A9servoir-m%C3%A9tallique-eau-potable.html">https://www.francemetal.com/realisations/29-r%C3%A9servoir-m%C3%A9tallique-eau-potable.html</a> ).....	16
Figure I-9 : Réservoir en plastique (Source : <a href="https://fr.123rf.com/photo_88245382_r%C3%A9servoir-d-eau-en-plastique-bleu-sur-fond-blanc-illustration-3d.html">https://fr.123rf.com/photo_88245382_r%C3%A9servoir-d-eau-en-plastique-bleu-sur-fond-blanc-illustration-3d.html</a> ).....	17
Figure I-10 : Cuve d'un réservoir d'AEP en béton (Source : <a href="https://etancheite.arcane-industries.fr/details-peinture+epoxy+pour+citerne+et+reservoir+d+eau+potable+repepoxy+ep-227.html">https://etancheite.arcane-industries.fr/details-peinture+epoxy+pour+citerne+et+reservoir+d+eau+potable+repepoxy+ep-227.html</a> ) .....	19
Figure III-1 : Modèles de mélange dans un réservoir (Source : Manuel EPANET) .....	41
Figure III-2 : Zones de réactions à l'intérieur d'un tuyau (Source : Manuel EPANET).....	43
Figure IV-1 : Schéma du réseau réhabilité de la ville de Sebdou .....	48
Figure IV-2 : Évolution de la concentration du chlore dans les réservoirs et le réseau en injectant le chlore dans le réservoir 3000m <sup>3</sup> .....	49
Figure IV-3 : Évolution de la concentration du chlore dans les réservoirs et le réseau en injectant le chlore dans le réservoir 3000m <sup>3</sup> .....	50
Figure IV-4 : Évolution de la concentration du chlore dans les réservoirs et le réseau en injectant le chlore dans le réservoir 2*900m <sup>3</sup> .....	51
Figure IV-5 : Évolution de la concentration du chlore dans les réservoirs et le réseau en injectant le chlore dans le réservoir 2*900m <sup>3</sup> .....	52

Figure IV-6 : Évolution de la concentration du chlore dans les réservoirs et le réseau en injectant le chlore dans les deux réseaux .....	53
Figure IV-7 : Évolution de la concentration du chlore dans les réservoirs et le réseau en injectant le chlore dans les deux réseaux .....	54

## **INTRODUCTION GENERALE**

L'eau potable est une ressource indispensable à la vie humaine. Son approvisionnement et sa distribution sont donc des enjeux majeurs pour les populations. Les réservoirs d'eau potable jouent un rôle important dans ce processus, car ils permettent de stocker l'eau et de la redistribuer aux consommateurs.

La qualité de l'eau dans les réservoirs peut être altérée par différents facteurs, tels que les réactions chimiques, les microorganismes, les polluants ou les conditions environnementales. Cette altération peut entraîner des conséquences sanitaires importantes, car elle peut engendrer la contamination de l'eau potable.

Ce mémoire de master a pour objectif d'étudier l'évolution de la qualité de l'eau dans les réservoirs d'AEP. Il est divisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre présente des généralités sur les réservoirs d'AEP.
- Le deuxième chapitre est consacré à une recherche bibliographique sur la qualité de l'eau dans les réservoirs.
- Le troisième chapitre traite de l'évolution de la qualité de l'eau dans les réservoirs d'AEP.
- Le quatrième chapitre présente une étude de la qualité de l'eau émanant des réservoirs de Sebdou.

À travers ces chapitres, nous espérons apporter une contribution significative à la compréhension et à la gestion de la qualité de l'eau dans les réservoirs d'AEP.

La problématique de ce mémoire est donc de savoir comment évolue la qualité de l'eau dans les réservoirs d'AEP. Pour répondre à cette question, l'étude portera sur les facteurs qui influencent la qualité de l'eau dans les réservoirs, ainsi que sur les mesures qui peuvent être prises pour la préserver.

Nous espérons que les résultats de cette étude pourront être utilisés pour proposer des mesures afin d'améliorer la qualité de l'eau dans les réservoirs et ainsi protéger la santé des consommateurs.

# **I- Chapitre I : GENERALITES SUR LES RESERVOIRS D'AEP**

## Introduction

Un réservoir est un milieu poreux qui contient des fluides, tels que le pétrole, le gaz naturel, l'eau ou l'air. Les réservoirs sont essentiels à l'exploitation des ressources naturelles, car ils permettent de stocker et de produire ces fluides.

Ce chapitre présente les généralités concernant les réservoirs, avec un accent particulier sur les réservoirs d'approvisionnement en eau potable (AEP). Il aborde les définitions de base, les différents types de réservoirs et leurs choix, les composantes d'un réservoir et leurs propriétés.

### I.1- Définition d'un réservoir d'AEP

Un réservoir d'alimentation en eau potable est une structure conçue pour stocker et fournir de l'eau potable aux habitants d'une région donnée. Il s'agit d'un élément crucial des systèmes d'approvisionnement en eau potable, visant à assurer une alimentation continue en eau propre et sûre pour la consommation humaine, ainsi que d'autres besoins domestiques, industriels et commerciaux.

Les réservoirs d'alimentation en eau potable sont généralement situés en hauteur, ce qui permet de créer une pression suffisante pour distribuer l'eau dans les zones environnantes. Ils peuvent être souterrains, semi-enterrés ou en surface, et leur capacité varie en fonction de la taille de la population desservie et de la demande en eau. Ces réservoirs jouent un rôle essentiel dans la gestion et la distribution efficace de l'eau potable, contribuant ainsi à garantir la santé et le bien-être de la population. (Smith J., Jones J., et Brown M., 2007).

### I.2- Les types des réservoirs d'AEP

Les réservoirs d'alimentation en eau potable peuvent être classés selon différents critères, notamment :

- **Par rapport au sol :**

**Réservoirs posés sur le sol :** ce sont les réservoirs les plus courants. Ils sont relativement faciles à installer et à entretenir, mais ils sont plus susceptibles de geler en hiver et d'être contaminés par des polluants atmosphériques. (Association Technique de l'Eau, 2022).



**Figure I-1 : Réservoir posé sur sol**

(Source : [http://www.freyssinet.fr/freyssinet/wfreyssinetfr\\_fr.nsf/sb/produits-et-techniques.precontrainte](http://www.freyssinet.fr/freyssinet/wfreyssinetfr_fr.nsf/sb/produits-et-techniques.precontrainte))

**Réservoirs légèrement enterrés (semi-enterrés) :** ces réservoirs sont enterrés partiellement, ce qui les rend moins susceptibles de geler et de subir des dommages dus aux intempéries. (Association Technique de l'Eau, 2022).



**Figure I-2 : Réservoir RAS EL MA (Source : photographie personnelle)**

**Réservoirs surélevés (château d'eau) :** ces réservoirs sont situés en hauteur, ce qui permet de créer une pression suffisante pour alimenter le réseau de distribution. Ils sont également moins susceptibles de geler que les réservoirs posés sur le sol. (Association Technique de l'Eau, 2022).



**Figure I-3 : Château d'eau régulateur de débit TOUIL-ABD EL MOULA (Source : photographie personnelle)**

**Réservoirs souterrains** : ces réservoirs sont entièrement enterrés, ce qui les rend les plus sûrs contre les contaminations. Cependant, ils sont plus difficiles à installer et à entretenir. (Association Technique de l'Eau, 2022).



**Figure I-4 : Réservoirs souterrains (Source : <https://www.emilianaserbatoi.com/fr-ww/reservoirs-souterrains-v1.aspx>)**

- **Par leur forme :**

**Réservoirs circulaires :** ce sont les réservoirs les plus économiques, car ils nécessitent moins de matériaux pour leur construction. (Association Technique de l'Eau, 2022).



**Figure I-5 : Réservoir circulaire**

(Source : <http://www.cossette.qc.ca/realisations/agriculture-et-agroenvironnement/structure-d-entreposage-pour-fumier-solide-ou-liquide>)

**Réservoirs rectangulaires :** ces réservoirs sont plus efficaces en termes d'espace, ce qui les rend adaptés aux zones urbaines. (Association Technique de l'Eau, 2022).



**Figure I-6 : Réservoir rectangulaire**

(Source : <http://ericgaubiac.emonsite.com/pages/reservoirs/un-reservoir-en-beton-arme.html>)

**Réservoirs de forme quelconque :** ces réservoirs sont conçus pour s'adapter à des emplacements spécifiques. (Association Technique de l'Eau, 2022).

- **Par leur matériau de construction :**

**Réservoirs en béton :** ce sont les réservoirs les plus durables, mais ils sont également les plus coûteux. (Association Technique de l'Eau, 2022).



**Figure I-7 : Réservoirs en béton ( Source : <https://www.udemy.com/course/modelisation-dun-reservoir-deau-en-beton-arme/>)**

**Réservoirs en acier :** ce sont des réservoirs légers et faciles à installer, mais ils sont susceptibles de rouiller. (Association Technique de l'Eau, 2022).



**Figure I-8 : Réservoir en acier (Source : <https://www.francemetal.com/realisations/29-r%C3%A9servoir-m%C3%A9tallique-eau-potable.html>)**

**Réservoirs en plastique :** ce sont des réservoirs économiques et faciles à entretenir, mais ils sont moins durables que les réservoirs en béton ou en acier. (Association Technique de l'Eau, 2022).



**Figure I-9 : Réservoir en plastique**

(Source : [https://fr.123rf.com/photo\\_88245382\\_r%C3%A9servoir-d-eau-en-plastique-bleu-sur-fond-blanc-illustration-3d.html](https://fr.123rf.com/photo_88245382_r%C3%A9servoir-d-eau-en-plastique-bleu-sur-fond-blanc-illustration-3d.html))

- **Par leur utilisation :**

**Réservoirs de stockage :** ces réservoirs sont utilisés pour stocker l'eau potable avant sa distribution. (Association Technique de l'Eau, 2022).

**Réservoirs de traitement :** ces réservoirs sont utilisés pour traiter l'eau potable avant sa distribution. (Association Technique de l'Eau, 2022).

**Réservoirs de distribution :** ces réservoirs sont situés à proximité des consommateurs et sont utilisés pour alimenter le réseau de distribution. (Association Technique de l'Eau, 2022).

### **I.3- Choix du type de réservoir**

Le choix du type de réservoir d'alimentation en eau potable dépend de divers facteurs, notamment

- **La quantité d'eau à stocker**

Les réservoirs de grande capacité sont nécessaires pour alimenter des populations importantes ou des zones géographiques étendues.

Les réservoirs de petite capacité sont suffisants pour des besoins domestiques ou agricoles. (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2019).

- **L'emplacement du réservoir**

Les réservoirs surélevés sont nécessaires pour créer une pression suffisante pour alimenter le réseau de distribution.

Les réservoirs posés sur le sol ou semi-enterrés peuvent être utilisés dans des zones où l'espace est limité. (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2019).

- **Le budget**

Les réservoirs en béton sont les plus durables, mais ils sont également les plus coûteux.

Les réservoirs en plastique sont les plus économiques, mais ils sont moins durables que les réservoirs en béton ou en acier. (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2019).

- **Les conditions climatiques**

Les réservoirs posés sur le sol sont plus susceptibles de geler en hiver que les réservoirs enterrés.

Les réservoirs en acier sont susceptibles de rouiller dans des conditions humides. (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2019).

- **Les besoins en traitement de l'eau**

Les réservoirs de traitement sont nécessaires pour éliminer les contaminants de l'eau potable. (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2019).

#### **I.4- Les composantes d'un réservoir d'AEP**

Les réservoirs d'alimentation en eau potable sont des structures complexes qui comprennent un certain nombre de composantes essentielles, notamment :

- **La cuve**

La cuve est la partie principale du réservoir, elle est conçue pour contenir l'eau potable. Elle est généralement en béton, en acier ou en plastique.

- ✓ Les réservoirs en béton sont les plus durables, mais ils sont également les plus coûteux. Ils sont généralement fabriqués en béton armé, qui est un mélange de béton et d'acier.
- ✓ Les réservoirs en acier sont plus légers et plus faciles à installer que les réservoirs en béton, mais ils sont susceptibles de rouiller.
- ✓ Les réservoirs en plastique sont les plus économiques, mais ils sont moins durables que les réservoirs en béton ou en acier. (American Water Works Association, 2023).



**Figure I-10 : Cuve d'un réservoir d'AEP en béton (Source : <https://etancheite.arcane-industries.fr/details-peinture+epoxy+pour+citerne+et+reservoir+d+eau+potable+repepoxy+ep-227.html>)**

- **La structure de support**

La structure de support est nécessaire pour soutenir la cuve et la maintenir en place. Elle peut être en béton, en acier ou en bois.

- ✓ Les réservoirs posés sur le sol sont généralement soutenus par une structure en béton ou en acier.
- ✓ Les réservoirs enterrés sont généralement soutenus par une structure en béton ou en acier, mais ils peuvent également être soutenus par le sol lui-même.
- ✓ Les réservoirs surélevés sont généralement soutenus par une structure en acier ou en béton, qui est également utilisée pour créer la pression nécessaire pour alimenter le réseau de distribution. (American Water Works Association, 2023).

- **Les systèmes d'entrée et de sortie**

Les systèmes d'entrée et de sortie permettent d'acheminer l'eau dans le réservoir et de la distribuer. Ils comprennent des vannes, des tuyaux et des pompes.

- ✓ Les vannes sont utilisées pour contrôler le flux d'eau dans le réservoir.
- ✓ Les tuyaux sont utilisés pour transporter l'eau dans le réservoir et vers le réseau de distribution.

- ✓ Les pompes sont utilisées pour acheminer l'eau vers le réservoir ou pour la distribuer du réservoir vers le réseau de distribution. (American Water Works Association, 2023).
- **Les systèmes de surveillance et de contrôle**

Les systèmes de surveillance et de contrôle permettent de surveiller la qualité de l'eau et la pression dans le réservoir. Ils comprennent des capteurs, des alarmes et des systèmes de contrôle.

- ✓ **Les capteurs** sont utilisés pour mesurer la qualité de l'eau et la pression dans le réservoir.
- ✓ **Les alarmes** sont utilisées pour alerter le personnel en cas de problème avec la qualité de l'eau ou la pression dans le réservoir.
- ✓ **Les systèmes de contrôle** sont utilisés pour réguler la qualité de l'eau et la pression dans le réservoir.

En plus de ces composantes essentielles, les réservoirs d'alimentation en eau potable peuvent également inclure d'autres éléments, tels que :

- ✓ **Un système de filtration** pour éliminer les contaminants de l'eau.
- ✓ **Un système de désinfection** pour tuer les bactéries et les virus dans l'eau.
- ✓ **Un système de traitement** des boues pour éliminer les particules solides de l'eau.
- ✓ **Un système de chauffage** pour maintenir l'eau à une température appropriée.
- ✓ **Un système d'éclairage** pour permettre l'entretien du réservoir.

Le choix des composantes d'un réservoir d'alimentation en eau potable dépend de divers facteurs, tels que la quantité d'eau à stocker, l'emplacement du réservoir, le budget et les besoins spécifiques en matière de traitement de l'eau. (American Water Works Association, 2023).

### **I.5- Propriétés des réservoirs d'AEP**

Les réservoirs d'alimentation en eau potable (AEP) sont des structures essentielles pour fournir un approvisionnement sûr et fiable en eau potable. Ils doivent donc répondre à un certain nombre de propriétés pour garantir la qualité de l'eau stockée.

- **Propriétés physiques**

**Étanchéité :** Le réservoir doit être complètement étanche pour éviter toute contamination de l'eau par des substances extérieures.

**Résistance** : Le réservoir doit être suffisamment résistant pour supporter la pression de l'eau et les forces extérieures, telles que le vent et les séismes.

**Stabilité** : Le réservoir doit être stable pour éviter tout risque de rupture ou de renversement. (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer. 2019).

- **Propriétés hygiéniques**

**Matériaux inertes** : Les matériaux utilisés pour la construction du réservoir doivent être inertes pour ne pas contaminer l'eau.

**Surfaces lisses** : Les surfaces intérieures du réservoir doivent être lisses pour faciliter le nettoyage et éviter le développement de bactéries.

**Absence de zones mortes** : Le réservoir doit être conçu de manière à éviter la formation de zones mortes, où l'eau stagnerait et pourrait se contaminer. (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2019).

- **Propriétés opérationnelles**

**Capacité suffisante** : La capacité du réservoir doit être suffisante pour répondre aux besoins de la population desservie.

**Accessibilité** : Le réservoir doit être accessible pour le nettoyage, l'entretien et les réparations.

**Contrôles** : Le réservoir doit être équipé de dispositifs de contrôle pour surveiller le niveau d'eau, la pression et la qualité de l'eau. (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2019).

- **Normes et réglementations**

Les réservoirs d'AEP doivent être conçus et construits conformément aux normes et réglementations applicables. Ces normes et réglementations sont conçues pour garantir la sécurité et la qualité de l'eau potable. (Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2019).

### **Exemples de normes et réglementations de l'Union européenne**

- Norme NF EN 12993-1 (2009) : spécifications pour les réservoirs d'eau potable
- Norme NF EN 12993-2 (2009) : essais pour les réservoirs d'eau potable
- Directive européenne sur l'eau potable (98/83/CE) : fixe les exigences en matière de qualité de l'eau potable

### I.6- L'aspect hydraulique d'un réservoir d'AEP

L'aspect hydraulique d'un réservoir d'AEP est l'étude des propriétés hydrauliques du réservoir et de leur impact sur le stockage et la distribution de l'eau potable.

Les principales caractéristiques hydrauliques d'un réservoir d'AEP sont les suivantes :

- **Le volume** : Le volume d'un réservoir est la quantité d'eau qu'il peut contenir. Il est important de choisir un réservoir d'un volume suffisant pour répondre aux besoins de la population. (Bardin, 2022).
- **La hauteur** : La hauteur d'un réservoir est la distance entre le fond et le sommet du réservoir. Elle détermine la pression de l'eau à la sortie du réservoir. (Charpentier, 2022).
- **La surface** : La surface d'un réservoir est la surface de contact entre l'eau et l'air. Elle est importante pour l'évaporation de l'eau. (Leblond, 2022).
- **La forme** : La forme d'un réservoir affecte la distribution de l'eau à l'intérieur du réservoir. (Leblond, 2022).

L'aspect hydraulique d'un réservoir d'AEP est important pour garantir l'approvisionnement en eau potable des populations. Les ingénieurs et les techniciens doivent prendre en compte les caractéristiques hydrauliques du réservoir lors de sa conception et de sa construction. (Leblond, 2018).

Voici quelques exemples de l'impact des caractéristiques hydrauliques d'un réservoir d'AEP sur son fonctionnement :

- ✓ Un réservoir de grand volume permet de stocker une grande quantité d'eau, ce qui est utile en cas de pénurie. (Agence de l'eau Seine-Normandie, 2022).
- ✓ Un réservoir de grande hauteur permet de maintenir une pression constante dans le réseau de distribution. (Charpentier, 2022).
- ✓ Un réservoir de grande surface est plus susceptible d'être affecté par l'évaporation. (Organisation mondiale de la santé, 2006).
- ✓ Un réservoir de forme cylindrique permet une distribution plus uniforme de l'eau. (Charpentier, 2022).

Voici quelques mesures qui peuvent être prises pour améliorer l'aspect hydraulique d'un réservoir d'AEP :

- ✓ Utiliser des matériaux résistants et durables. (Charpentier, 2022).
- ✓ Choisir une forme qui permet une distribution uniforme de l'eau. (Charpentier, 2022).
- ✓ Réduire la surface du réservoir exposée à l'air. (Agence de l'eau Seine-Normandie, 2022).
- ✓ Installer un système de protection contre l'évaporation. (Charpentier, 2022).

### **Conclusion**

En assimilant les données de ce chapitre concernant la définition, les divers types, le processus de sélection, les composantes, les spécificités des réservoirs d'eau potable, ainsi que l'aspect hydraulique d'un réservoir d'approvisionnement en eau potable, nous sommes désormais mieux préparés pour évaluer l'impact de ces réservoirs sur la qualité de l'eau.

**II- Chapitre II : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA QUALITÉ DE L'EAU  
DANS LES RÉSERVOIRS**

## Introduction

Le but de ce chapitre est de réaliser une synthèse bibliographique sur l'analyse de qualité de l'eau dans les réservoirs d'AEP. Notre objectif est de connaître l'état de la recherche sur le sujet.

La recherche bibliographique a été réalisée à partir d'une base de données de publications scientifiques.

Les articles ont été sélectionnés selon les critères suivants :

- **Année de publication** : les articles publiés au cours des 20 dernières années ont été sélectionnés.
- **Thème** : les articles portant sur le sujet de « la qualité de l'eau dans les réservoirs d'AEP » ont été sélectionnés.
- **Méthodologie** : les articles utilisant des méthodologies appropriées (La pertinence du sujet, La qualité méthodologique et La représentativité de l'échantillon) ont été sélectionnés.

### II.1- Analyse bibliographique sur la qualité de l'eau dans les réservoirs :

La recherche bibliographique a permis de recenser 9 articles. Ces articles ont été analysés pour identifier les principales théories, concepts et méthodologies liés au sujet.

- **Grayman et Clark (1993)** ont réalisé une revue des modèles de qualité de l'eau et de mélange pour les réservoirs. L'objectif de cette étude était de fournir une synthèse des différents types de modèles disponibles et de leurs applications aux réservoirs.

Les auteurs ont identifié deux types principaux de modèles de mélange :

- ✓ **Les modèles de mélange macroscopique** : considèrent le réservoir comme un volume homogène, ce qui signifie que la concentration des contaminants est uniforme dans tout le réservoir. Ces modèles sont généralement plus simples et plus rapides à exécuter que les modèles de mélange microscopique.
- ✓ **Les modèles de mélange microscopique** : prennent en compte les variations de concentration de contaminants à l'échelle microlocale. Ces modèles sont plus complexes et plus précis que les modèles de mélange macroscopique, mais ils nécessitent également plus de données et de calculs.

Les auteurs ont ensuite examiné les applications des modèles de qualité de l'eau et de mélange aux réservoirs. Ils ont discuté de l'utilisation de ces modèles pour la conception et l'exploitation de réservoirs, ainsi que pour l'évaluation de l'impact des contaminants sur la qualité de l'eau.

L'étude de Grayman et Clark (1993) est une ressource précieuse pour les ingénieurs et les scientifiques qui travaillent sur la qualité de l'eau dans les réservoirs. L'étude fournit une synthèse complète des différents types de modèles de mélange et de leurs applications aux réservoirs.

- L'étude de **Hannoun et Boulos (1997)** a développé un modèle hydrodynamique pour l'optimisation de la qualité de l'eau dans les réservoirs de distribution. Le modèle prend en compte les effets de la convection naturelle, de la turbulence et des dispositifs de mélange.

Les résultats de l'étude ont montré que la qualité de l'eau dans les réservoirs de distribution peut être améliorée en optimisant la forme du réservoir, la vitesse d'entrée de l'eau et l'utilisation de dispositifs de mélange.

En résumé, l'étude montre que :

- ✓ La forme du réservoir a un impact important sur la qualité de l'eau. Les réservoirs de forme cylindrique ou rectangulaire ont une meilleure distribution de l'eau.
- ✓ La vitesse d'entrée de l'eau a un impact significatif sur la qualité de l'eau. Une vitesse d'entrée plus élevée permet un mélange plus rapide de l'eau dans le réservoir.
- ✓ Les dispositifs de mélange peuvent améliorer considérablement la qualité de l'eau en accélérant le mélange.

L'étude de Hannoun et Boulos (1997) est une contribution importante au domaine de l'optimisation de la qualité de l'eau dans les réservoirs de distribution. Le modèle hydrodynamique développé est un outil puissant qui peut être utilisé pour améliorer la qualité de l'eau distribuée aux consommateurs.

- L'étude de **Gauthier et al. (2000)** a montré que la gestion hydraulique d'un réservoir d'eau potable peut avoir un impact significatif sur la qualité de l'eau distribuée. Les auteurs ont constaté que les concentrations de contaminants étaient plus élevées lorsque le réservoir était exploité à un niveau d'eau élevé.

Les niveaux d'eau élevés favorisent la stratification de l'eau, ce qui peut entraîner une concentration des contaminants dans les couches inférieures du réservoir. Les contaminants peuvent ensuite être libérés dans l'eau distribuée lorsque les niveaux d'eau sont abaissés.

Les auteurs ont également constaté que les concentrations de contaminants étaient plus élevées lorsque le réservoir était exploité pendant les mois d'été. Les températures plus élevées pendant les mois d'été favorisent la croissance des algues, ce qui peut entraîner une augmentation des concentrations de nitrates et de phosphates.

Les auteurs ont conclu que la gestion hydraulique des réservoirs d'eau potable doit être optimisée pour minimiser les impacts négatifs sur la qualité de l'eau distribuée. Ils recommandent de maintenir les niveaux d'eau du réservoir à un niveau bas lorsque cela est possible.

Les gestionnaires de réservoirs d'eau potable peuvent prendre des mesures pour minimiser les impacts négatifs de la gestion hydraulique sur la qualité de l'eau distribuée. Ces mesures comprennent :

- ✓ Maintenir les niveaux d'eau du réservoir à un niveau bas lorsque cela est possible.
  - ✓ Varier les niveaux d'eau du réservoir pour éviter la stratification.
  - ✓ Éliminer les sources de nutriments qui peuvent favoriser la croissance des algues.
  - ✓ Surveiller la qualité de l'eau du réservoir pour identifier les problèmes potentiels.
- L'étude de **d'Abou-Zeid et El-Nawawy (2010)** a montré que la surveillance de la qualité de l'eau est un outil important pour améliorer l'efficacité opérationnelle des réservoirs de stockage d'eau. Les auteurs ont constaté que la surveillance de la qualité de l'eau permet aux gestionnaires de réservoirs d'identifier les problèmes potentiels plus tôt et de prendre des mesures correctives plus rapidement. La surveillance de la qualité de l'eau permet

également aux gestionnaires de réservoirs d'optimiser les opérations du réservoir pour améliorer la qualité de l'eau distribuée.

Les gestionnaires de réservoirs de stockage d'eau peuvent prendre les mesures suivantes pour améliorer l'efficacité opérationnelle de leurs réservoirs en utilisant les données de surveillance de la qualité de l'eau :

- ✓ Identifier les problèmes potentiels plus tôt en surveillant les paramètres opérationnels du réservoir et les concentrations de contaminants.
  - ✓ Prendre des mesures correctives plus rapidement en réponse aux problèmes potentiels identifiés.
  - ✓ Optimiser les opérations du réservoir en utilisant les données de surveillance pour ajuster les niveaux d'eau du réservoir, les débits d'entrée et de sortie, etc.
- L'étude de **Moncho-Esteve et al. (2013)** a utilisé la simulation CFD (Computational Fluid Dynamics) pour étudier le processus de mélange dans un réservoir de stockage d'eau cylindrique. Les auteurs ont montré que le mélange dans un réservoir cylindrique sans dispositif de mélange se produit principalement par convection naturelle, ce qui est un processus lent qui peut prendre jusqu'à 60 secondes. L'ajout d'un dispositif de mélange, tel qu'un dispositif de mélange par jet ou un dispositif de mélange par diffusion, peut accélérer considérablement le processus de mélange, réduisant le temps de mélange à environ 10 secondes dans le cas d'un dispositif de mélange par jet et à environ 20 secondes dans le cas d'un dispositif de mélange par diffusion.

Les résultats de cette étude montrent que la simulation CFD est un outil puissant pour l'étude du processus de mélange dans les réservoirs de stockage d'eau. Les résultats de cette étude peuvent être utilisés pour améliorer la conception et l'exploitation des réservoirs de stockage d'eau en optimisant la forme du réservoir, la vitesse d'entrée de l'eau et l'utilisation de dispositifs de mélange.

- L'étude menée par **Martínez-Solano et Gualtieri (2019)** se concentre sur la modélisation du champ d'écoulement et de concentration dans des réservoirs d'eau rectangulaires. L'objectif principal était d'analyser en détail le mouvement de l'eau et la dispersion des substances dans ce type spécifique de réservoirs.

L'article présente un protocole utilisant des simulations CFD pour analyser le mélange dans un réservoir d'eau potable, tenant compte des différentes configurations d'échange. Les simulations génèrent les champs de concentration et d'écoulement dans le réservoir, permettant d'évaluer le niveau de mélange en se basant sur des paramètres comme le gradient de vitesse et les histogrammes de concentration. Les résultats indiquent une forte corrélation entre les gradients de vitesse et de concentration. Environ 82% du volume du réservoir ont démontré des conditions de mélange complet. De plus, le gradient de vitesse était similaire à celui des flocculateurs des stations de traitement de l'eau. Les auteurs indiquent que les futures recherches chercheront à établir des corrélations entre les paramètres de cette étude et des paramètres traditionnels, ainsi qu'à intégrer ce protocole en tant qu'outil complémentaire à EPANET, le logiciel largement utilisé pour les études de qualité de l'eau dans les réseaux de distribution.

La CFD est une technique puissante qui peut être utilisée pour étudier le mouvement des fluides dans une grande variété de contextes. Dans le cas de l'étude de Martínez-Solano et Gualtieri (2019), la CFD a permis d'obtenir des informations précieuses sur le mélange dans les réservoirs d'eau potable. Ces informations peuvent être utilisées pour améliorer la conception et le fonctionnement de ces réservoirs, afin de garantir la qualité de l'eau potable.

- **L'étude de Li et al. (2021)** montre que la forme du réservoir est un facteur important qui influence la qualité de l'eau. Les réservoirs de forme cylindrique ou rectangulaire ont généralement une meilleure qualité d'eau que les réservoirs de forme carrée ou ronde.

Les réservoirs de forme cylindrique ou rectangulaire ont une meilleure circulation de l'eau, ce qui permet un mélange plus efficace des contaminants et une meilleure distribution de l'eau. Les réservoirs de forme carrée ou ronde ont une circulation d'eau moins efficace, ce qui peut entraîner une stratification de l'eau et une accumulation de contaminants dans les zones stagnantes.

Les auteurs concluent que la compréhension des facteurs qui influencent l'impact des réservoirs sur la qualité de l'eau est essentielle pour la conception et l'exploitation des réservoirs de manière à garantir la qualité de l'eau distribuée aux consommateurs.

Les gestionnaires des réservoirs peuvent utiliser les stratégies suivantes pour améliorer la qualité de l'eau dans les réservoirs :

- ✓ Choisir une forme de réservoir cylindrique ou rectangulaire.
- ✓ Utiliser des dispositifs de mélange pour améliorer la circulation de l'eau.
- ✓ Surveiller la qualité de l'eau entrante et prendre des mesures correctives si nécessaire.
- ✓ Contrôler les conditions environnementales dans le réservoir, telles que la température et la lumière.

En suivant ces stratégies, les gestionnaires des réservoirs peuvent réduire l'impact des réservoirs sur la qualité de l'eau et garantir que l'eau distribuée aux consommateurs est de la meilleure qualité possible.

- L'article de **Nguyen et al. (2022)** a montré que la géométrie des réservoirs de stockage d'eau peut avoir un impact significatif sur la qualité de l'eau. Les réservoirs de forme cylindrique, peu profonds et avec des remous ont tendance à avoir une meilleure qualité d'eau que les réservoirs de forme rectangulaire ou carrée, profonds et sans remous.

Les responsables de la gestion des réservoirs de stockage d'eau ont la possibilité d'optimiser la qualité de l'eau dans leurs réservoirs en prenant en considération la configuration géométrique du réservoir. Ces mesures comprennent :

- ✓ Utiliser des réservoirs de forme cylindrique
- ✓ Maintenir les réservoirs à une profondeur peu élevée
- ✓ Créer des remous dans le réservoir
- ✓ Installer des dispositifs de désinfection dans le réservoir
- ✓ Surveiller régulièrement la qualité de l'eau dans le réservoir

- **El-Khodary et al. (2022)** ont mené une étude sur la qualité de l'eau dans les réservoirs d'eau potable dans une ville du nord de l'Égypte. L'étude a porté sur 10 réservoirs et a utilisé une approche mixte, associant des analyses physico-chimiques et microbiologiques de l'eau.

Les résultats de l'étude montrent que la qualité de l'eau dans les réservoirs est généralement bonne, mais qu'il existe des zones où la contamination est possible. Les principales sources de contamination sont les algues, les bactéries et les virus.

Les algues peuvent se développer dans les réservoirs en raison de la présence de nutriments, tels que les nitrates et les phosphates. Les bactéries et les virus peuvent être présents dans l'eau entrante dans le réservoir ou peuvent se développer dans le réservoir à partir de contaminations externes.

L'étude a également montré que la qualité de l'eau dans les réservoirs varie en fonction de la profondeur. Les concentrations de contaminants sont généralement plus élevées dans les zones inférieures des réservoirs. Cela est dû au fait que les contaminants ont tendance à se concentrer dans ces zones en raison de la gravité.

Sur la base des résultats de l'étude, les auteurs recommandent de mettre en place des mesures pour améliorer la qualité de l'eau dans les réservoirs, telles que :

- ✓ La surveillance régulière de la qualité de l'eau : Cela permet de détecter toute contamination et d'y remédier.
- ✓ Le traitement de l'eau : Cela peut aider à réduire la concentration des contaminants.
- ✓ Une bonne gestion des réservoirs : Cela peut contribuer à prévenir la contamination, par exemple en protégeant les réservoirs contre les intrusions et en entretenant régulièrement les réservoirs.

## Conclusion

La recherche bibliographique réalisée dans le cadre de ce mémoire a permis de dresser un état des lieux de la recherche sur l'évolution de la qualité de l'eau dans les réservoirs d'AEP.

Les principaux résultats de la recherche sont les suivants :

- Les facteurs qui influencent l'évolution de la qualité de l'eau dans les réservoirs sont multiples, notamment les conditions environnementales, la composition de l'eau entrante, la géométrie du réservoir et les pratiques de gestion.
- Les réservoirs peuvent être un facteur de dégradation de la qualité de l'eau, en favorisant le développement de bactéries et de micro-organismes, ainsi que la formation de sédiments et de turbidité.
- Des stratégies de gestion des réservoirs peuvent être mises en place pour améliorer la qualité de l'eau, telles que la surveillance régulière de la qualité de l'eau, le nettoyage et la désinfection des réservoirs, et l'utilisation de technologies de traitement de l'eau.

Ces résultats constituent une base solide pour la poursuite de la recherche sur ce sujet.

### **III- Chapitre III : ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DANS LES RÉSERVOIRS D'AEP**

## Introduction

Dans ce chapitre, nous examinerons l'évolution de la qualité de l'eau dans les réservoirs d'AEP au fil du temps, en tenant compte du brassage de l'eau à l'intérieur des réservoirs. Nous aborderons également les modèles de mélange utilisés pour comprendre et prédire les processus de mélange dans les réservoirs, ainsi que la simulation du mélange d'eau dans un réservoir. En outre, nous explorerons les réactions qui peuvent modifier la qualité de l'eau à l'intérieur des réservoirs.

### III.1- L'évolution de la qualité de l'eau dans le réservoir avec le temps

La qualité de l'eau dans un réservoir d'eau potable peut évoluer avec le temps en raison de plusieurs facteurs, notamment :

- **La qualité de l'eau entrante** : La qualité de l'eau entrante dans le réservoir est le facteur le plus important qui affecte la qualité de l'eau dans le réservoir. Si l'eau entrante est contaminée, la contamination peut se propager dans le réservoir. **(El-Khodary et al. 2022)**
- **La conception et la construction du réservoir** : La conception et la construction du réservoir peuvent contribuer à la contamination de l'eau.

Voici quelques exemples de la façon dont la conception et la construction d'un réservoir peuvent contribuer à la contamination de l'eau :

- ✓ **Matériaux de construction inappropriés** : Certains matériaux, tels que le métal galvanisé, peuvent se corroder et libérer des contaminants dans l'eau.
- ✓ **Fissures ou défauts de construction** : Les fissures ou les défauts de construction peuvent permettre à la contamination de pénétrer dans le réservoir.
- ✓ **Mauvaise conception** : Une conception inappropriée peut entraîner une accumulation de contaminants dans le réservoir. **(Martínez-Solano, P., & Gualtieri, L.2019).**
- **L'exploitation et l'entretien du réservoir** : L'exploitation et l'entretien du réservoir peuvent également contribuer à la contamination de l'eau. Par exemple, si le réservoir n'est pas bien nettoyé, les algues et les bactéries peuvent se développer et contaminer l'eau. **(Khan et al. 2022)**

En général, la qualité de l'eau dans un réservoir d'eau potable se détériore avec le temps. Cela est dû au fait que les contaminants ont tendance à se concentrer dans le réservoir et que les conditions dans le réservoir peuvent favoriser la croissance des algues et des bactéries. **(L'OMS 2021)**

Voici quelques-uns des changements spécifiques qui peuvent se produire dans la qualité de l'eau dans un réservoir d'eau potable avec le temps :

- **La turbidité** : La turbidité de l'eau peut augmenter en raison de la croissance des algues et des bactéries.
- **La concentration en chlore** : La concentration en chlore peut diminuer en raison de la réaction du chlore avec les contaminants présents dans l'eau.
- **La concentration en bactéries et en virus** : La concentration en bactéries et en virus peut augmenter en raison de la croissance des bactéries et des virus dans le réservoir. **(El-Khodary et al. 2022)**

Pour garantir la qualité de l'eau dans un réservoir d'eau potable, il est important de prendre des mesures pour prévenir la contamination. Ces mesures comprennent :

- **La surveillance régulière de la qualité de l'eau** : La surveillance régulière de la qualité de l'eau permet de détecter toute contamination et d'y remédier.
- **Le traitement de l'eau** : Le traitement de l'eau peut aider à réduire la concentration des contaminants.
- **Une bonne gestion des réservoirs** : Une bonne gestion des réservoirs peut contribuer à prévenir la contamination, par exemple en protégeant les réservoirs contre les intrusions et en entretenant régulièrement les réservoirs. **(L'OMS 2021)**

### III.2- Le brassage de l'eau dans les réservoirs

Le brassage de l'eau dans les réservoirs d'AEP est une technique utilisée pour améliorer la qualité de l'eau et la rendre plus homogène. Le brassage permet de mélanger l'eau entrante, qui peut être de qualité différente, avec l'eau déjà stockée dans le réservoir. Cela permet de diluer les contaminants présents dans l'eau entrante et de réduire le risque de formation de stratification. **(El-Khodary et al. 2022)**

Il existe plusieurs techniques de brassage de l'eau dans les réservoirs d'AEP. Les techniques les plus courantes sont les suivantes :

- **Brassage par injection d'air** : de l'air est injecté dans l'eau par le biais de buses situées au fond du réservoir. L'air crée des bulles qui remontent à la surface et mélangent l'eau.
- **Brassage par pompe** : une pompe est utilisée pour faire circuler l'eau dans le réservoir. Cela permet de mélanger l'eau de manière uniforme.
- **Brassage par éclaboussures** : l'eau est libérée à partir d'une hauteur dans le réservoir. L'impact de l'eau sur la surface du réservoir crée des éclaboussures qui mélangent l'eau. (ASCE. 2017)

Le choix de la technique de brassage la plus appropriée dépend de la taille et de la forme du réservoir, du débit d'eau entrante et de la qualité de l'eau à traiter. (El-Khodary et al. 2022)

Le brassage de l'eau dans les réservoirs d'AEP est une mesure importante pour garantir la qualité de l'eau potable. Il permet de prévenir la formation de stratification, qui peut entraîner une concentration de contaminants dans certaines zones du réservoir. Le brassage permet également de diluer les contaminants présents dans l'eau entrante et de réduire le risque de contamination de l'eau potable.

Voici quelques avantages du brassage de l'eau dans les réservoirs d'AEP :

- Amélioration de la qualité de l'eau : le brassage permet de diluer les contaminants présents dans l'eau entrante et de réduire le risque de formation de stratification.
- Réduction du risque de contamination : le brassage permet de mélanger l'eau de manière uniforme, ce qui réduit le risque de contamination par des agents pathogènes ou des produits chimiques.
- Amélioration de la distribution de l'eau : le brassage permet de distribuer l'eau de manière plus uniforme dans le réseau de distribution, ce qui réduit les risques de corrosion et de dépôts. (El-Khodary et al. 2022)

Le brassage de l'eau dans les réservoirs d'AEP est une mesure efficace pour améliorer la qualité de l'eau potable. Il est important de choisir la technique de brassage la plus appropriée pour chaque situation afin d'optimiser l'efficacité de la mesure. (El-Khodary et al. 2022)

### III.3- Les modèles de mélange dans les réservoirs d'AEP

Les modèles de mélange de l'eau dans les réservoirs d'AEP sont des outils utilisés pour simuler le mélange de l'eau entrante et de l'eau déjà présente dans le réservoir. Ces modèles sont importants pour comprendre l'évolution de la qualité de l'eau dans les réservoirs, ainsi que pour la conception et l'exploitation des réservoirs. (Li, Y., Wu, X., & Zhang, Y. 2021).

Les modèles de mélange de l'eau dans les réservoirs d'AEP peuvent être classés en trois catégories :

#### III.3.1- Modèle de mélange instantané

Le modèle de mélange instantané est le plus simple et le plus rapide à mettre en œuvre. Il est basé sur l'hypothèse que l'eau entrante et l'eau déjà présente dans le réservoir se mélangent instantanément. Cette hypothèse est une simplification, car elle ne tient pas compte des phénomènes physiques qui peuvent ralentir le mélange, tels que la stratification de l'eau ou la présence de sédiments.

Ce modèle peut être utilisé pour calculer la concentration d'un contaminant dans l'eau du réservoir en fonction de la concentration du contaminant dans l'eau entrante. (Li, Y., Wu, X., & Zhang, Y. 2021).

L'équation du modèle de mélange instantané est la suivante : (WaterCAD User's Manual.2023).

$$Q_{out} = Q_{in} + Q_{mix} \dots\dots\dots \text{III-1}$$

Où :

$Q_{in}$  : le débit entrant dans le réservoir

$Q_{out}$  : le débit sortant du réservoir

$Q_{mix}$  : le débit de mélange

Le débit de mélange est calculé comme suit : (WaterCAD User's Manual.2023).

$$Q_{mix} = \frac{(Q_{in} \times C_{in}) + (Q_{out} \times C_{out})}{(C_{in} + C_{out})} \dots\dots\dots \text{III-2}$$

Où :

$C_{in}$  : la concentration de l'entrée

$C_{out}$  : la concentration de la sortie

**III.3.2- Modèle de mélange complet**

Le modèle de mélange complet est plus réaliste que le modèle de mélange instantané. Il suppose que l'eau entrante et l'eau déjà présente dans le réservoir se mélangent complètement au fil du temps. Ce modèle est plus complexe à mettre en œuvre, car il nécessite de tenir compte de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la composition de l'eau.

Ce modèle peut être utilisé pour calculer la concentration d'un contaminant dans l'eau du réservoir en fonction de la concentration du contaminant dans l'eau entrante, de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la composition de l'eau. (Li, Y., Wu, X., & Zhang, Y. 2021).

L'équation du modèle de mélange complet est la suivante : (WaterCAD User's Manual.2023).

$$C_{out} = \frac{(C_{in} \times Q_{in} + C_{out} \times Q_{out})}{(Q_{in} + Q_{out})} \dots\dots\dots \text{III-3}$$

Où :

$C_{out}$  : la concentration de la sortie

$C_{in}$  : la concentration de l'entrée

$Q_{in}$  : le débit entrant dans le réservoir

$Q_{out}$  : le débit sortant du réservoir

**III.3.3- Modèle de mélange partiel**

Le modèle de mélange partiel est une bonne approximation de la réalité dans de nombreux cas. Il suppose que l'eau entrante et l'eau déjà présente dans le réservoir se mélangent partiellement au fil du temps. Ce modèle est plus complexe que le modèle de mélange instantané, mais il est plus simple que le modèle de mélange complet.

Ce modèle peut être utilisé pour calculer la concentration d'un contaminant dans l'eau du réservoir en fonction de la concentration du contaminant dans l'eau entrante, de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la composition de l'eau. (Li, Y., Wu, X., & Zhang, Y. 2021).

L'équation du modèle de mélange partiel est la suivante : (WaterCAD User's Manual.2023).

$$C_{out} = \frac{(C_{in} \times Q_{in} + C_{out} \times Q_{out})}{(Q_{in} + Q_{out}) \times E} \dots\dots\dots \text{III-4}$$

Où :

$C_{out}$  : la concentration de la sortie

$C_{in}$  : la concentration de l'entrée

$Q_{in}$  : le débit entrant dans le réservoir

$Q_{out}$  : le débit sortant du réservoir

E : le facteur de mélange

L'équation suivante peut être utilisée pour calculer le facteur de mélange : (**WaterCAD User's Manual.2023**).

$$E = \frac{C_{out} - C_s}{C_{in} - C_s} \dots\dots\dots \text{III-5}$$

Où :

E : le facteur de mélange

$C_{out}$  : la concentration de l'eau sortant du réservoir

$C_s$  : la concentration de l'eau stagnante

Cette équation est basée sur le modèle de mélange partiel.

### III.3.4- Choix du modèle de mélange

Le choix du modèle de mélange approprié dépend de la géométrie du réservoir, de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la composition de l'eau.

- Dans un réservoir de forme simple, avec une vitesse d'écoulement uniforme, le modèle de mélange instantané peut être utilisé.
- Dans un réservoir de forme complexe, avec une vitesse d'écoulement variable, le modèle de mélange complet doit être utilisé.
- Dans un réservoir avec une stratification de l'eau ou la présence de sédiments, le modèle de mélange partiel doit être utilisé.

En choisissant le modèle de mélange approprié, il est possible de calculer la concentration d'un contaminant dans l'eau du réservoir de manière précise. (**Li, Y., Wu, X., & Zhang, Y. 2021**).

### III.3.5- La vitesse de mélange

La vitesse de mélange dans un réservoir d'AEP est la vitesse à laquelle l'eau de différentes sources ou couches est mélangée. Elle est importante pour garantir la qualité et la potabilité de l'eau distribuée aux consommateurs. (**L'OMS 2021**)

L'équation suivante peut être utilisée pour calculer la vitesse de mélange :

$$V_{mix} = \frac{Q_{mix}}{V} \dots\dots\dots \text{III-6}$$

Où :

$V_{mix}$  : la vitesse de mélange

$Q_{mix}$  : le débit de mélange

$V$  : le volume du réservoir

Cette équation peut être utilisée pour calculer la vitesse à laquelle l'eau entrante se mélange avec l'eau déjà stockée dans le réservoir.

### III.3.6- La durée de mélange

La durée de mélange de l'eau dans les réservoirs d'AEP est un paramètre important à prendre en compte pour garantir la qualité et la potabilité de l'eau distribuée aux consommateurs. En effet, une durée de mélange trop courte peut entraîner une stratification de l'eau, ce qui peut favoriser la prolifération de bactéries et de micro-organismes. **(L'OMS 2021)**

L'équation suivante peut être utilisée pour calculer la durée de mélange :

$$t_{mix} = \frac{V}{Q_{mix}} \dots \dots \dots \text{III-7}$$

Où :

$t_{mix}$  : la durée de mélange

$V$  : le volume du réservoir

$Q_{mix}$  : le débit de mélange

Cette équation peut être utilisée pour calculer le temps nécessaire pour que l'eau entrante se mélange complètement avec l'eau déjà stockée dans le réservoir.

### III.4- Simulation du mélange d'eau dans un réservoir

L'outil EPANET peut utiliser quatre modèles différents pour caractériser le mélange dans les réservoirs de stockage :

- Mélange Parfait
- Mélange en deux compartiments
- Ecoulement en piston type FIFO
- Ecoulement en piston type LIFO
- Différents modèles peuvent être utilisés pour les différents réservoirs d'un réseau. **(EPANET User Manual).**

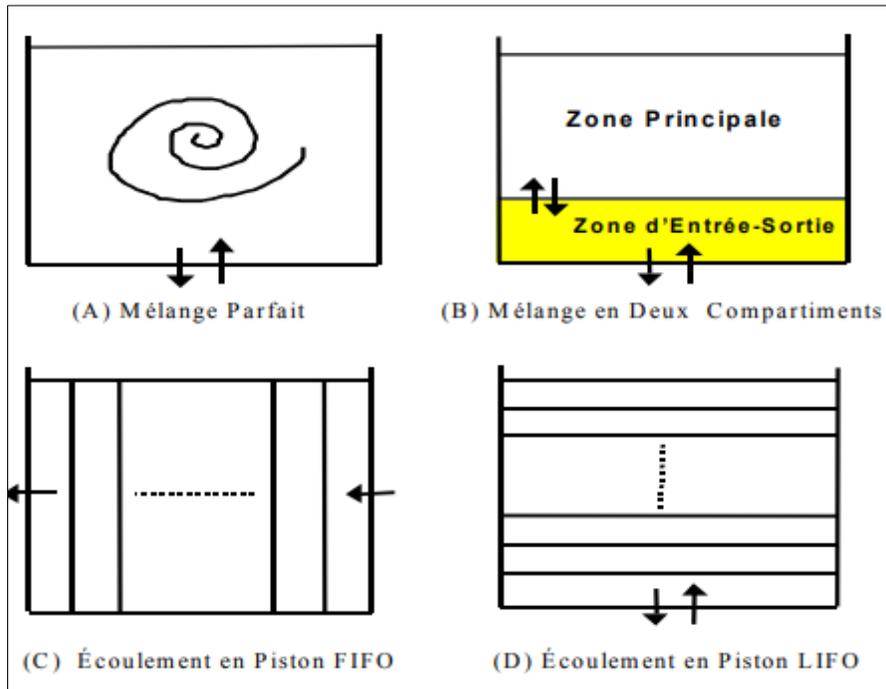


Figure III-1 : Modèles de mélange dans un réservoir (Source : Manuel EPANET)

- Le modèle de Mélange Parfait suppose que toute l'eau qui entre dans un réservoir est instantanément et complètement mélangée avec l'eau déjà dans le réservoir. C'est le comportement de mélange le plus simple à supposer.
- Le modèle de Mélange en Deux Compartiments divise le volume dans un réservoir en deux compartiments, dont tous les deux sont supposés entièrement mélangés. On suppose que les tuyaux d'entrée et de sortie du réservoir sont connectés au premier compartiment. L'eau qui entre dans le réservoir se mélange avec l'eau du premier compartiment. Si ce compartiment est plein, il déborde dans le deuxième compartiment dans lequel l'eau se mélange alors entièrement avec l'eau déjà présente.  
Quand l'eau sort du réservoir, elle quitte le premier compartiment. Si le premier compartiment était plein, il recevrait alors une quantité équivalente d'eau du deuxième compartiment pour compenser la différence.  
Le premier compartiment peut représenter un court-circuit entre l'apport et la sortie d'eau, tandis que le deuxième compartiment peut modéliser les zones mortes du réservoir.

- Le Modèle d'Écoulement en Piston Type FIFO (First Input is First Output) suppose que l'eau ne se mélange pas dans le réservoir. Des tranches d'eau passent par le réservoir séparément, et la première tranche qui entre est également la première qui sort. Du point de vue physique, ce modèle est approprié pour simuler l'écoulement dans les réservoirs équipé de cloisons dans lesquels l'écoulement est continu.
- Le Modèle d'écoulement en Piston Type LIFO (Last Input is First Output) suppose également qu'il n'y a pas de mélange entre les tranches d'eau qui entrent dans le réservoir. Contrairement au type FIFO, les tranches d'eau s'accumulent et l'eau entre et sort du réservoir au même niveau. Ce type d'écoulement peut s'appliquer aux châteaux d'eau, hauts et étroits, avec un seul tuyau d'entrée et sortie au radier, et avec peu de quantité de mouvement entrant... (**EPANET User Manual**).

### III.5- Les réactions modifiant la qualité de l'eau

EPANET peut simuler l'évolution de la concentration d'une substance dans l'eau potable en fonction des réactions chimiques qui s'y produisent. Pour cela, il est nécessaire de connaître la vitesse de réaction et sa dépendance de la concentration de la substance.

Les réactions peuvent se produire dans la masse d'eau ou aux parois des tuyaux.

- Dans la masse d'eau, les réactions les plus courantes sont la décomposition de la matière organique naturelle (NOM) par le chlore libre (HClO) et la corrosion des tuyaux en fer (Fe).
- Aux parois des tuyaux, le chlore libre (HClO) peut oxyder le fer (Fe) libéré par la corrosion.

Les réactions dans la masse d'eau peuvent également se produire dans les réservoirs. EPANET permet de simuler ces réactions dans deux zones distinctes : la masse d'eau et les parois des tuyaux. (**EPANET User Manual**).

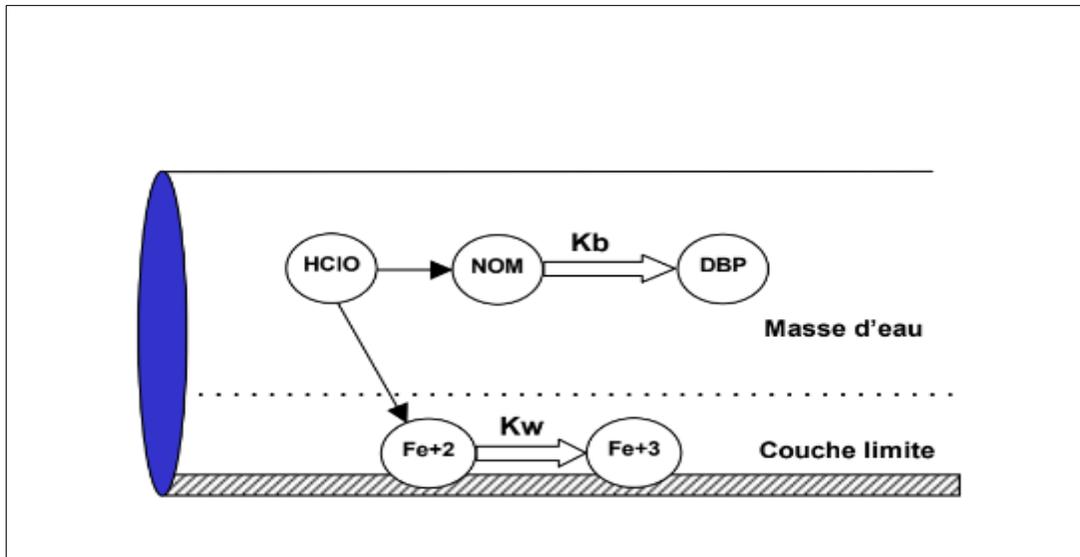


Figure III-2 : Zones de réactions à l'intérieur d'un tuyau (Source : Manuel EPANET)

### III.5.1- Réactions dans la masse d'eau

EPANET utilise une approche cinétique d'ordre n pour représenter les réactions au sein de la masse d'eau, ce qui implique que la vitesse instantanée de la réaction R (exprimée en unités de masse par volume par unité de temps) varie en fonction de la concentration, conformément à la formule suivante :

$$R = K_b C^n \dots\dots\dots \text{III-8}$$

Dans cette équation,  $K_b$  représente un coefficient qui détermine la vitesse de réaction, C est la concentration du réactant (exprimée en masse par unité de volume), et n représente l'ordre de la réaction. La valeur de  $K_b$  est calculée en élevant la concentration à la puissance (1-n) et en divisant par le temps. Il est positif dans le cas des réactions de croissance et négatif pour les réactions de décomposition. (EPANET User Manual).

EPANET peut également effectuer des calculs pour les réactions où une concentration limite l'accroissement ou la décomposition d'une substance. Dans ces situations, l'expression utilisée est la suivante :

$$R = K_b (C_L - C) C^{(n-1)} \dots\dots\dots \text{III-9} \quad \text{pour } n > 0, K_b > 0$$

$$R = K_b (C - C_L) C^{(n-1)} \dots\dots\dots \text{III-10} \quad \text{pour } n > 0, K_b < 0$$

Le tableau ci-dessous résume quelques exemples de réactions dont la cinétique est bien connue :

$C_L$  : concentration limite

$K_b$  : coefficient de la vitesse de réaction

n : ordre de la réaction (**EPANET User Manual**).

**Tableau III-1 : Exemples de réactions**

Modèle	Paramètres	Exemples
Décomposition d'ordre $U_n$	$C_L = 0, K_b < 0, n=1$	Chlore
Accroissement d'ordre $U_n$ jusqu'à saturation	$C_L > 0, K_b > 0, n=1$	Trihalométhanes
Cinétique d'ordre zéro	$C_L = 0, K_b < > 0, n=0$	Temps de séjour
Sans réaction	$C_L = 0, K_b = 0$	Marqueur de fluorure

Pour déterminer le coefficient  $K_b$  des réactions d'ordre un, nous pouvons réaliser une série d'expériences en plaçant un échantillon dans plusieurs récipients en verre non réactif, puis en analysant le contenu de chaque récipient après un certain temps d'incubation. En notant  $C_t$  comme la concentration au moment  $t$  et  $C_o$  comme la concentration initiale, nous pouvons observer que pour une réaction d'ordre un, le graphique du logarithme ( $\log$ ) de  $(C_t / C_o)$  en fonction du temps forme une ligne droite. La pente de cette ligne représente la valeur de  $K_b$ .

En général, les coefficients de vitesse des réactions dans la masse d'eau augmentent avec la température. En effectuant l'expérience précédemment décrite à différentes températures, nous pouvons évaluer l'impact de la température sur ces coefficients. (**EPANET User Manual**).

### III.5.2- Réactions aux parois

La vitesse d'une réaction qui se déroule à la surface ou près de la surface d'un tuyau peut être considérée comme dépendante de la concentration dans la masse d'eau. Cette dépendance est exprimée par l'équation :

$$r = \frac{A}{V} K_w C^n \dots\dots\dots \text{III-11}$$

Où  $K_w$  est le coefficient de vitesse de réaction et  $\frac{A}{V}$  représente le rapport entre la surface intérieure du tuyau et son volume (égal à 4 divisé par le diamètre du tuyau). Cette expression ajuste les unités de masse réagissant par unité de surface en unités de masse par unité de volume.

(**EPANET User Manual**).

Dans le cas des réactions à la paroi, EPANET ne permet que des réactions d'ordres 0 ou 1, ce qui signifie que les unités de  $K_w$  peuvent être en masse/surface/temps (ordre 0) ou en longueur par

unité de temps (ordre 1). Les valeurs de  $K_w$  pour les réactions d'ordre un peuvent varier de 0 à 1,5 mètres par jour. Il est essentiel d'ajuster  $K_w$  pour tenir compte des limitations de transfert de masse entre la masse d'eau et la paroi. EPANET effectue cette adaptation automatiquement en se basant sur la diffusivité moléculaire de la substance et le nombre de Reynolds. Si la diffusivité moléculaire est mise à zéro, les effets du transfert de masse sont négligés. (**EPANET User Manual**).

Il convient de noter que le coefficient de réaction à la paroi dépend de la température et peut également être influencé par l'âge et le matériau du tuyau. En vieillissant, un tuyau devient plus rugueux en raison de l'accumulation de dépôts et de la formation de corrosion à sa surface. Cette augmentation de rugosité entraîne une diminution du facteur C de Hazen-Williams ou une augmentation du coefficient de rugosité de Darcy-Weisbach, ce qui se traduit par une perte de charge plus importante dans le tuyau. (**EPANET User Manual**).

### Conclusion

Les résultats de ce chapitre ont montré que la qualité de l'eau dans les réservoirs d'AEP peut se dégrader au fil du temps. Cette dégradation peut être due à une combinaison de facteurs. Sur la base des résultats de cette étude, les recommandations suivantes sont formulées :

- Les gestionnaires des réseaux d'AEP doivent mettre en place des programmes de surveillance réguliers de la qualité de l'eau dans les réservoirs.
- Ces programmes doivent inclure des analyses de la qualité microbiologique, physico-chimique et organoleptique de l'eau.
- Les résultats de ces analyses doivent être utilisés pour identifier les réservoirs qui présentent des risques de contamination.
- Des mesures correctives doivent être mises en place pour améliorer la qualité de l'eau dans ces réservoirs.

## **IV- Chapitre IV : ÉTUDE DE LA QUALITÉ DE L'EAU ÉMANANT DES RÉSERVOIRS DE SEBDOU.**

## Introduction

Le chlore est un désinfectant couramment utilisé pour traiter l'eau potable. Il est efficace pour tuer les bactéries, les virus et les parasites, ce qui le rend essentiel pour la protection de la santé publique.

La dose de chlore utilisée pour traiter l'eau potable est généralement de 0,3 mg/l. Cette dose est suffisante pour éliminer les contaminants, mais elle ne doit pas être excessive pour éviter d'affecter la qualité de l'eau.

Le mélange du chlore avec l'eau est un facteur important qui affecte l'efficacité du désinfectant. Un mélange inhomogène peut entraîner des zones où la concentration de chlore est insuffisante pour tuer les contaminants.

Dans ce chapitre, nous allons étudier l'impact des différents modèles de mélange sur l'efficacité du chlore. Nous allons utiliser l'outil EPANET pour simuler le comportement du chlore dans l'eau potable.

### IV.1- Présentation du réseau

Le nouveau réseau (étudié dans le cadre de mémoire de fin d'étude) de la ville de Sebdou, située dans la wilaya de Tlemcen, se compose de deux réservoirs, d'une capacité de 3000m<sup>3</sup> et de 2 x 900 m<sup>3</sup>. Il est de type mixte, composé de 11 mailles avec des ramifications. Il s'étend sur une longueur de 27 472,66 m en PEHD, avec des diamètres variant de 50 à 400 mm.

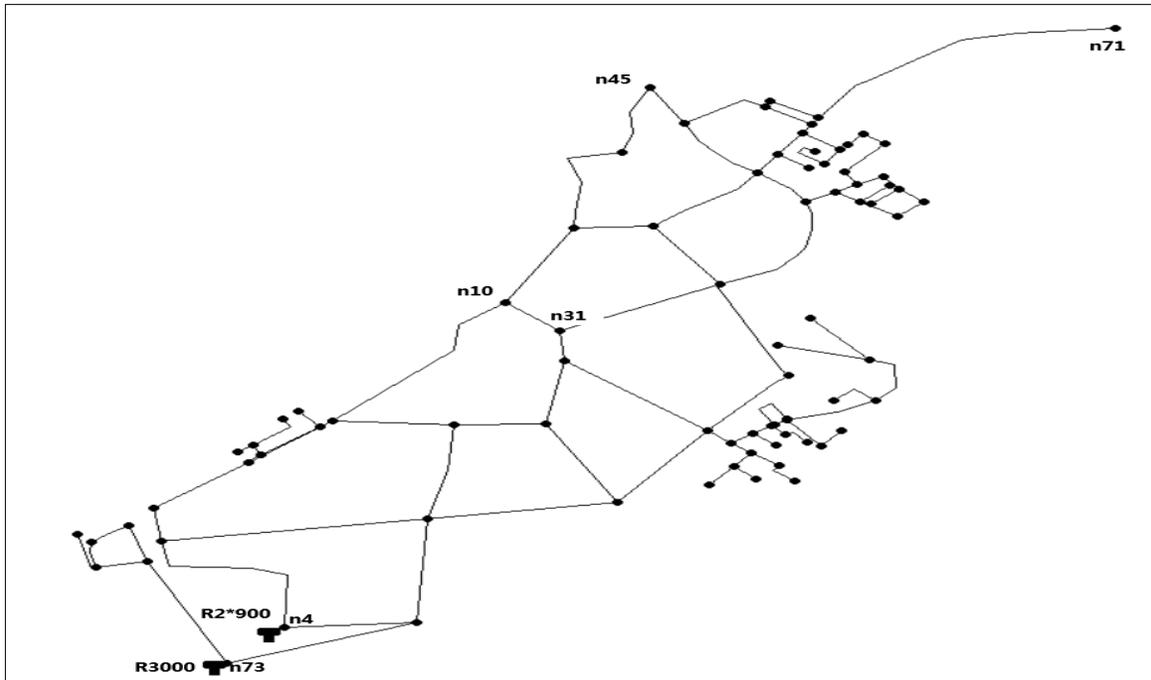


Figure IV-1 : Schéma du réseau réhabilité de la ville de Sebdou

#### IV.2- Résultats de la simulation

Trois scénarios de simulation ont été étudiés avec comme hypothèse commune l'injection de chlore à une concentration de 0,3 mg/l dans les réservoirs. Ces trois cas offrent des perspectives importantes sur la distribution du chlore et ses implications sur la qualité de l'eau. Ils sont les suivants :

- ✚ Cas 1 : Injection de chlore dans le premier réservoir d'alimentation (3000m<sup>3</sup>)
- ✚ Cas 2 : Injection de chlore dans le deuxième réservoir d'alimentation (2\*900m<sup>3</sup>)
- ✚ Cas 3 : Injection simultanée de chlore dans les deux réservoirs d'alimentation

Pour analyser ces scénarios, des nœuds spécifiques ont été choisis pour évaluer la qualité de l'eau sur EPANET (Figure IV-1) : nœuds juste en aval du point d'injection, nœuds situés plus loin dans le réseau et nœuds intermédiaires dans le réseau. Cette approche permettra d'obtenir une compréhension approfondie de la répartition du chlore et de ses effets sur la qualité de l'eau à différents endroits du réseau. En examinant ces scénarios, nous pourrons mieux comprendre comment optimiser la désinfection et garantir la qualité de l'eau tout au long de la distribution, contribuant ainsi à la santé publique et au bien-être de la communauté desservie par ce réseau.

### IV.2.1-Cas 1 : Injection de chlore dans le premier réservoir d'alimentation (3000m3)

Dans ce scénario, le chlore est introduit exclusivement dans le premier réservoir d'alimentation du réseau. Cette approche permet d'explorer l'effet de la désinfection au point d'entrée initial de l'eau dans le réseau. La concentration de chlore initiale et sa propagation ultérieure sont des éléments clés à analyser pour garantir une désinfection adéquate tout au long de la distribution.

Les figures suivantes montrent l'évolution de la concentration du chlore dans les réservoirs ainsi que dans les nœuds étudiés.

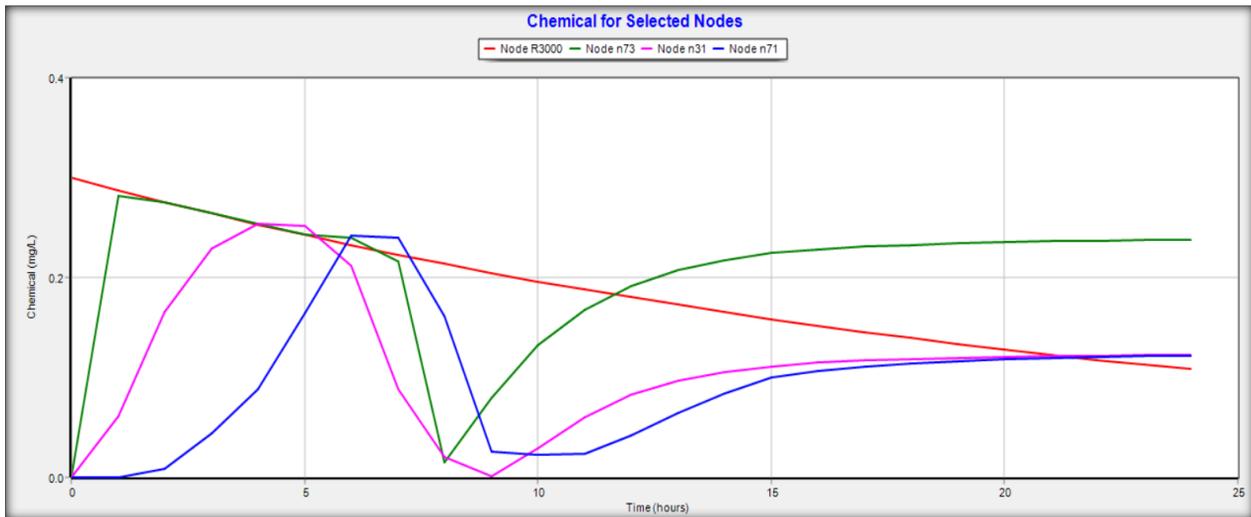
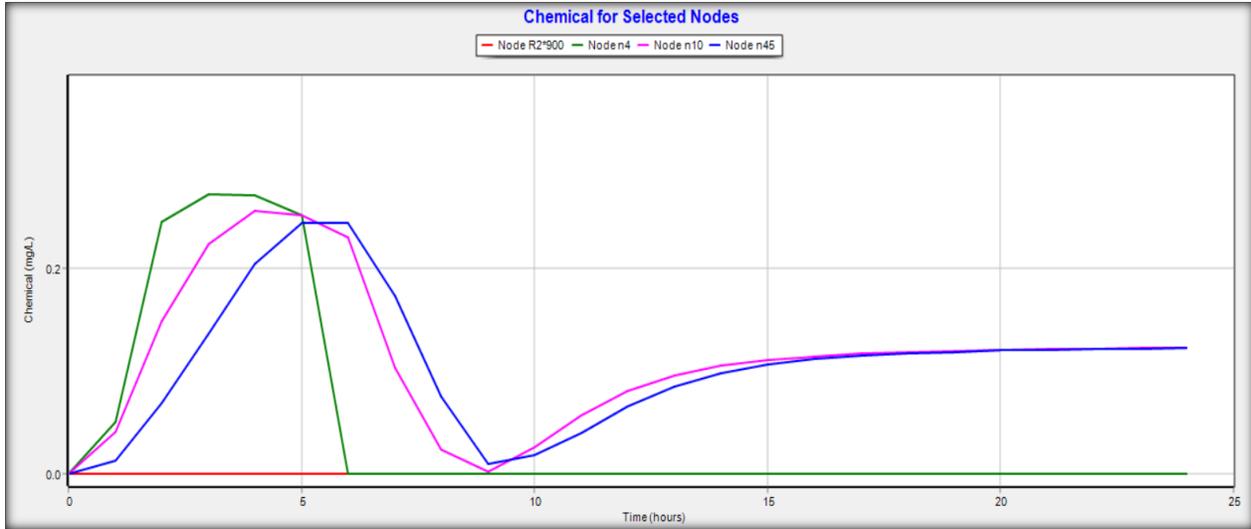


Figure IV-2 : Évolution de la concentration du chlore dans les réservoirs et le réseau en injectant le chlore dans le réservoir 3000m<sup>3</sup>



**Figure IV-3 : Évolution de la concentration du chlore dans les réservoirs et le réseau en injectant le chlore dans le réservoir 3000m<sup>3</sup>**

### Commentaires

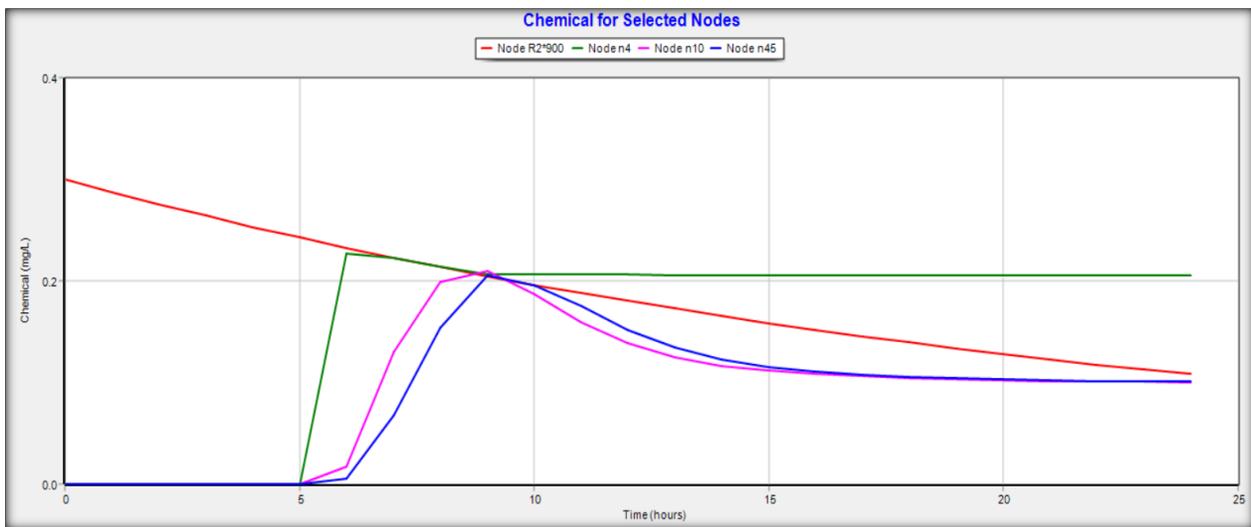
Pour ce premier cas, l'allure des courbes de concentration de chlore dans les différents nœuds étudiés est comme suit :

1. Une première augmentation de la concentration (inférieure à 0,3 mg/l) est le résultat direct de l'injection de chlore dans le réservoir : lorsque le chlore est injecté initialement, il se mélange à l'eau dans le réservoir, en conséquence, la concentration de chlore augmente progressivement jusqu'à atteindre un maximum inférieur à 0,3 mg/l.
2. La diminution de la concentration de chlore après la première augmentation peut être due à plusieurs facteurs. L'un d'entre eux pourrait être l'effet de l'eau venant du deuxième réservoir qui est sans chlore ou à une concentration très faible, cette eau se mélange à l'eau du premier réservoir lorsqu'elle circule dans le réseau. Cela dilue la concentration de chlore.
3. Une deuxième augmentation qui est peut-être expliquée comme étant le résultat d'une transition à un état d'équilibre où la distribution du chlore devient homogène dans le réseau jusqu'à atteindre un seuil :
  - a. De 0.12 mg/l pour les nœuds alimentés plus ou moins équitablement par les deux réservoirs (nœuds 10, 45, 31, 71)
  - b. De 0.24 mg/l pour les nœuds alimentés uniquement pas le premier réservoir (3000m<sup>3</sup>) (nœud 73)

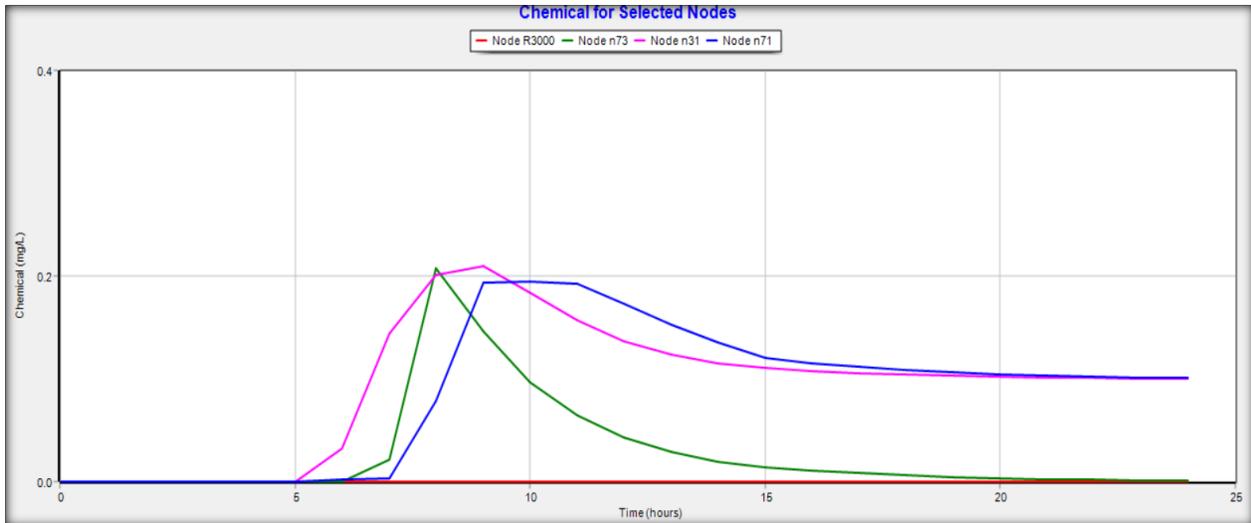
- c. De  $\sim 0$  mg/l pour les nœuds alimentés uniquement par le deuxième réservoir ( $2*900m^3$ ) (nœud 4)

**IV.2.2- Cas 2 : Injection de chlore dans le deuxième réservoir d'alimentation ( $2*900m^3$ )**

À l'inverse du cas précédent, le chlore est injecté uniquement dans le deuxième réservoir d'alimentation, qui se trouve à proximité immédiate du premier réservoir. Ce scénario examine les répercussions de la désinfection au sein du réseau à partir d'un point d'introduction voisin. Il permet d'évaluer comment le chlore peut maintenir la qualité de l'eau dans des zones proches du point d'injection, tout en comparant ces résultats avec ceux du premier cas.



**Figure IV-4 : Évolution de la concentration du chlore dans les réservoirs et le réseau en injectant le chlore dans le réservoir  $2*900m^3$**



**Figure IV-5 : Évolution de la concentration du chlore dans les réservoirs et le réseau en injectant le chlore dans le réservoir 2\*900m<sup>3</sup>**

### Commentaires

Pour ce deuxième cas, l'allure des courbes de concentration du chlore dans les différents nœuds étudiés est comparable au cas précédent :

1. Une première augmentation de la concentration (inférieure à 0,3 mg/l) est le résultat direct de l'injection de chlore dans le réservoir : lorsque le chlore est injecté initialement, il se mélange à l'eau dans le réservoir, en conséquence, la concentration de chlore augmente progressivement jusqu'à atteindre un maximum inférieur à 0,3 mg/l.
2. La diminution de la concentration de chlore après la première augmentation peut être due à plusieurs facteurs. L'un d'entre eux pourrait être l'effet de l'eau venant du deuxième réservoir qui est sans chlore ou à une concentration très faible, cette eau se mélange à l'eau du premier réservoir lorsqu'elle circule dans le réseau. Cela dilue la concentration de chlore.
3. Une deuxième augmentation qui est peut-être expliquée comme étant le résultat d'une transition à un état d'équilibre où la distribution du chlore devient homogène dans le réseau jusqu'à atteindre un seuil :
  - a. De 0.10 mg/l pour les nœuds alimentés plus ou moins équitablement par les deux réservoirs (nœuds 10, 45, 31, 71)
  - b. De 0.21 mg/l pour les nœuds alimentés uniquement pas le deuxième réservoir (2\*900m<sup>3</sup>) (nœud 4)

- c. De  $\sim 0$  mg/l pour les nœuds alimentés uniquement par le premier réservoir ( $2 \times 900 \text{m}^3$ ) (nœud 73) (se trouvant en amont du point d'introduction initial)

En comparant les seuils de concentration atteints dans les deux cas, le premier cas représente des valeurs supérieures au deuxième cas (en raison du volume du premier réservoir qui est supérieur au deuxième) soit une meilleure désinfection, cependant, cette désinfection ne couvre pas la totalité du réseau.

#### IV.2.3-Cas 3 : Injection simultanée de chlore dans les deux réservoirs d'alimentation

Dans ce scénario, le chlore est simultanément injecté dans les deux réservoirs d'alimentation. Cette approche vise à étudier comment la désinfection conjointe de deux points d'entrée proches peut avoir un impact sur la qualité de l'eau dans l'ensemble du réseau. Les interactions entre les deux points d'injection et la distribution du chlore dans les conduites sont des éléments cruciaux à prendre en compte.

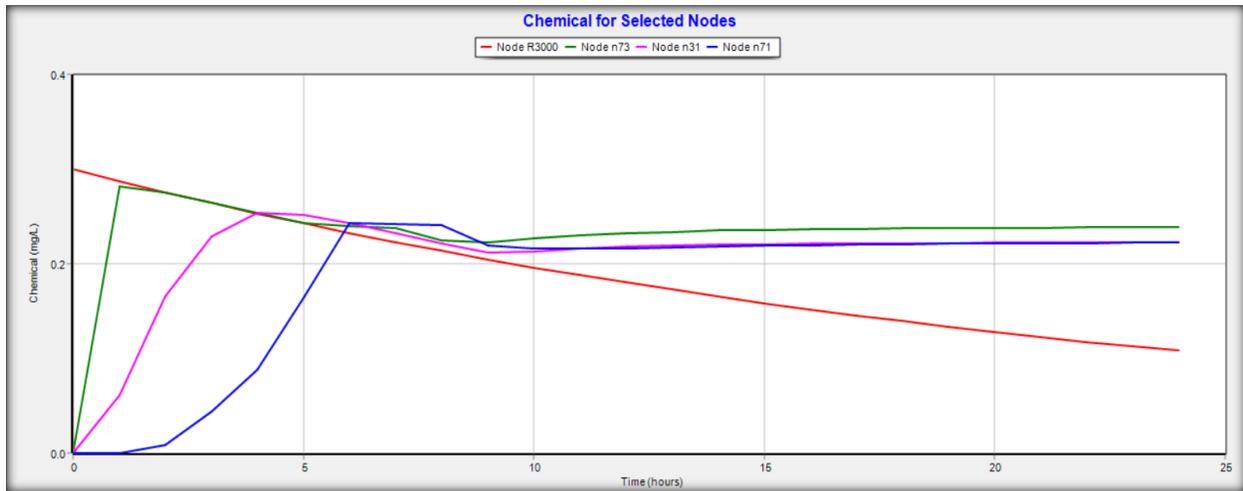
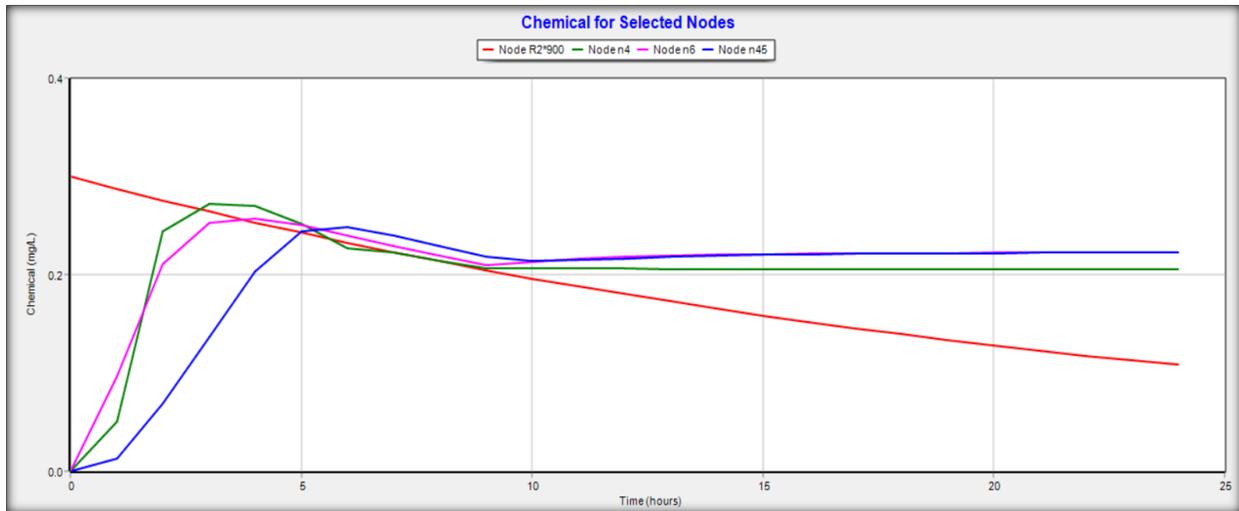


Figure IV-6 : Évolution de la concentration du chlore dans les réservoirs et le réseau en injectant le chlore dans les deux réseaux



**Figure IV-7 : Évolution de la concentration du chlore dans les réservoirs et le réseau en injectant le chlore dans les deux réseaux**

### Commentaires

Pour les réservoirs, nous observons une diminution notable de la concentration, passant de 0,3 à 0,11 au fil du temps.

Pour tous les nœuds étudiés, la concentration du chlore augmente jusqu'à atteindre une stabilisation entre 0,21-0,24 mg/l, ceci implique une désinfection totale du réseau.

### Observation

Les tendances de concentration pour les trois scénarios étudiés sont observées pour les quatre modèles de mélange testés, à savoir le modèle Parfait, le modèle à deux compartiments, le modèle FIFO et le modèle LIFO : la simulation a montré que les courbes de concentration de chlore pour les quatre modèles de mélange sont superposées, ce qui indique que la concentration de chlore dans le réseau est indépendante du modèle de mélange utilisé. Cela peut s'expliquer par le fait que les conditions de la simulation (taille du réseau, débit d'eau et dose de chlore) limitent les différences de concentration de chlore entre les différents modèles de mélange.

### Conclusion

En conclusion, les cas de simulation étudiés de la concentration de chlore dans les réservoirs de "Sebdu" ont montré que :

- L'injection de chlore dans les deux réservoirs d'alimentation demeure le cas optimum car elle assure une désinfection totale du réseau.
- La concentration de chlore dans le réseau est indépendante du modèle de mélange utilisé pour les conditions de simulation étudiées.

## **CONCLUSION GENERALE**

La recherche menée dans le cadre de ce mémoire de master intitulé "L'évolution de la qualité de l'eau dans les réservoirs d'AEP" a permis de mettre en lumière l'importance cruciale des réservoirs d'approvisionnement en eau potable (AEP) dans la sécurisation de la ressource en eau. À travers une exploration approfondie des généralités sur les réservoirs d'AEP, une recherche bibliographique sur la qualité de l'eau dans ces réservoirs, l'analyse de l'évolution de la qualité de l'eau au fil du temps, et une étude spécifique sur les réservoirs de Sebdou, plusieurs conclusions significatives émergent.

Tout d'abord, il est devenu évident que les réservoirs d'AEP sont des éléments fondamentaux des systèmes d'approvisionnement en eau, jouant un rôle crucial dans la régulation, le stockage et la distribution de l'eau potable. Leur gestion efficace est essentielle pour garantir un approvisionnement en eau de qualité et durable.

En parcourant la recherche bibliographique, il a été observé que la qualité de l'eau dans les réservoirs d'AEP est influencée par plusieurs facteurs, à savoir les conditions environnementales, la composition de l'eau entrante, la géométrie du réservoir et les pratiques de gestion. Ces éléments interagissent de manière complexe pour façonner la qualité de l'eau à l'intérieur du réservoir. Comprendre ces facteurs est essentiel pour maintenir une eau de qualité dans les réservoirs.

L'analyse de l'évolution de la qualité de l'eau dans les réservoirs d'AEP a révélé des tendances et des fluctuations qui soulignent l'importance de la surveillance continue de la qualité de l'eau.

L'étude spécifique réalisée dans le cadre de ce mémoire sur les réservoirs de Sebdou a fourni des informations précieuses concernant la qualité de l'eau dans cette région spécifique. Elle a mis en évidence l'évolution du chlore dans les réservoirs d'AEP de Sebdou et examiné l'influence du modèle de mélange sur la distribution de ce désinfectant dans l'eau.

En conclusion, cette étude souligne l'impératif de continuer à explorer et à comprendre les dynamiques complexes qui influencent la qualité de l'eau dans les réservoirs d'approvisionnement en eau potable, afin de mettre en place des stratégies de gestion adaptées et durables pour préserver cette ressource essentielle pour les générations futures.

## Références Bibliographiques et Citations

- Abou-Zeid, M., & El-Nawawy, A. (2010). Impact of water quality monitoring on the operational efficiency of water storage tanks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(6), 609-620.
- Agence de l'eau Seine-Normandie. (2022). *Approvisionnement en eau potable dans le bassin Seine-Normandie : état des lieux et perspectives*. Paris, France : Agence de l'eau Seine-Normandie.
- American Water Works Association. (2023). *Water storage tanks*. Denver, Colorado : American Water Works Association.
- ASCE. (2017). American Water Works Association. *Water Quality and Treatment*. 10th ed. McGraw-Hill Education. (p. 276)
- Association Technique de l'Eau. (2022). *Réservoirs d'eau potable : choix et dimensionnement*. Paris, France : Association Technique de l'Eau.
- Bardin, P.-Y. (2022). *Hydraulique des conduites*. Paris, France : Dunod.
- Charpentier, J.-P. (2022). *Hydraulique des réservoirs*. Paris, France : Dunod.
- El-Khodary, M. A., El-Khodary, A. M., & El-Khodary, M. M. (2022). Evaluation of water quality in a reservoir using mathematical modeling. *Water Resources Management*, 36(3), 1307-1320.
- El-Khodary, M., Abd-El-Aal, F., El-Sherbiny, M., & El-Khodary, M. (2022). Evaluation of drinking water quality in storage tanks. *Water*, 14(9), 2360.
- EPANET 2.2 User Manual
- Gauthier, V., et al. (2000). Impact de la gestion hydraulique d'un réservoir d'eau potable sur la qualité de l'eau distribuée: une étude de cas. *Revue des Sciences de l'Eau*, 13(1), 5-22.
- Grayman, W. M., & Clark, R. M. (1993). Water quality and mixing models for reservoirs. *Water Resources Research*, 29(6), 1501-1514.
- Hannoun, I. A., & Boulos, P. F. (1997). Optimizing distribution storage water quality: A hydrodynamic approach. *Water Resources Management*, 11(4), 287-311.

- Khan, M., Khan, N., & Qazi, S. (2022). Pollution of drinking water reservoirs: An emerging problem. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(14), 13376-13388.
- Leblond, J.-F. (2018). *Réservoirs d'eau potable : conception, construction et exploitation*. Paris, France : Dunod.
- Leblond, J.-F. (2022). *Hydrodynamique des réservoirs*. Paris, France : Dunod.
- Li, Y., Wu, X., & Zhang, Y. (2021). A review of mixing models for water quality in storage tanks. *Journal of Environmental Engineering*, 147(1), 04021001, p. 1-46.
- Li, Y., Zhang, X., & Chen, Y. (2021). Impact of reservoir geometry on water quality in water storage tanks: A review. *Water Science and Technology*, 85(12), 3419-3432.
- Martínez-Solano, J., & Gualtieri, L. (2019). CFD simulation of mixing in drinking water tanks. *Water*, 11(10), 1821.
- Martínez-Solano, P., & Gualtieri, L. (2019). Contamination of drinking water from storage tanks: A review. *Water Research*, 166, 114943.
- Martínez-Solano, R., & Gualtieri, C. (2019). Modelling flow and concentration field in rectangular water tanks. *Water Research*, 160, 114504.
- Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer. (2019). *Guide technique des réservoirs d'eau potable*. Paris, France : Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer.
- Nguyen, T. M., et al. (2022). Impact of tank geometry on water quality in water storage tanks: A review. *Water Science and Technology*, 85(12), 3419-3432.
- OMS. (2006). *Évaporation de l'eau : incidence sur la qualité et la sécurité de l'eau potable*. Genève, Suisse : Organisation mondiale de la santé.
- Smith, J., J. Jones, et M. Brown. (2007). Reservoirs for potable water supply: Design, construction, and maintenance. *Water Resources Research* 43(6):W06402.
- WaterCAD User's Manual. Bentley Systems, Inc. (2023). (p. 129)