

## ***Mémoire de Fin d'Etudes***

Licence Sciences et Techniques

Filière : Eau et Environnement

### **Evaluation de la performance des ouvrages du traitement de la station Rocade - Marrakech**

Par :

**LBSRAOUI Mohammed et NAJI Mohamed Reda**

Encadrant externe : AIT-HMANE Arafa

ONEE BO Station Rocade Marrakech

Encadrant interne : BENKADDOUR Abdelfattah

Faculté de sciences et techniques Marrakech

Année universitaire 2023/2024

## **Tableau de matières :**

### **PARTIE 1 : Présentation de l'ONEE Branche d'eau et la station Rocate au Marrakech**

<b>I. Présentation générale de l'ONEE Branche d'eau</b> .....	11
I.1 Les missions de l'ONEE Branche d'eau .....	11
I.2 L'intervention de l'ONEE Branche d'eau au Maroc .....	12
I.3 Organigramme de l'ONEE Branche d'eau au Maroc .....	12
<b>II. Station de traitement Rocate de la ville Marrakech</b> .....	13
II.1 Les trois tranches de traitement.....	13
II.2 Les services de la station Rocate .....	15
II.3 Laboratoire de la station .....	15

### **PARTIE 2 : Bibliographie**

#### **Chapitre 1 : Eau et ressources hydriques exploitées par la station Rocate (RCD)**

<b>I. Généralité sur l'eau</b> .....	18
I.1 L'eau au Maroc .....	18
I.2 Cycle de l'eau .....	18
<b>II. Ressources en eau</b> .....	19
II.1 Caractéristiques des eaux de surface .....	21
II.2 Caractéristiques des eaux souterraines .....	21
<b>III. Ressources exploitées par la station RCD</b> .....	21
III.1 Canal Rocate (RCD).....	22
III.1.1 Caractéristiques géométriques et hydrauliques du canal RCD .....	22
III.2 Barrage Lalla Takerkoust .....	23

#### **Chapitre 2 : Processus de traitement de l'eau au niveau de la station RCD Marrakech**

<b>I. Captage</b> .....	24
<b>II. Prétraitement</b> .....	24
<b>III. Clarification</b> .....	25
III.1 Débourage .....	25
III.1.1 Débourbeur circulaire.....	26

III.1.2	Débourbeur Lamellaire : .....	26
III.2	Préchloration .....	27
III.3	Coagulation Flocculation .....	27
III.4	Décantation.....	28
III.5	Filtration.....	29
<b>IV.</b>	<b>Désinfection .....</b>	<b>31</b>
<b>V.</b>	<b>Stockage .....</b>	<b>31</b>
<b>VI.</b>	<b>Distribution.....</b>	<b>32</b>

### **PARTIE 3 : Matériels et Méthodes**

<b>I.</b>	<b>Analyses physico-chimiques.....</b>	<b>34</b>
I.1	Mesure de la turbidité.....	34
I.1.1	Mode opératoire .....	34
I.1.2	Normes de turbidité au niveau de la station .....	35
I.2	Mesure du chlore .....	35
I.2.1	Mode opératoire : .....	36

### **Partie 4 : Résultats et Discussion**

<b>I.</b>	<b>Eaux des ouvrages de la station 2 (ST2) Rocade.....</b>	<b>38</b>
I.1	Evolution de la turbidité de l'eau brute .....	38
I.2	Evolution de la turbidité des eaux débourbées.....	39
I.3	Evolution de la turbidité des eaux décantée .....	39
I.4	Evolution de la turbidité des eaux filtrées .....	41
I.4.1	Impact du nombre d'heures du fonctionnement des filtres sur la turbidité.....	41
I.4.2	Impact du niveau de l'eau des filtres de ST2 sur la turbidité.....	43
<b>II.</b>	<b>Eaux dans les ouvrages de la station ST3 .....</b>	<b>45</b>
II.1	Evolution de la turbidité de l'eau brute .....	45
II.2	Evolution de la turbidité des eaux débourbée .....	45
II.3	Evolution de la turbidité des eaux décantée .....	46
II.4	Evolution de la turbidité des eaux filtrée .....	47
II.4.1	Impact de nombre d'heure de fonctionnement des filtres sur la turbidité.....	48

II.4.2	Impact du niveau de l'eau des filtres de ST3 sur la turbidité :.....	49
<b>III.</b>	<b>Etude comparative entre les eaux de ST2 et les eaux de ST3</b> .....	<b>49</b>
III.1	Eaux brutes .....	49
III.1.1	Etude comparative des eaux brutes .....	49
III.1.2	Etude comparative des eaux débouées.....	51
III.1.3	Evaluation de la performance des déboueurs des deux stations ST2 et ST3	52
III.2	Eaux décantées .....	53
III.2.1	Etude comparative des eaux décantées .....	53
III.2.2	Evaluation de la performance des décanteurs ST2 et ST3 .....	54
III.3	Eaux filtrées.....	55
III.3.1	Etude comparative des eaux filtrées .....	55
III.3.2	Evaluation de la performance des filtres entre ST2 et ST3 :.....	57

## Liste des figures

Figure 1 : Organigramme de l'ONEE BO .....	12
Figure 2 : Photo de la Station Rocade à Marrakech (Site1) .....	13
Figure 3 : Cycle de l'eau (Mazor,1997) .....	19
Figure 4 : Schéma représentant les eaux de surface (Site2) .....	20
Figure 5 : Schéma représentant les eaux souterraines (Site3) .....	21
Figure 6 : Image représente le canal Rocade Marrakech (Site4) .....	22
Figure 7 : Morphologie du canal Rocade .....	23
Figure 8 : Barrage de Lalla Takerkoust (Site5) .....	24
Figure 9 : Schéma des étapes de traitement des eaux dans la station Rocade Marrakech .....	24
Figure 10 : Aspect du débourbeur circulaire de la station Rocade (26 April 2024) .....	26
Figure 11 : Aspect du débourbeur lamellaire de la station Rocade (26 April 2024) .....	26
Figure 12 : Processus de Coagulation, Flocculation (Site6) .....	28
Figure 13 : Schéma de la décantation (Madani,2017 In : Maref,2019) .....	29
Figure 19 : Comparateur de chlore .....	36
Figure 20 : Comprimés de chlore DPD .....	35
Figure 21 : Variations journalière de turbidité des eaux brutes de ST2 .....	39
Figure 22 : Variations journalière de la turbidité des eaux débourbées de ST2 .....	39
Figure 23 : Variations journalière de la turbidité des eaux décantées de ST2 .....	40
Figure 24 : Turbidité journalière des filtres de ST2 .....	41
Figure 25 : Filtre en train de retro-lavage .....	42
Figure 26 : Turbidité en fonction du temps du fonctionnement des filtres 1 et 5 .....	43
Figure 27 : Photos représentant les différents niveaux d'eau dans les filtres .....	44
Figure 28 : Impact du niveau de l'eau des filtres sur la turbidité au niveau de ST2 .....	44
Figure 29 : Variations journalière de la turbidité des eaux brutes de ST3 .....	45
Figure 30 : Turbidité journalière des eaux débourbées au niveau de la station ST3 .....	46
Figure 31 : Turbidité journalière des eaux décantées au niveau de la station ST3 .....	47
Figure 32 : Turbidité journalière des filtres de ST3 .....	48
Figure 33 : Turbidité en fonction des heures de fonctionnement des filtres 1 et 6 .....	49
Figure 34 : Impact du niveau de l'eau des filtres sur la turbidité dans ST3 .....	49
Figure 35 : Variations journalière de la turbidité des eaux brutes de ST2 et ST3 .....	50
Figure 36 : Variations journalière de la turbidité des eaux débourbées de ST2 et ST3 .....	52
Figure 37 : Variations journalière de la turbidité des eaux décantées de ST2 et ST3 .....	54

## Liste des abréviations

**ONE** : Office National de l'Electricité

**ONEP** : Office Nationale de l'Eau Potable.

**BO** : Branche d'eau

**MES** : Matières En Suspension.

**EB** : Eau Brute.

**E. dec** : Eau Décantée

**E. deb** : Eau Débourbée

**CLR** : Chlore Résiduel Libre

**pH** : potentiel d'Hydrogène.

**NTU** : Unité de Turbidité Néphélométrique.

**ST1** : Station de Traitement 1

**ST2** : Station de Traitement 2

**ST3** : Station de Traitement 3

**AEP** : Alimentation en Eau Potable

**DEB1** : Débourbeur 1

**DEB2** : Débourbeur 2

**DEC 1** : Décanteur 1

**DEC 2** : Décanteur 2

**RCD** : Rcade

## *Dédicace*

Ce modeste travail est dédié à ceux qui quelques soient les termes embrassés on n'arriverait jamais à leur exprimer notre amour sincère.

A ceux qui ont souffert sans nous laisser souffrir, ceux qui n'ont épargné aucun effort pour nous rendre heureux, aux personnes les plus dignes de notre estime et notre respect : Nos chers parents.

A nos sœurs et frères qui n'ont pas cessé de nous conseiller et nous soutenir tout au long de notre cursus.

Aux moments d'échec, aux obstacles et aux périodes d'anéantissement qui nous ont appris que la réussite appartient à ceux qui n'abandonnent jamais.

A vous chers lecteurs

## *Remerciement*

Avant tout, nous tenons à exprimer notre gratitude au bon **Dieu** Tout-Puissant pour nous avoir accordé la santé, la patience et le courage nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

Avant de développer cette expérience professionnelle, il est important de commencer ce rapport de stage par des remerciements sincères. Nous adressons notre reconnaissance à ceux qui nous ont beaucoup appris au cours de ce stage et à ceux qui ont rendu ce moment très enrichissant.

Nous remercions chaleureusement **M. Aguersif Abdelali**, Chef secteur de production Marrakech-Kelaa De Sraghna-Skhour Rhamna, pour avoir accepté notre demande de stage au sein de l'Office National de l'Électricité et de l'Eau Potable (ONEE-BO). Nous exprimons également notre profonde gratitude au **Dr. Ait-Hmane Arafa** et à **Pr. Benkaddour Abdelfattah** pour leur encadrement patient et pédagogique tout au long de cette période de stage. Nous remercions également l'ensemble des employés de l'ONEE-BO pour leurs précieux conseils au cours de ce mois.

Je tiens à remercier les membres du jury d'avoir accepté d'examiner notre sujet de PFE dans le cadre de notre stage.

Enfin, nous tenons à remercier toute l'équipe pédagogique de notre Université Cadi Ayyad FST Marrakech pour leur encadrement et leur soutien bienveillant.

## *Résumé*

Ce projet de fin d'études porte sur l'évaluation de la performance des ouvrages de deux stations du traitement des eaux des deux stations Rocade ST2 et ST3. Le principal travail de ce travail porte sur des mesures et des comparaisons de la turbidité et des concentrations en chlore dans chacune de ces stations. Ceci, afin de déterminer leur efficacité respective.

Pour ce faire, nous avons effectué des mesures régulières de la turbidité et du chlore dans les deux stations. La turbidité, indicatrice de la clarté de l'eau, et la concentration de chlore, permettant d'évaluer le degré de la désinfection, sont des paramètres cruciaux pour évaluer la qualité de l'eau traitée.

Les résultats sont révélés que la station ST3 présente des performances supérieures par rapport à la station ST2. En particulier, ST3 a montré une turbidité plus faible et une concentration de chlore mieux régulée, indiquant une meilleure capacité de traitement et de purification de l'eau.

Ces résultats suggèrent que les techniques et les équipements utilisés au niveau de la station ST3 sont plus efficaces et ils offrent des pistes pour améliorer les performances de la station ST2. Cette étude apporte ainsi des recommandations précieuses pour l'optimisation des processus de traitement de l'eau dans les deux stations.

# *Introduction générale*

L'eau est essentielle à la vie sur Terre et constitue un bien commun universel. Cependant, il est du devoir de chacun de protéger cette ressource et de veiller à son utilisation rationnelle dans l'intérêt de tous. Malheureusement, l'eau présente à l'état naturel n'est pas directement appropriée à la consommation humaine ou à l'industrie en raison de son manque de pureté. Même si elle peut sembler limpide, elle contient diverses substances inertes et vivantes, dont certaines peuvent être nuisibles pour l'organisme humain. Ces substances proviennent soit de l'environnement naturel, soit des rejets de certaines activités humaines. L'eau est donc un vecteur de transmission privilégié pour de nombreuses maladies. La présence de diverses impuretés nécessite le traitement de l'eau. Afin d'obtenir de l'eau potable à partir de sources d'eau douce, il est nécessaire de lui faire subir des traitements spécifiques conformes aux normes de potabilité. Ainsi, nous devons éliminer les impuretés, les bactéries et même les concentrations excessives de minéraux afin de la rendre potable et sans danger pour la consommation humaine.

L'objectif de ce présent travail est de réaliser des suivis relatifs à la turbidité de l'eau et des concentrations en chlore. Ceci afin d'évaluer les performances des ouvrages de traitements des deux station Rocade ST2 et ST

Ce rapport est structuré en quatre grandes parties :

- **1<sup>ère</sup> partie** : Présentation de l'ONEE branche d'eau et la station Rocade Marrakech ;
- **2<sup>ème</sup> partie** : Bibliographie consacré aux généralités de l'eau ;
- **3<sup>ème</sup> partie** : Matériels et méthodes utilisées ainsi que
- **4<sup>ème</sup> partie** : Présentation des résultats obtenus et leurs comparaisons avec l'évaluation.

## **PARTIE 1 :**

# **Présentation de l'ONEE Branche d'eau et la station Rocade au Marrakech**

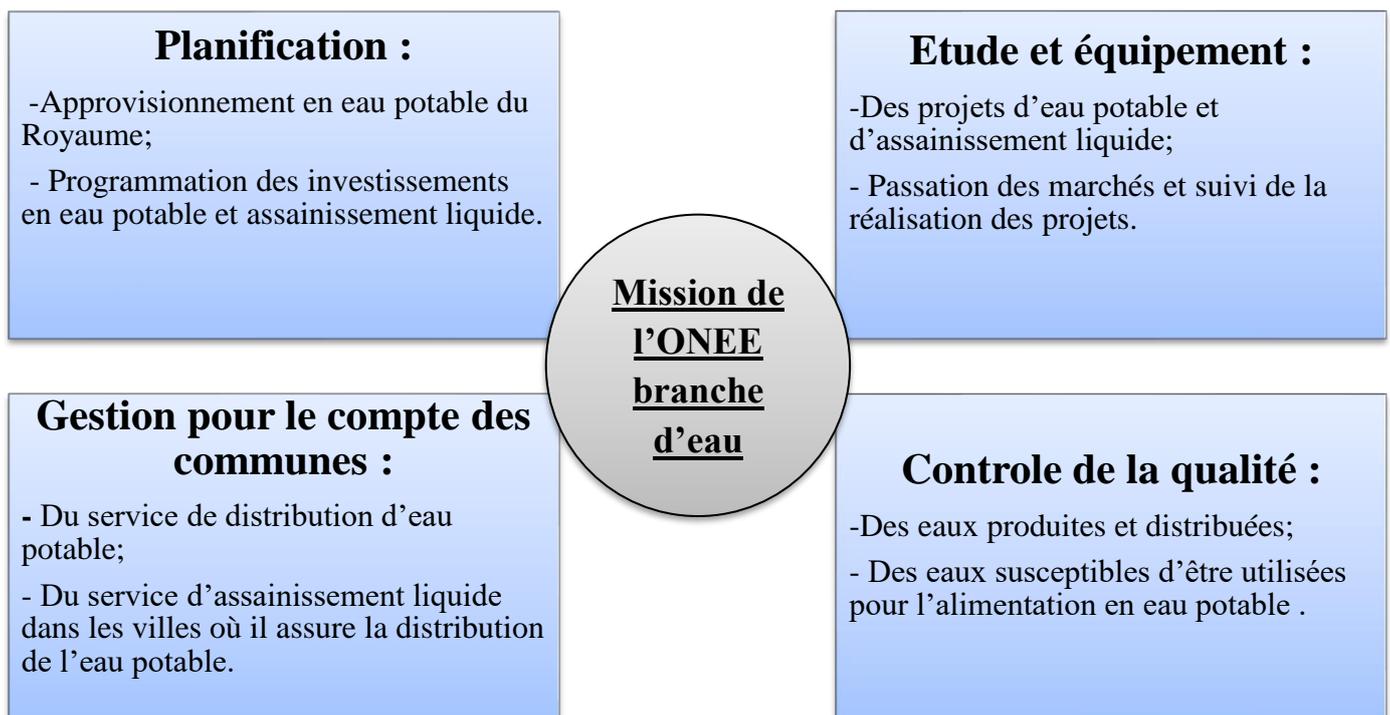
## I. Présentation générale de l'ONEE Branche d'eau

L'Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable (ONEE) est une référence pour le développement durable au Maroc. Il est le pilier de la stratégie énergétique et bras armé de l'Etat dans le secteur de l'eau et de l'assainissement dans le royaume. Depuis le milieu des années 1990, l'office est sur tous les fronts : généralisation de l'accès à l'électricité et à l'eau potable, épuration des eaux usées et développement du service de l'assainissement liquide, modernisation et élargissement des réseaux de production, de commercialisation et de distribution des ressources électriques et hydrauliques lutte contre le gaspillage et vise l'implémentation de nouveaux instruments et techniques d'économies de l'eau et d'électricité.

L'ONEE né du regroupement en 2012 de l'Office National de l'Electricité (ONE) créée en 1963 et l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) créée en 1972 s'investit pleinement dans de grands projets structurants pour le Maroc, le dotant d'infrastructures de production, transport et de distribution d'électricité et d'eau ainsi que d'épuration des eaux usées indispensables au développement durable du pays.

### I.1 Les missions de l'ONEE Branche d'eau

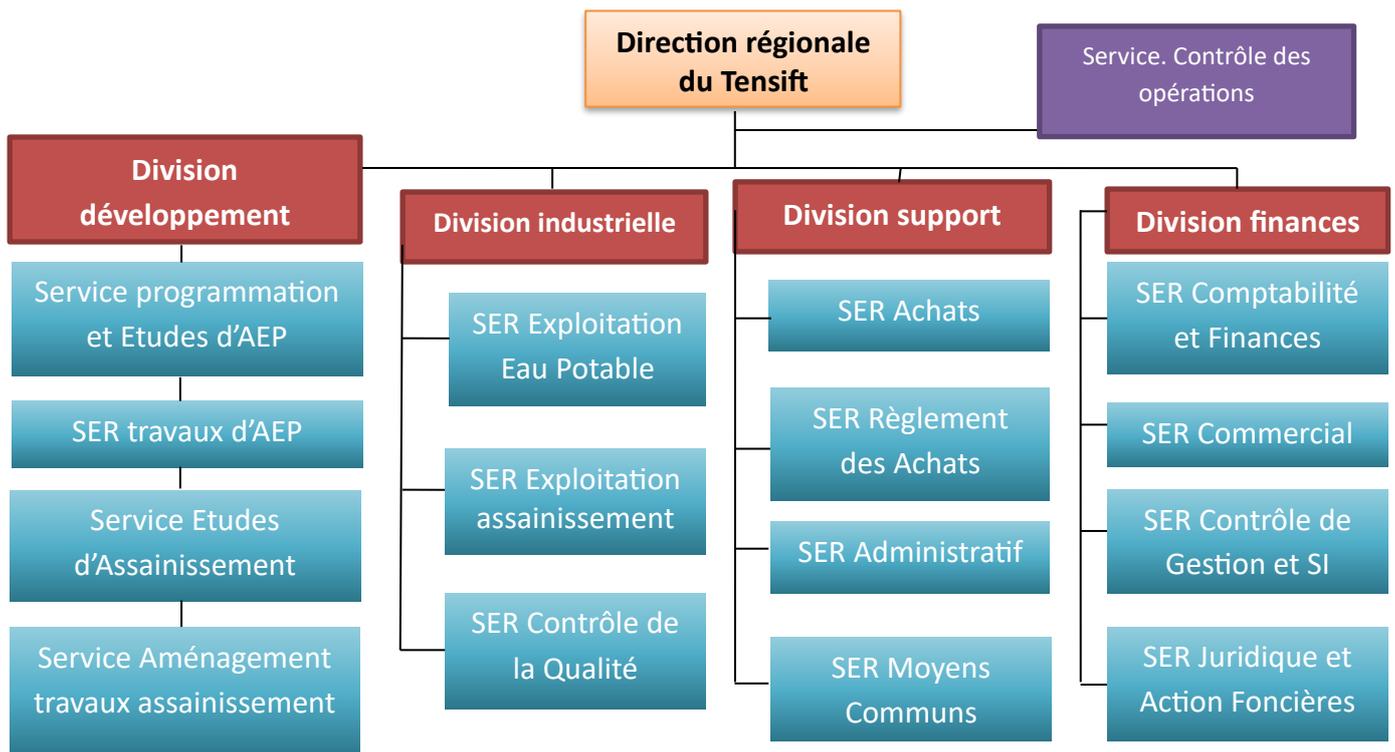
Les missions de l'Office dans le domaine de l'eau potable et l'assainissement consistent en



## I.2 L'intervention de l'ONEE Branche d'eau au Maroc

- ✓ **La production en eau potable** : L'ONEE assure 80% de la production de l'eau potable au niveau du royaume.
- ✓ **La distribution en milieu urbain** : L'ONEE assure la distribution d'eau potable dans plus de 459 villes et centres du royaume regroupant une population de 5,9 millions d'habitats.
- ✓ **L'ONEE première distributeur du pays depuis 2007.**
- ✓ **L'AEP rurale** : Généralisation de l'accès à l'eau potable dans tout le pays avec objectif d'atteindre plus de 90% et Gestion du service assainissement liquide dans les villes où il assure la distribution de l'eau potable

## I.3 Organigramme de l'ONEE Branche d'eau au Maroc



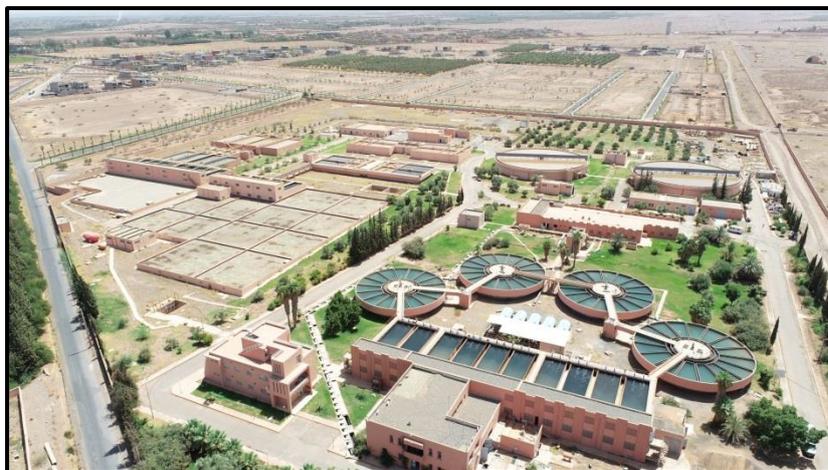
*Figure 1 : Organigramme de l'ONEE BO*

## II. Station de traitement Rocade de la ville Marrakech

La station Rocade Marrakech (Fig. 2) désigne un point d'infrastructure de traitement des eaux situé à Marrakech, au Maroc. Cette station comprend trois tranches ou sections de traitement qui remplissent la même fonction et maintiennent la même qualité de traitement de l'eau, avec une concentration de 50 grammes par litre de matière en suspension. Cependant, elles se différencient par leur capacité de traitement, c'est-à-dire leur débit.

Ces stations de traitement sont alimentées par les eaux brutes provenant par deux sources **CANAL ROCADE** et **BARRAGE TAKERKOUST**. Après traitement, ces eaux sont finalement distribuées aux villes de Marrakech et aux centres environnants. Le débit total de distribution est de 51 millions de mètres cubes d'eau.

La station Rocade Marrakech joue donc un rôle crucial dans le traitement et la distribution d'eau potable pour la ville de Marrakech et ses environs, assurant ainsi un approvisionnement en eau de qualité suffisant pour répondre aux besoins des habitants et des activités locales.



*Figure 2 : Photo de la Station Rocade à Marrakech (Site1)*

### II.1 Les trois tranches de traitement

<b>Stations</b>	<b>Année</b>	<b>Débit (L/s)</b>
<b>Station 1</b>	<b>1983</b>	<b>1500</b>
<b>Station 2</b>	<b>2007</b>	<b>700 à 900</b>
<b>Station 3</b>	<b>2012</b>	<b>1050</b>

## Station 1 :

La première station contient les ouvrages suivants :

- ✓ 1<sup>er</sup> ouvrage d'arrivée d'eau de **100m<sup>3</sup>** comporte une chambre de dissipation d'énergie et deux déversoirs entre les fils de traitement. On peut ajouter le polymère.
- ✓ Deux débourbeurs circulaires avec racleur de capacité de **10000 m<sup>3</sup>**.
- ✓ 2<sup>ème</sup> ouvrage de **90 m<sup>3</sup>** dans lequel on injecte des réactifs (sulfate d'alumine, pré chloration, charbon actif).
- ✓ Quatre décanteurs à recirculation de boues par turbine de **2000m<sup>3</sup>**.
- ✓ **Dix filtres à sable** d'une surface unitaire comportant :
  - Un plancher constitué de dalles béton assemblées qui contient des trous dans ces derniers on pose des **buselures** qui ont pour rôle de faire passer de l'eau et empêcher le passage du sable.
  - Un filtrant de **85 cm** de sable granulométrie de **0,95 mm**.
  - Un matelas d'eau de **81cm** au-dessus du sable pour éviter le dégazage en période chaude.
  - Les filtres sont utilisés à un débit variant de **375 à 550 m<sup>3</sup> /h**.
  - La vitesse de filtration à débit nominal est de **5,95 m<sup>3</sup>/h**.
- ✓ Station de pompage eau de lavage SPEL.

## Station 2 :

La deuxième station comporte les ouvrages suivants :

- ✓ Un ouvrage d'arrivée d'eau brute assurant la répartition de l'eau entre les deux files ;
- ✓ Deux débourbeurs lamellaires dont la capacité de traitement allant jusqu'à **50g/l** en matière en suspension MES ;
- ✓ 2<sup>ème</sup> ouvrage dans lequel on injecte des réactifs comme le sulfate d'alumine... ;
- ✓ Deux décanteurs lamellaires ;

- ✓ Une batterie de six filtres à sable ;
- ✓ Un réservoir d'eau traitée de **20000m<sup>3</sup>** ;
- ✓ Une situation de recyclage des eaux de lavage ;
- ✓ Une station de pompage de la boue ;
- ✓ Deux épaisseurs pour le traitement des boues englobant les stations 1 et 2.

### **Station 3 :**

Elle comporte les ouvrages suivants :

- ✓ Un ouvrage d'arrivée d'eau brute assurant la répartition de l'eau entre les deux files ;
- ✓ Deux débourbeurs lamellaires ;
- ✓ 2ème ouvrage dans lequel on injecte les réactifs précités ;
- ✓ Deux décanteurs lamellaires ;
- ✓ Dix filtres à sable ;
- ✓ Un réservoir d'eau traité de **10000m<sup>3</sup>** ;
- ✓ Une situation de recyclage des eaux de lavage ;
- ✓ Une station de pompage de la boue ;
- ✓ Un épaisseur circulaire pour le traitement des boues.

## **II.2 Les services de la station Rocade**

Le fonctionnement de la station est assuré par trois services :

- **Les laboratoires (contrôle de la qualité) ;**
- **Les équipes de quart (exploitation) ;**
- **Les équipes d'entretien (maintenance).**

## **II.3 Laboratoire de la station**

Au sein de L'ONEE, existe un laboratoire qui contient des appareils et matériels de contrôle de la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau destinée à la consommation et de l'eau potable.

# **PARTIE 2 :**

# **Bibliographie**

# **Chapitre 1 : Eau et Ressources hydriques Exploitées par la Station Rocade (RCD)**

## **I. Généralité sur l'eau**

L'eau est une substance liquide incolore est une substance chimique constituée de molécules composées chacune de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène (H<sub>2</sub>O). Elle est inodore et insipide et essentielle à la vie sur Terre. Elle est partout, fondamentale pour la biosphère, jouant un rôle crucial dans les processus biologiques, chimiques et environnementaux. L'eau passe par un cycle très caractéristique qui dépend de plusieurs facteurs et plusieurs milieux (Bliefert, 2009 In : Outini et Eddahbi, 2023,).

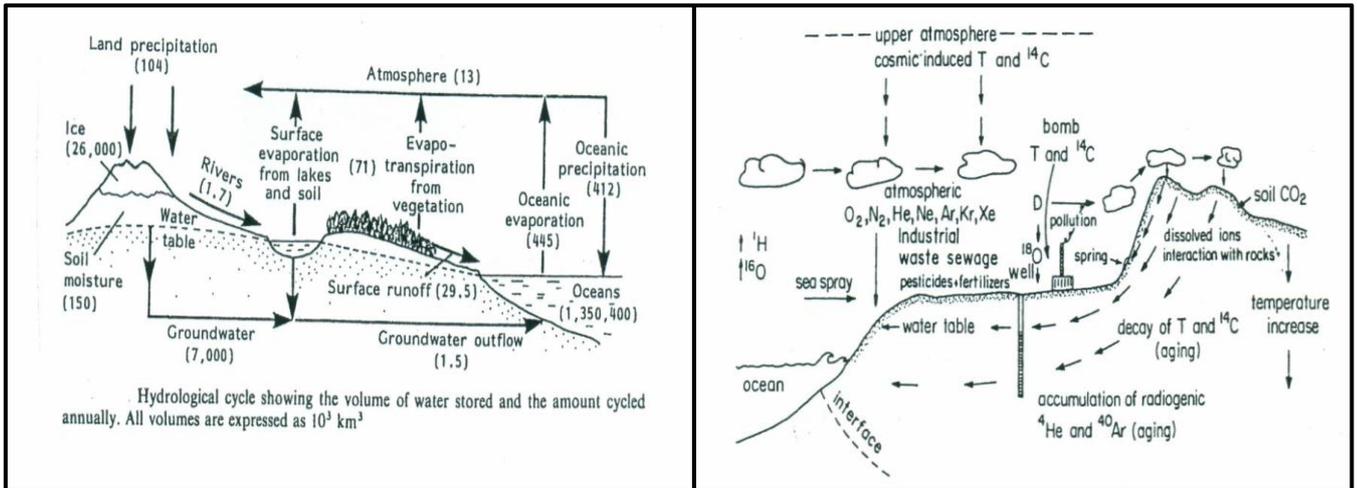
### **I.1 L'eau dans le Maroc**

Le Maroc est un pays riche en ressources hydriques (Barrages, Lacs, rivières, Oueds...Etc.), accessibles comme ressource, utile et disponible pour l'être humain, malgré le retard des précipitations. Cependant, chacune de ces ressources se trouve polluée en éléments toxiques en particulier les métaux lourds, le manganèse comme exemple, alors pour être exploitable, les eaux brutes doivent répondre à des critères de qualité fixés par la réglementation et ne doit pas dépasser les normes de potabilité.

### **I.2 Cycle de l'eau**

L'eau recouvrant 72% de la surface de la terre, et représentant une réserve totale de 1350 milliards de m<sup>3</sup> dans la biosphère.

La source principale d'eau douce provient de l'évaporation, sous l'effet du soleil, des océans, rivières et des lacs, ainsi que l'évapotranspiration des végétaux. Cette vapeur d'eau se condense dans l'atmosphère, retombe sous forme de précipitations pluvieuses ou neigeuses et parvient aux cours d'eau soit, directement par ruissellement ou indirectement par infiltration soit par stockage dans les nappes, les puits et les restitutions aux cours d'eau à la faveur des exigences (Fig. 3).



**Figure 3 : Cycle de l'eau (Mazor,1997)**

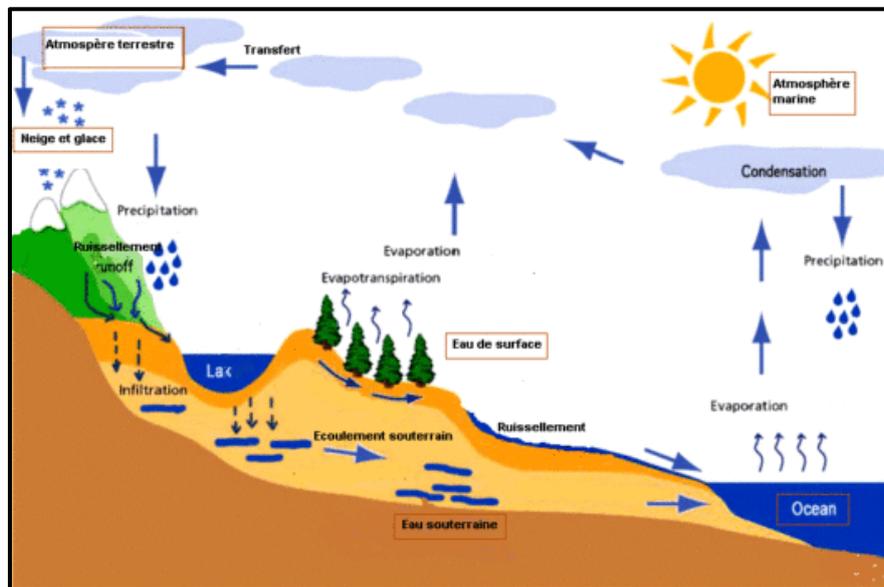
Une eau qui semble claire et limpide peut transporter en son sein toutes sortes de substances inertes et vivantes, dont certaines peuvent être nocives pour l'organisme humain. C'est pourquoi toutes les eaux dans la nature ne sont pas bonnes à boire. Ainsi, l'eau peut être le vecteur de nombreuses maladies qu'elles soient bactériennes, virales ou parasitaires qui causent des intoxications et des troubles sur la santé. « Nous buvons 90 % de nos maladies », disait Louis Pasteur à la fin du XIXe siècle.

## II. Ressources en eau

Il existe un grand nombre de sources potentielles utilisées comme eau potable, étant donné que l'eau recouvre plus de 70% de la surface de la terre. Cependant, plus de 97% de l'eau terrestre est constituée d'eau salée et d'eau de mer, et en excluant l'eau gelée dans les glaciers, moins de 1% de l'eau de la terre est de l'eau douce disponible pour la consommation humaine. Les types d'eau utilisés habituellement pour la consommation humaine sont les suivantes :

**Eaux de surface (Fig. 4) :** les eaux qui sont en contact direct avec l'atmosphère et qui peuvent être en mouvement, soit stagnantes, sont connues sous le nom « eaux de surface » ou « eaux superficielles ». La salinité de ces eaux varie selon leur emplacement géographique, allant de l'eau douce à l'eau saumâtre ou salée (Degrémont, 2005). Parmi les eaux de surface, on peut citer :

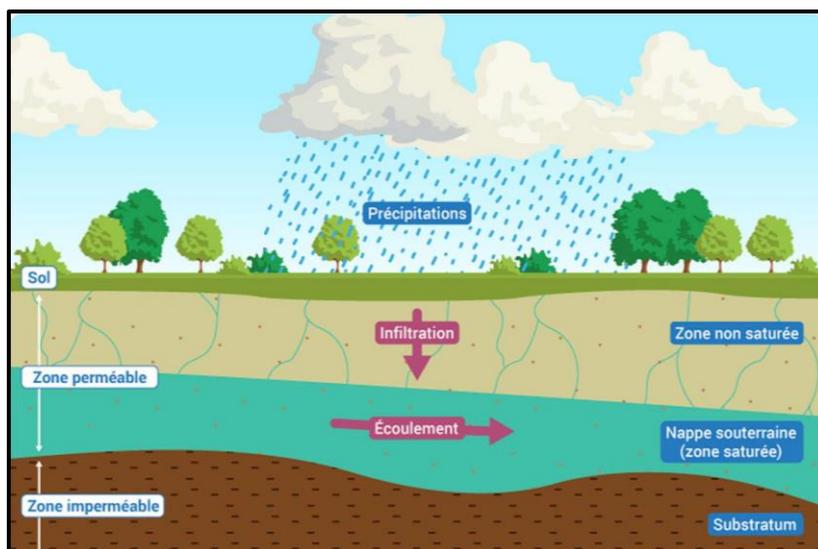
- ✓ Les rivières, les lacs, les fleuves, les ruisseaux, les cours d'eau,
- ✓ Les eaux de ruissellement (eaux de pluies)
- ✓ Les réservoirs, les lacs de barrage, les océans et les mers, les eaux côtières
- ✓ Les zones humides, également connues sous le nom d'eaux et de transition, désignent toutes
- ✓ Les étendues d'eau situées à proximité des embouchures de rivières ou de fleuves. Elles comprennent des habitats tels que les estuaires, les vasières, les marais côtiers, les lagunes, les mares et les zones adjacentes aux lacs.



*Figure 4 : Schéma représentant les eaux de surface (Site2)*

**Eaux souterraines (Fig. 5) :** correspondent aux réserves d'eau qui se situent sous la surface du sol et qui sont collectées à partir de forage ou de puits. Les nappes phréatiques sont les plus proches de la surface et sont donc les plus facilement accessibles pour les activités humaines (Degremont, 2005 In : Outini et Eddahbi, 2023). Les pourcentages d'utilisation se répartissent comme suit :

- ✓ 65% pour l'irrigation
- ✓ 25% pour l'eau potable
- ✓ 10% pour l'industrie



*Figure 5 : Schéma représentant les eaux souterraines (Site3)*

## II.1 Caractéristiques des eaux de surface

La principale raison de l'utilisation des eaux de surface pour la production d'eau potable est leur accessibilité. Cependant, ces eaux contiennent souvent des matières en suspension, en quantité importante, nécessitant une étape de traitement plus ou moins complexe pour les éliminer, telle que la coagulation- floculation qui implique l'utilisation de réactifs. De plus, leur composition varie au fil du temps et avec les saisons, ce qui est une particularité à prendre en compte.

## II.2 Caractéristiques des eaux souterraines

Les eaux souterraines représentent une source d'eau potable privilégiée en raison de leur pureté microbiologique, de leur faible turbidité et de la stabilité de leur composition chimique. Cependant, leur composition varie en fonction de la nature géologique du sol dans lequel elles se trouvent, et la présence de certains éléments dissous en grande quantité peut nécessiter un traitement coûteux, tel que l'osmose inverse pour réduire la salinité.

## III. Ressources exploitées par la station RCD

Au niveau de la ville de Marrakech, l'ONEE exploite les ressources d'eau provenant du **canal Rcade** et du **barrage de Lalla Takerkoust**.

### III.1 Canal Rocado (RCD)

La prise d'eau sur le canal Rocado (Fig. 6) est commencée en 1982. Le canal est construit initialement pour l'irrigation des champs agricoles à partir du barrage SIDI DRISS, ce dernier est alimenté par l'eau exploitée dans la production de l'électricité dans le barrage Hassan 1er. Le canal Rocado est la ressource principale d'eau brute et se situe à l'aval de barrage de SIDI DRISS, il existe à une distance de 1.7 km de la station de traitement, l'eau coule gravitairement grâce à la différence de niveau qui égale à 25 m.

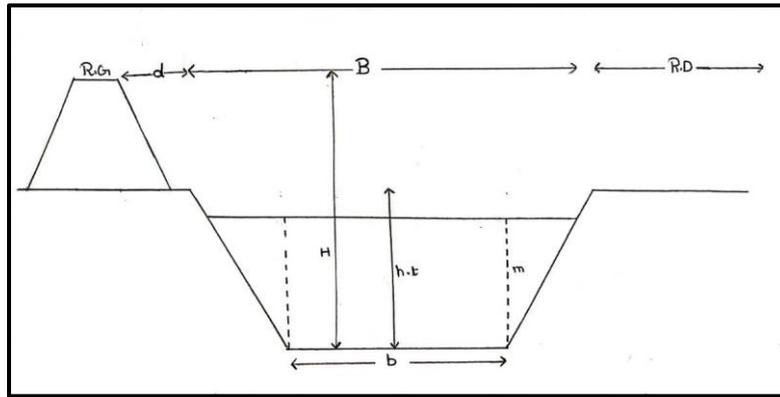
Ce canal a pour but de l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech et en eau d'irrigation du grand hydraulique du Haouz Central.



*Figure 6 : Photo représentant le canal Rocado Marrakech (Site4)*

#### III.1.1 Caractéristiques géométriques et hydrauliques de canal RCD

Le canal Rocado dont les terrassements ont démarré en **1953**, est l'un des principaux adducteurs du Haouz central. Il présente une section trapézoïdale (Fig. 7) et a une longueur totale de **118 km**. Il permet le transfert vers le Haouz central d'un volume moyen annuel de **300Mm<sup>3</sup>** à partir du barrage Sidi Driss avec un débit moyen de **20 m<sup>3</sup>/s**.



- D** : distance entre la piste et la bordure du canal.
- B** : largeur du canal en haut.
- H** : hauteur de la piste par rapport au niveau 0 du canal.
- H.t** : hauteur du canal.
- M** : pente des talus.
- b** : largeur du canal à la base.
- R. D** : rive droite.
- R. G** : rive gauche.

*Figure 7 : Morphologie du canal Rocate*

### III.2 Barrage Lalla Takerkoust

Le barrage Lalla Takerkoust (Fig. 8) situé à environ 35 Km au Sud-Ouest de Marrakech, a été construit entre 1929 et 1935 pour l'irrigation et la production d'énergie électrique. Il est construit sur l'oued N'fis qui prend sa source dans la chaîne du haut Atlas et qui est un affluent de l'oued Tensift traversant d'Est en Ouest l'immense plaine alluviale du Haouz de Marrakech d'une superficie d'environ 6.000 Km<sup>2</sup>.

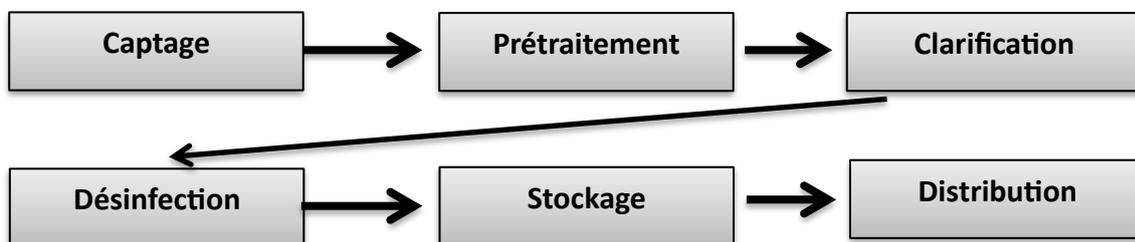
Le barrage existe à une distance de 35km de station, c'est la ressource de secours en cas d'une charge ou un entretien au niveau du canal Rocate, l'eau pompée par une station de pompage de trois pompes en parallèle à un réservoir avec un ballon de protection anti-bélier installé sur la conduite de refoulement. Puis, il arrive gravitairement à la station de traitement par une conduite de 1000mm de débit de  $Q=1250$  l/s et contient aussi une vanne de sectionnement et une autre vanne de régularisation pour la régulation de débit la station et aussi une ventouse (Aht-Resing, 2016).



*Figure 8 : Barrage de Lalla Takerkoust (Site5)*

## **Chapitre 2 : Processus de traitement de l'eau au niveau de la station RCD Marrakech**

Le traitement de l'eau dépend de la qualité et l'origine de l'eau brute, la station de traitement Rocade effectue le traitement de l'eau comme suit :



*Figure 9 : Schéma des étapes de traitement des eaux dans la station Rocade Marrakech*

### **I. Captage**

La station de traitement Rocade est alimenté par le canal Rocade et le barrage Lalla Takerkoust.

### **II. Prétraitement**

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations uniquement physiques ou mécaniques.

### ➤ Dégrillage

Cette opération vise à retirer les particules grossières des eaux traitées pour protéger les équipements et faciliter les étapes suivantes du traitement. Ces particules solides grossières peuvent obstruer les canalisations, endommager les équipements et nuire à l'efficacité des processus de traitement ultérieurs.

Le processus de dégrillage implique généralement l'utilisation de grilles, qui sont des barres parallèles espacées à intervalles réguliers. L'eau brute est acheminée à travers les grilles, où les déchets solides sont piégés et retenus (Germein et al, 2012 In : Outini et Eddahbi, 2023).

Le nettoyage quotidien des dégrilleurs est une opération indispensable au bon fonctionnement de l'installation. Il existe deux types de dégrillage, manuel et mécanique.

## III. Clarification

Cette étape a pour but d'éliminer les MES (matières en suspension) minérales et organiques d'une eau brute ainsi qu'une partie des matières organiques dissoutes, fraction floculée.

### III.1 Débourbage

Le débourbage est une opération qui précède la coagulation-floculation, lorsque la ressource est très fortement chargée en MES.

Les débourbeurs d'où l'objectif vise à séparer les particules lourdes en suspension dans l'eau. L'eau entre au centre du débourbeur et descend le long d'une jupe métallique de **2 m** de haut. Les particules plus lourdes se déposent au fond, tandis que les eaux moins chargées remontent à la surface. C'est à dire éliminer la plupart des matières en suspension de l'eau brute et à les évacuer sous forme de boues concentrées (Document ONEP, 2018).

Plusieurs types d'ouvrage sont conçus pour l'opération de débouillage notamment :

### III.1.1 Débouilleur circulaire

Ce type de débouilleur (Fig. 10) est généralement conçu pour traiter des charges en matières en suspension allant jusqu'à 50 g/l.



*Figure 10 : Aspect du débouilleur circulaire de la station Rocade (26 April 2024)*

### III.1.2 Débouilleur Lamellaire :

Est un ouvrage rectangulaire ou carré (Fig. 11), doté d'un fond conique équipé de lamelles et d'un racleur, appelé herse. La conception de ce type de débouilleur permet de traiter des charges en matières en suspension allant jusqu'à environ 20 g/l. Le débouilleur est équipé de purge automatique permettant l'extraction des boues excédentaires.



*Figure 11 : Aspect du débouilleur lamellaire de la station Rocade (26 April 2024)*

## III.2 Préchloration

Au niveau de l'ouvrage d'arrivée 2, on procède à l'étape de chloration en injectant du chlore. Cette étape vise à détruire les matières organiques et à faciliter le processus de coagulation-floculation dans le traitement de l'eau. L'objectif principal de la chloration dans le traitement de l'eau potable est de désinfecter l'eau en éliminant les micro-organismes pathogènes, ce qui contribue à prévenir les maladies d'origine hydrique. Le chlore est largement utilisé à cet effet en raison de son efficacité à éliminer les micro-organismes présents dans l'eau. En général, le chlore est introduit sous forme gazeuse ( $Cl_2$ ) pour la désinfection.

## III.3 Coagulation Floculation

Le principe de cette étape est d'éliminer les particules colloïdales. Elle s'effectue en deux temps : On injecte d'abord dans l'eau des réactifs chimiques tels que Sulfate d'alumine et Poly électrolyse anionique qui provoque la coagulation des particules. Ces produits chimiques s'appellent des coagulants. La charge positive du coagulant neutralise la charge négative des particules dissoutes et suspendues dans l'eau. Ces particules s'agglomèrent les unes aux autres et forment des "flocons" : c'est la floculation (Fig. 12).

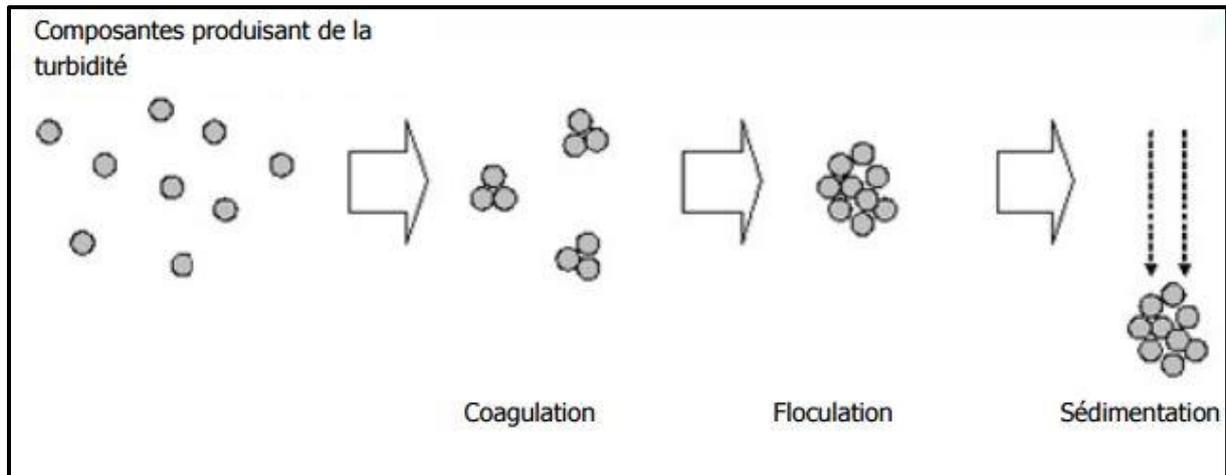
Les colloïdes déchargés sont alors adsorbés sur les précipites, l'ensemble forme un floc qui tombe très lentement (Degrémont, 2005 In : Outini et Eddahbi, 2023)

Le poids du floc formé Ce grossissement est obtenu par la création d'une turbulence modérée favorisant la collision entre les particules de floc. Ces turbulences sont créées au moyen d'agitateur mécanique installé dans des bassins. Ces "flocons" sont plus lourds que l'eau, se déposent au fond d'un bassin de décantation et sont évacués régulièrement sous forme de boues.

Cette agitation peut aussi comme on le verra plus loin, avoir lieu au sein même certain type de décanteur (Degrémont, 2005 In : Outini et Eddahbi, 2023).

Lorsque qu'un coagulant est ajouté à l'eau il est rapidement mélangé de sorte qu'il soit distribué partout dans l'eau. La coagulation peut enlever un grand nombre des particules organiques. La coagulation peut également enlever les particules suspendues, y compris les

précipités inorganiques, tel que le fer et le carbone organique dissout peut donner une odeur et un gout à l'eau désagréable.



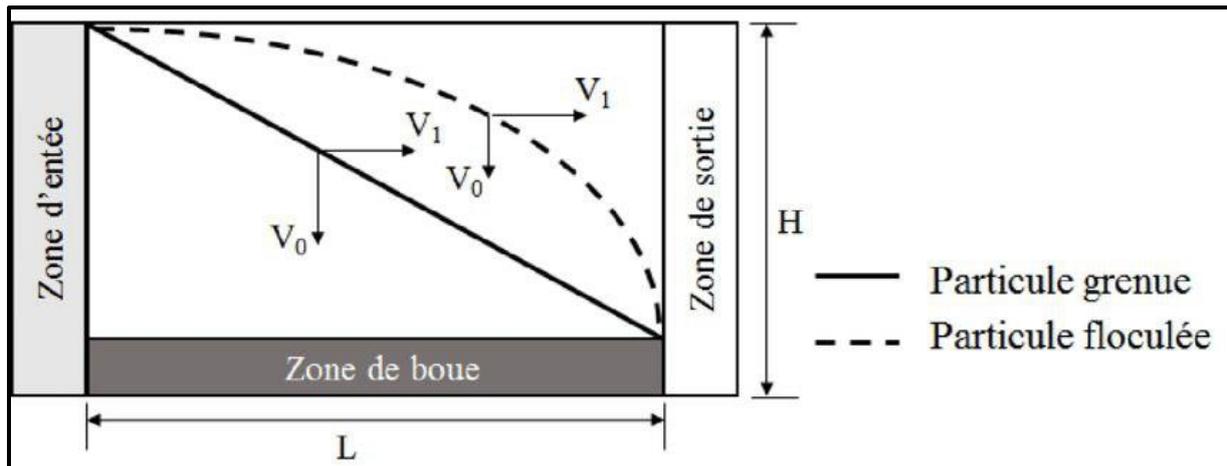
*Figure 12 : Processus de Coagulation, Flocculation (Site 6)*

### III.4 Décantation

Après avoir rassemblé les différentes petites particules en beaucoup plus grosses, il va maintenant falloir faire décanter tout ceci. Dans un corps d'eau immobile les particules en suspension plus lourdes que l'eau sont soumises à leur poids apparent (Degrémont, 2005 In : Outini et Eddahbi, 2023).

Ce processus basé par la gravité et induit par réduction de la **vitesse horizontale** qui doit être inférieure à la **vitesse verticale** de chute ou de décantation afin de favoriser la sédimentation des particules dans un piège. Ces particules s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée (Fig. 13).

Les facteurs clefs de la sédimentation sont la différence de **masse volumique** entre le solide et le liquide, la taille des particules et la viscosité du fluide. Après un temps de décantation, les particules se déposent au fond de l'ouvrage qu'ils doivent être purgés. Les purges du décanteur sont réglées automatiquement de sorte qu'elles puissent se vidanger régulièrement. L'eau décantée est acheminée vers les filtres par l'intermédiaire des goulottes.



*Figure 13 : Schéma de la décantation (Madani,2017 In : Maref,2019)*



*Figure 14 : Décanteur à recirculation de boues (26 April 2024)*

### III.5 Filtration

Filtration est un procédé de séparation solide liquide de finition et il est physique utilisé pour traiter l'eau clarifiée, provenant des décanteurs, Il implique de faire passer l'eau à travers un matériau poreux dans une direction de haut en bas.

Cette technique est plus simple, efficace et peu couteuse. Dans la station, il y a 26 filtres à sables (Fig. 15) d'une surface unitaire de 84m<sup>2</sup>. L'eau filtrée passe à travers les buselures (Fig. 16).

Ce processus permet de filtrer efficacement les bactéries, la couleur, la turbidité, ainsi que certains goût et odeurs indésirables de l'eau, Cependant. Les solides en suspension retenus par le matériau poreux s'accumulent avec le temps, ce qui peut entraîner un colmatage du filtre. Pour éviter cela, il est essentiel de contrôler le paramètre important :

- La turbidité qui doit être maintenue à moins de 1 NTU

Au cours du temps le filtre se colmate il faut le laver en injectant une eau filtrée du bas vers le haut. Le matériau filtrant peut être granulaire ou membranaire. La filtration granulaire est la plus utilisée dans les chaînes de traitement classique (filtration sur colonne). Le matériau peut être le sable, le charbon actif...

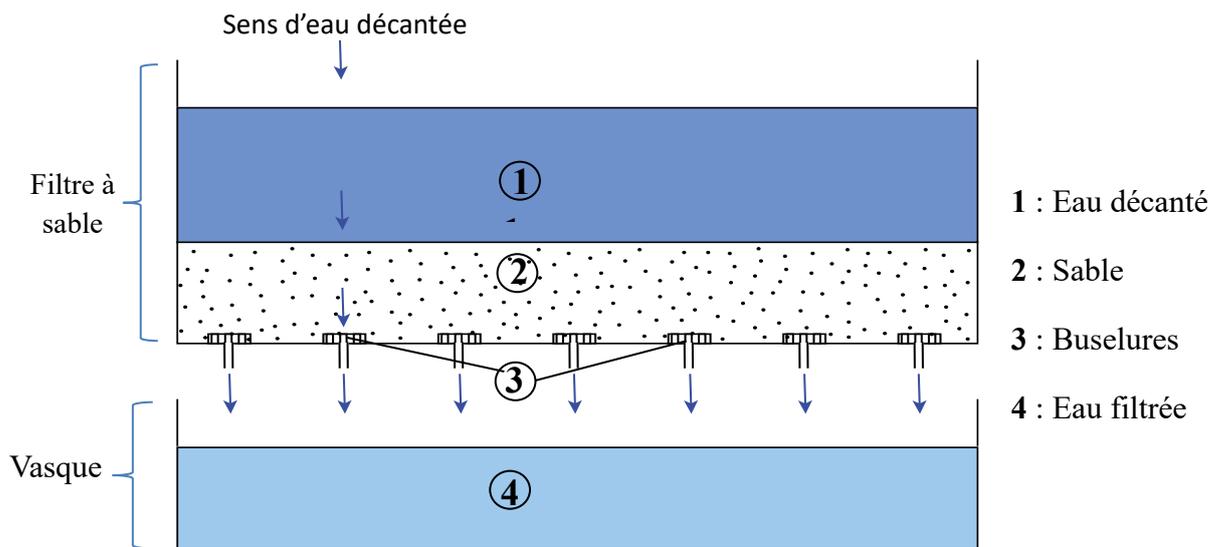
**L'efficacité de la filtration dépend de plusieurs facteurs, notamment :**

- Des caractéristiques du filtre lui-même, tels que la porosité, le diamètre des pores, la taille et la forme des grains.
- Des particules présentes dans la suspension, notamment leur concentration leur taille, leur forme et leur densité.
- Les caractéristiques du fluide, comme la viscosité et la densité.

(Document ONEP, 2018)



*Figure 15 : Processus de filtration par le filtre à sable (26 April 2024)*



*Figure 16 : Schéma de système d'une filtration à sable*

#### IV. Désinfection

La désinfection est un procédé visant à éliminer les micro-organismes pathogènes tels que les bactéries et les virus qui pourraient causer des maladies. Ce processus est crucial pour garantir la qualité de l'eau potable en éliminant les contaminants microbiens, et en laissant une quantité de désinfectant résiduel suffisante pour empêcher la prolifération bactérienne dans le réseau d'approvisionnement en eau potable.

Elle se caractérise par une deuxième chloration au niveau des citernes, elle permet de maintenir un résiduel de chlore dans des réservoirs de départ afin d'y empêcher le développement des germes pathogènes afin d'assurer une protection sanitaire durable du réseau de distribution par effet permanent. L'eau traitée passe des filtres vers les citernes dans lesquelles on injecte le chlore, après la 2<sup>ème</sup> chloration d'eau traitée qui alimente les réservoirs de capacité de **30000 m<sup>3</sup>**.

#### V. Stockage

Après avoir été traitée pour devenir potable, l'eau est transférée vers des réservoirs d'une capacité de 500 mètres cubes. Elle est ensuite acheminée vers deux réservoirs de stockage qui assurent une autonomie en eau potable de 20h pour la ville de Marrakech de plus grande capacité : une station de stockage de 20000 mètres cubes (station 1 + station 2) et un réservoir

de 10000 mètres cubes (station 3). L'eau y est stockée avant d'être distribuée aux habitations via un réseau de canalisations souterraines (Document ONEP, 2018).

## **VI. Distribution**

Après le traitement de l'eau, cette dernière sera pompée par trois pompes pour alimenter la zone touristique et Tahanaout. La station est dotée de 3 autres pompes pour alimenter le Chouitar en eau potable. Tameslouht est alimenté directement des citernes par pompage. La station alimente également les deux réservoirs de la RADEEMA de capacité de **85000 m<sup>3</sup>** et **50000 m<sup>3</sup>** soit par le réservoir de **30000 m<sup>3</sup>** ou par la citerne de **2000 m<sup>3</sup>** gravitairement.

# **PARTIE 3 :**

## **Matériels Et Méthodes**

Cette partie détaille les instruments et les techniques utilisés pour mener l'étude, incluant les protocoles expérimentaux, les conditions de l'expérience et les méthodes d'analyse des données.

## I. Analyses physico-chimiques

Les mesures effectuées lors de la durée de stage sont la mesure de la turbidité en NTU et la mesure de chlore dans chaque ouvrage de la station 2 (ST2) et de la station 3 (ST3) dans la station Rocade Marrakech.

### I.1 Mesure de la turbidité

La turbidité est mesurée en Unités de Turbidité Néphélométrie (NTU) à l'aide d'un turbidimètre. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchiée par les particules (argile, plancton, microorganismes, etc....) présentes dans l'eau.

La turbidité est mesurée par un appareil qui s'appelle le **turbidimètre (Fig. 17)** accompagné par le **tube de mesure (Fig. 18)**.



*Figure 17 : Turbidimètre utilisée*



*Figure 18 : Tube de mesure*

#### I.1.1 Mode opératoire

Les étapes suivantes ont été suivies pour mesurer la turbidité de l'échantillon d'eau :

- Rincer le tube par l'échantillon de mesure
- Remplir le tube propre avec l'échantillon de l'eau à mesurer
- Essuyer le tube de mesure avec le papier Joseph avant la mesure. Et assurer l'absence des bulles d'air
- Eviter de toucher les tubes aux points où elles sont traversées par la lumière.
- Introduire le tube de mesure dans la chambre du turbidimètre
- Appuyer sur le bouton **Read** et lire directement le résultat.

### I.1.2 Normes de turbidité au niveau de la station

Les résultats de la mesure selon les normes au niveau de décanteurs est en général inférieur à 5 NTU. Et pour l'eau traitée et les filtres il doit être inférieur à 0,5 NTU.

## I.2 Mesure du chlore

Le chlore est couramment utilisé dans le traitement de l'eau potable et des eaux usées en raison de ses propriétés désinfectantes. Cependant, son utilisation peut avoir un impact sur la turbidité de l'eau comme l'oxydation des matières organiques et inorganiques et formation de floccs et réactions avec les matériaux naturels et effet sur les microorganismes et coagulation et floculation.

La mesure du chlore se fait par un comparateur de chlore (Fig. 19) avec un comprimé qui s'appelle DPD No.1 (Fig. 20).



*Figure 19 : Comparateur de chlore*



*Figure 20 : Comprimés de chlore DPD*

### **I.2.1 Mode opératoire :**

Selon la valeur du pH, le chlore est sous forme d'acide hypochloreux ou d'hypochlorite. Pour savoir la concentration du chlore résiduel dans une eau, on remplit une cuvette de 10 ml par l'eau, puis on introduit un comprimée du DPD, après agitation, on obtient une coloration rose et on fait la lecture à l'aide du comparateur de chlore et la concentration trouvée doit être entre 0 et 1 mg/l.

# **PARTIE 4 :**

# **Résultats et Discussion**

Durant la période de stage, l'objectif est de mesurer la turbidité et le chlore pour surveiller la qualité de l'eau dans tous les ouvrages de ST2 et ST3 à la station Rocate Marrakech. Deux prélèvements par jour seront effectués pendant 10 jours successifs, du 2 au 12 mai, ce qui signifie que nous aurons deux mesures quotidiennes de la turbidité et du chlore durant cette période.

Les prélèvements des échantillons d'eau sont réalisés à 5 points dans ST2 et 5 points dans ST3. Les échantillons d'eau brute sont prélevés à l'entrée de ST2 et ST3. Ensuite, des prélèvements sont effectués sur les eaux débouées dans les quatre déboueurs, dont deux sont situés dans ST2 et les deux autres dans ST3. De même, pour les eaux décantées, deux échantillons sont prélevés à ST2 et deux à ST3. Enfin, pour les eaux filtrées, les prélèvements se font via des vannes : ST2 dispose de 6 filtres, donc 6 vannes, et ST3 en possède 10, donc 10 vannes.

## **I. Eaux des ouvrages de la station 2 (ST2) de la station Rocate**

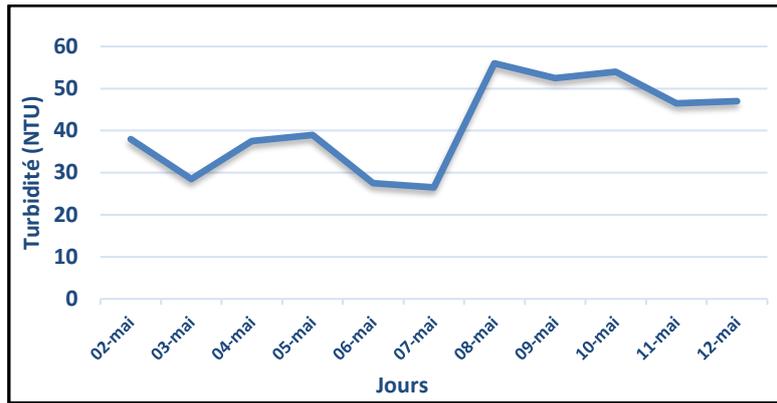
La station 2 est équipée d'un ouvrage d'arrivée d'eau brute, qui assure la répartition de l'eau entre les deux files. Elle comprend également deux déboueurs lamellaires et deux décanteurs lamellaires. En outre, elle est dotée de six filtres à sable.

### **I.1 Evolution de la turbidité de l'eau brute**

La courbe ci-dessous présente la variation de la turbidité en NTU des eaux brutes à l'entrée pendant la période du 2 à 12 mai 2024 (Fig. 21).

Durant les premières six jours (2 à 7 mai), on observe une variation régulière de la turbidité avec des faibles valeurs comprises entre 26 et 39 NTU qui indique des cycles naturels ou des activités récurrentes c'est-à-dire il n'existe aucune cause spécifique exprimant la variation de la turbidité.

Pendant le 7 au 12 mai on trouve une forte augmentation brutale de la turbidité jusqu'à 56NTU à cause de l'existence des sources de la turbidité qui sont des événements naturels (tempête, pluie) et industriel.

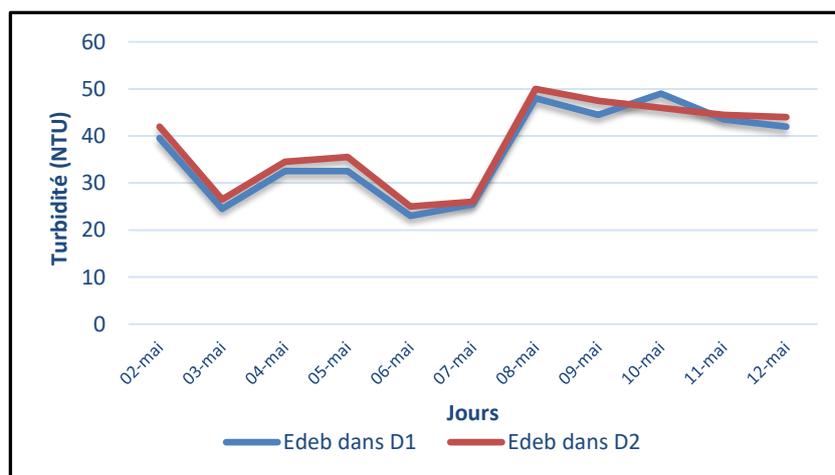


**Figure 21 :** Variations journalière de turbidité des eaux brutes de ST2

### I.2 Evolution de la turbidité des eaux débourbées

La courbe ci-dessous montre la variation de la turbidité (en NTU) des eaux débourbées dans les deux débourbeurs de la station ST2 (Fig.22). Du 2 au 7 mai, la turbidité varie régulièrement entre 25 et 42 NTU. Cependant, du 7 au 12 mai, on observe une forte augmentation brutale de la turbidité atteignant jusqu'à 50 NTU.

D'après la courbe, on observe que les valeurs de la turbidité des eaux débourbées des deux débourbeurs sont assez similaires et aussi comme la courbe des eaux brutes de ST2, ce qui se traduit par un certain parallélisme entre les courbes. Mais même si qu'on a trouvé un parallélisme entre la courbe de l'eau brute et les deux courbes des eaux débourbées on voit que la turbidité un peu diminue dans l'étape de débourbage (la turbidité maximale des eaux brutes est 56NTU en revanche la turbidité maximale des eaux débourbées est 50 NTU)



**Figure 22 :** Variations journalière de la turbidité des eaux débourbées de ST2

### I.3 Evolution de la turbidité des eaux décantées

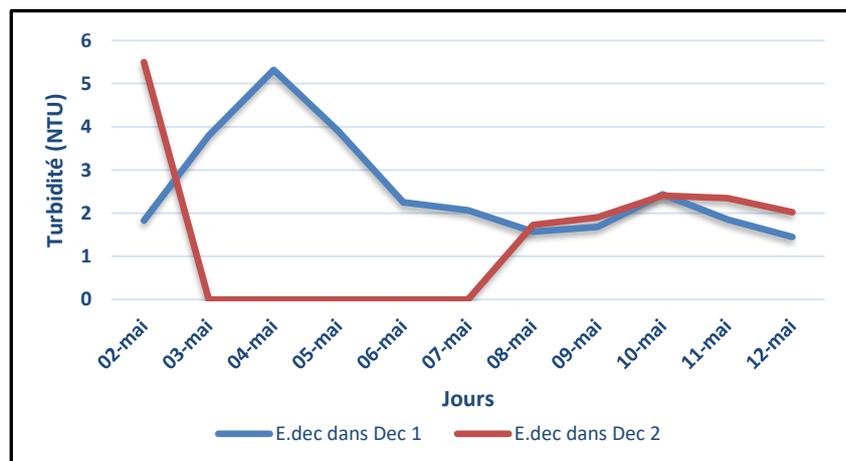
La courbe ci-dessous montre la variation journalière de la turbidité des eaux décantées dans les deux décanteurs de ST2.

- **Eaux du décanteur 1 :**

Pendant la durée de 2 au 4 mai (Fig. 23), on trouve une tendance ascendante de la turbidité des eaux décantées de D1, depuis la valeur 1,83 à 5,32 NTU, Cela peut indiquer un problème avec le processus de traitement ou une augmentation de la charge en sédiments dans l'eau brute. A partir de 4 mai à la fin de la durée de mesure on trouve une diminution progressive jusqu'à la stabilité de la turbidité qui varie entre 1 et 3 NTU suggérant la diminution de la MES grâce à l'amélioration de l'efficacité du système de traitement après un ajustement ou une maintenance.

- **Eaux du décanteur 2 :**

Le 2 mai (Fig. 23), on a une valeur exceptionnellement élevée de la turbidité des eaux décantées notée par 5,5 NTU due à un afflux soudain de MES par un problème mécanique ou technique du décanteur, ou encore une contamination accidentelle et un changement dans le processus de traitement par l'utilisation des concentrations faibles des coagulants (Sulfate d'alumine, poly-électrolyse). Ensuite, le décanteur a été mis à l'arrêt en raison de l'observation d'une turbidité exceptionnellement élevée le 2 mai. Cette interruption a permis de mener des vérifications et des entretiens de maintenance nécessaires pour résoudre le problème. Après l'arrêt, le décanteur a repris son fonctionnement avec des valeurs de turbidité redevenues normales comprises entre 1 et 3 NTU.



**Figure 23 :** Variation journalière de la turbidité des eaux décantées de ST2

## I.4 Evolution de la turbidité des eaux filtrées

Le système de filtration ST2 comprend six filtres utilisés pour améliorer la qualité de l'eau provenant des décanteurs. Les résultats mesurés ont montré des variations de turbidité dans chaque filtre, ce qui indique l'influence de différents facteurs et paramètres sur la fluctuation de la turbidité (Fig. 24).

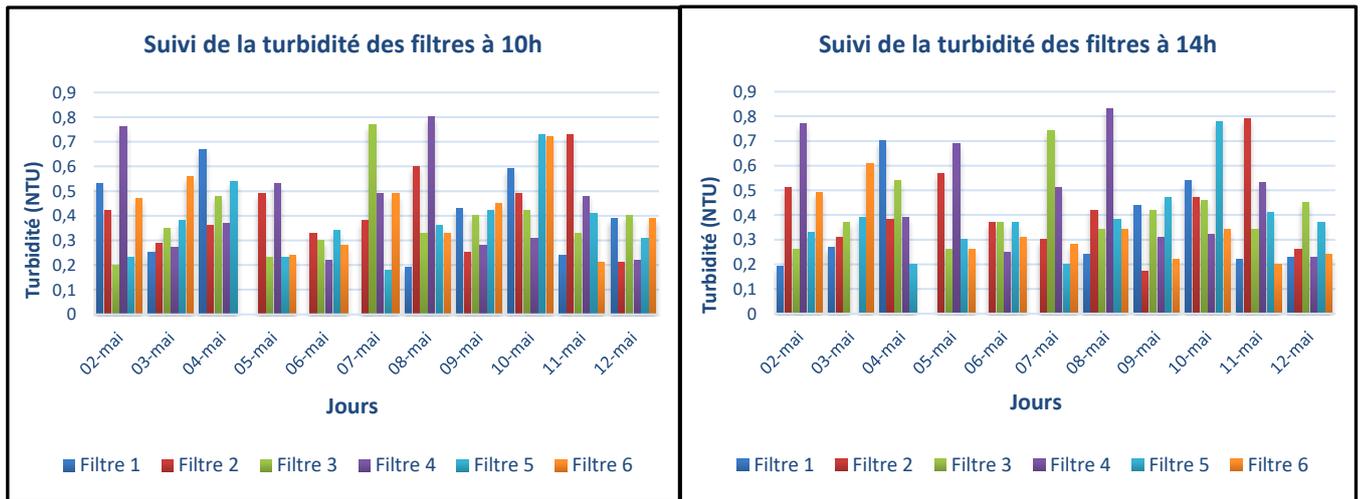


Figure 24 : Turbidité journalière des filtres de ST2

La variation de la turbidité de l'eau dans un système de filtration peut être influencée par plusieurs facteurs. Tout d'abord, la qualité de l'eau entrante est cruciale et la performance de décanteur et de débourbeur sont importants pour un bon fonctionnement des filtres, en plus le nombre d'heure de fonctionnement des filtres est aussi un facteur en raison de si le filtre a fonctionné longtemps il devient colmaté. Par ailleurs, le niveau de l'eau dans les filtres joue un rôle fondamental dans la variation de la turbidité, car si le niveau de l'eau est faible la turbidité est importante s'il est normal la turbidité est raisonnable.

### I.4.1 Impact du nombre d'heure du fonctionnement des filtres sur la turbidité

Les histogrammes ci-dessous montrent la variation de la turbidité et le nombre d'heures de fonctionnement pour le filtre 1 et 5 de ST2 entre le 2 et 12 mai (Fig. 26).

- **Filtre 1 :**

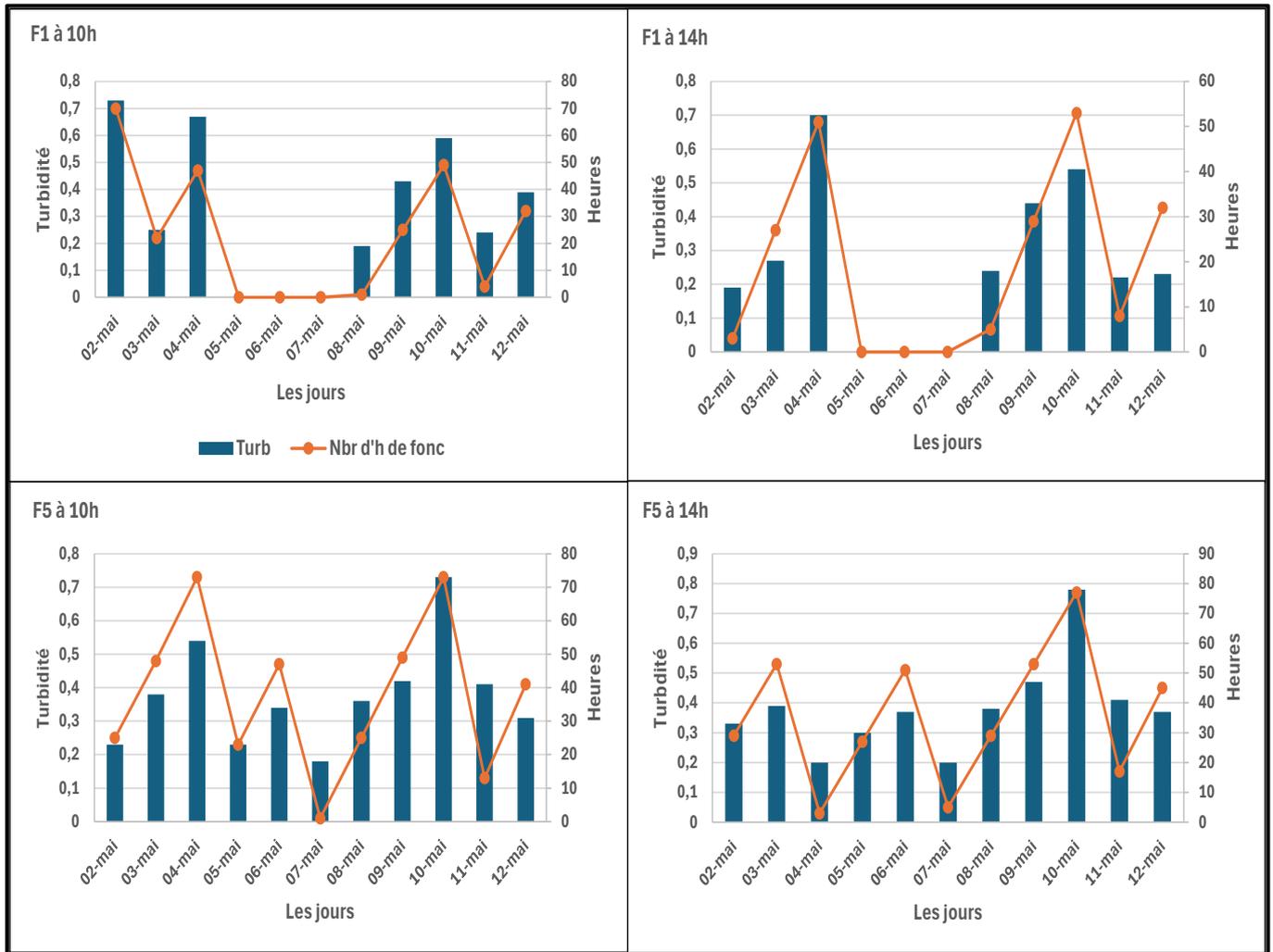
Le 2 mai à 10h le nombre d'heures de fonctionnement est passé de 70h, avec une turbidité importante de 0,73 NTU. À 14h, le nombre d'heures de fonctionnement est tombé à 3h avec une turbidité faible de 0,19 NTU. Entre ces deux mesures, le filtre a subi un cycle de lavage (Fig. 25), ce qui a remis à zéro le compteur d'heures de fonctionnement et redémarré le processus de traitement des eaux, Pendant tous les jours de mesures, nous avons observé la corrélation entre la turbidité et le nombre d'heures de fonctionnement, sauf pendant la période du 5 au 7 mai, où le filtre était arrêté pour deux raisons possibles : soit le débit d'entrée des eaux à la station était faible, ce qui implique qu'il n'était pas nécessaire de faire fonctionner ce filtre, soit le filtre était en période de maintenance.



*Figure 25 : Filtre 1 en train de retro-lavage*

- **Filtre 5 :**

Pendant tous les jours de mesures on a des valeurs de turbidité sont bien corrèles avec les nombres d'heure de travail du filtre.



**Figure 26 :** Évolution de la turbidité en fonction des heures de fonctionnement des filtres 1 et 5

Les filtres à sable sont essentiels pour la purification de l'eau, mais leur efficacité diminue avec le temps en raison de l'accumulation de particules et de débris. Pour maintenir leur performance, un cycle de lavage (ou rétro lavage) est régulièrement nécessaire.

#### 1.4.2 Impact du niveau de l'eau des filtres de ST2 sur la turbidité

La collecte des données sur les niveaux de l'eau des filtres se fait par notre observation et on note ces niveaux (Faible, Moyen, Normal) dans notre fiche de suivi pour les deux stations ST2 et ST3 (Fig. 27).

Lorsque l'eau est basse dans un filtre à sable et que la turbidité est élevée cela peut expliquer par plusieurs facteurs. Premièrement, cette réduction de niveau de l'eau peut entraîner une plus faible pression ce qui permet les particules de rester en suspension plutôt que d'être capturées efficacement par le sable, en plus un niveau d'eau faible peut créer des remous ou bien des turbulences à la surface du sable



*Figure 27 : Photos représentent les différents niveaux d'eau dans les filtres*

Le tableau ci-dessous (Fig. 28) représente les niveaux de l'eau des filtres 1 et 6 avec les valeurs des turbidités et on a constatées que lorsque le niveau de l'eau est faible ce qui implique une valeur de turbidité exceptionnel

Date	Filtre 1			Filtre 6		
	Niveau d'eau	Nbre d'heure de fonctionnement	Turbidité (NTU)	Niveau d'eau	Nbre d'heure de fonctionnement	Turbidité (NTU)
02-mai	Faible	70	0,73	Moyen	43	0,47
03-mai	Normal	22	0,25	Moyen	66	0,56
04-mai	Faible	47	0,67	A	A	A
05-mai	A	A	A	Normal	13	0,24
06-mai	A	A	A	Normal	37	0,28
07-mai	A	A	A	Moyen	61	0,49
08-mai	Normal	1	0,19	Normal	14	0,33
09-mai	Normal	25	0,43	Normal	38	0,45
10-mai	Moyen	49	0,59	Faible	62	0,72
11-mai	Normal	4	0,24	Normal	10	0,21
12-mai	Normal	32	0,39	Normal	38	0,39

*Figure 28 : L'impact du niveau de l'eau des filtres sur la turbidité dans ST2*

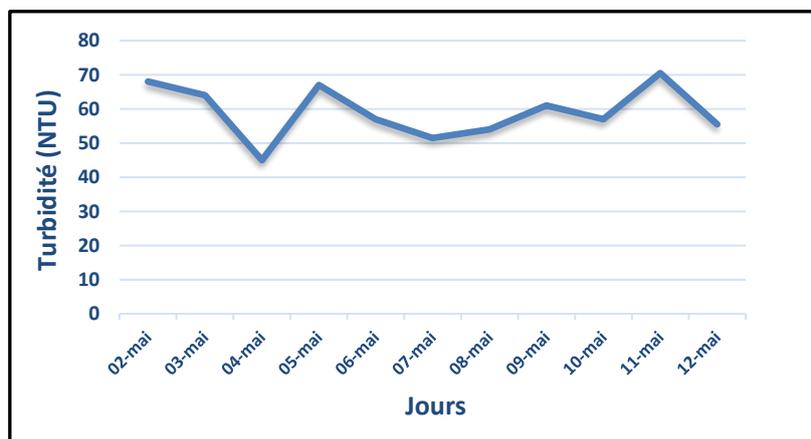
## II. Eaux dans les ouvrages de la ST3

La station 3 est équipée d'un ouvrage d'arrivée d'eau brute qui assure la répartition de l'eau entre les deux files. Elle comprend également deux débourbeurs lamellaires, deux décanteurs lamellaires comme ST2, mais on a dix filtres à sable.

### II.1 Evolution de la turbidité de l'eau brute

La courbe ci-dessous (Fig. 29) présente la variation de la turbidité des eaux brutes à l'entrée de ST3 pendant la période de 2 au 12 mai. Entre le 2 et 4 mai, la turbidité est diminuée de 68 à 45 NTU, avant d'augmenter de nouveau à 67 NTU. Du 5 au 10 mai, les valeurs de turbidité ont fluctué de manière relativement stable entre 67 et 57 NTU. Par la suite, une hausse a été observée avec une pointe à 70,5 NTU, suivie d'une diminution jusqu'à 55,5 NTU.

L'augmentation temporaire de la turbidité des eaux brutes peut être causée par la mise en place de la source d'eau qui vient depuis canal Rcade qui se caractérise par une forme ouverte à l'atmosphère cela conduit une augmentation de la turbidité à cause des conditions métrologique comme des pluies abondantes entraînant un ruissellement de sédiments, des tempêtes et de construction qui perturbent les sols.



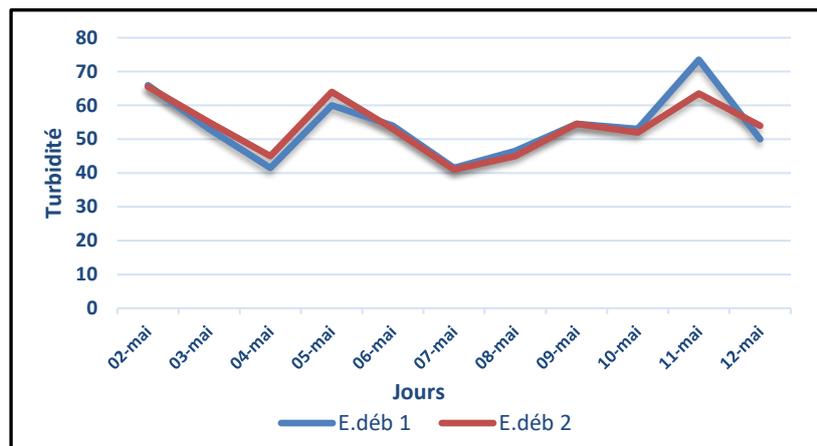
*Figure 29 : Variations journalière de la turbidité des eaux brutes de ST3*

### II.2 Evolution de la turbidité des eaux débourbées

La figure ci-dessous (Fig. 30) montre une variation de la turbidité des eaux débourbées dans les deux débourbeurs de ST3 pendant la durée de 2 au 12 mai. A partir de la courbe on

voit que les valeurs de la turbidité des eaux débouées des deux déboueurs sont plus ou moins proche ce qui implique un parallélisme entre les deux courbes.

Du 2 au 4 mai, la turbidité des eaux débouées dans les deux déboueurs diminue de 65 à 42 NTU. Ensuite, on observe une augmentation de la turbidité, qui atteint 64 NTU entre la fin du 4 mai et le début du 6 mai. À partir du 6 à 10 mai, la turbidité diminue progressivement jusqu'à se stabiliser avec de petites variations. Cependant, le 11 mai, il y a une augmentation brutale de la turbidité dans les eaux débouées du DEB1, atteignant un pic de 73 NTU, tandis que pour le DEB2, la turbidité augmente à 63 NTU.



*Figure 30 : Turbidité journalière des eaux débouées dans ST3*

### II.3 Evolution de la turbidité des eaux décantées

La courbe ci-dessous (Fig. 31) montre la variation journalière de la turbidité des eaux décantées dans les deux décanteurs de ST3.

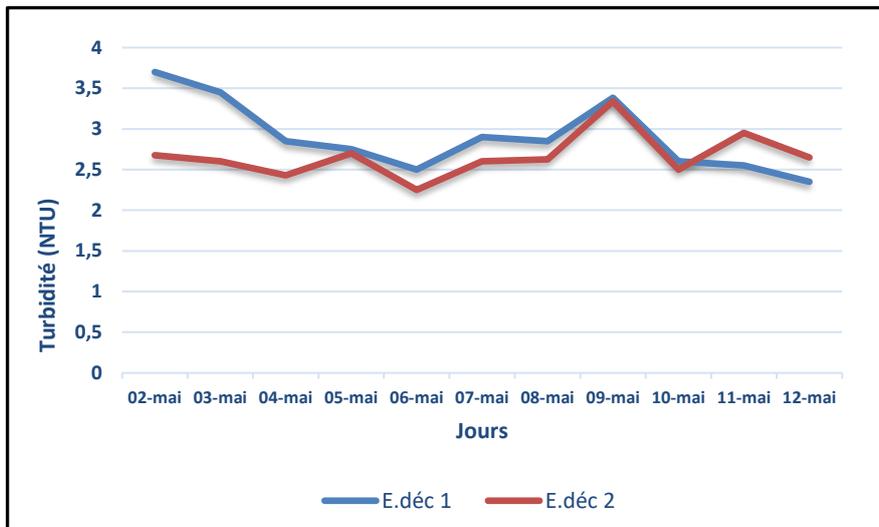
- **Eaux de décanteur 1 :**

D'après la courbe, on observe que la turbidité le 2 mai est élevée, atteignant 3,7 NTU. Après cette date, elle diminue progressivement jusqu'à ce que les variations de la turbidité deviennent plus ou moins stables avec un moyen de 2,85 NTU. Cependant, le 9 mai, une augmentation de la turbidité est notée avec une valeur de 3,34 NTU, suivie d'une autre élévation entre le 11 et le 12 mai, atteignant 2,95 NTU.

On voit que les valeurs des turbidités des eaux décantées dans ce décanteurs sont inférieures à 5 NTU donc ils sont raisonnables et respectent les normes de traitements des eaux usées.

- **Eaux de décanteur 2 :**

À partir de la courbe, on observe que la variation de la turbidité des eaux décantées de DEC2 est globalement régulière avec un moyen des valeurs de 3NTU, sauf certains jours comme le 9 mai, marqué par un pic de turbidité à 3,34 NTU, et le 11 mai, avec une valeur de 2,95 NTU. Cependant, toutes les valeurs restent normales et raisonnables, semblables à celles de DEC1.



*Figure 31 : Turbidité journalière des eaux décantées dans ST3*

## II.4 Evolution de la turbidité des eaux filtrées

Le système de filtration ST3 comprend dix filtres utilisés pour améliorer la qualité de l'eau provenant des décanteurs, les résultats mesurés ont montré des variations de turbidité dans chaque filtre (Fig. 32), ce qui indique l'influence de différents facteurs et paramètres sur la fluctuation de la turbidité.

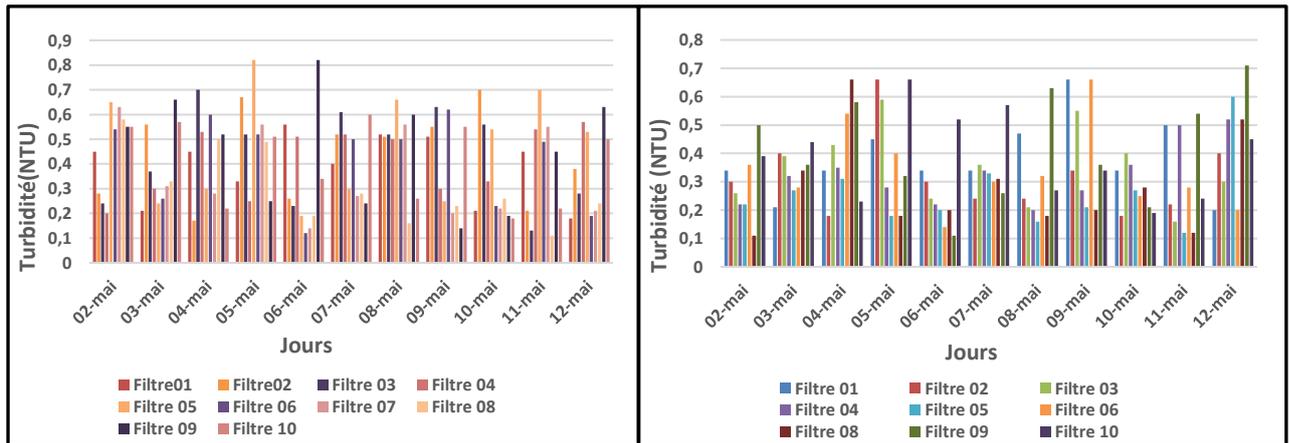
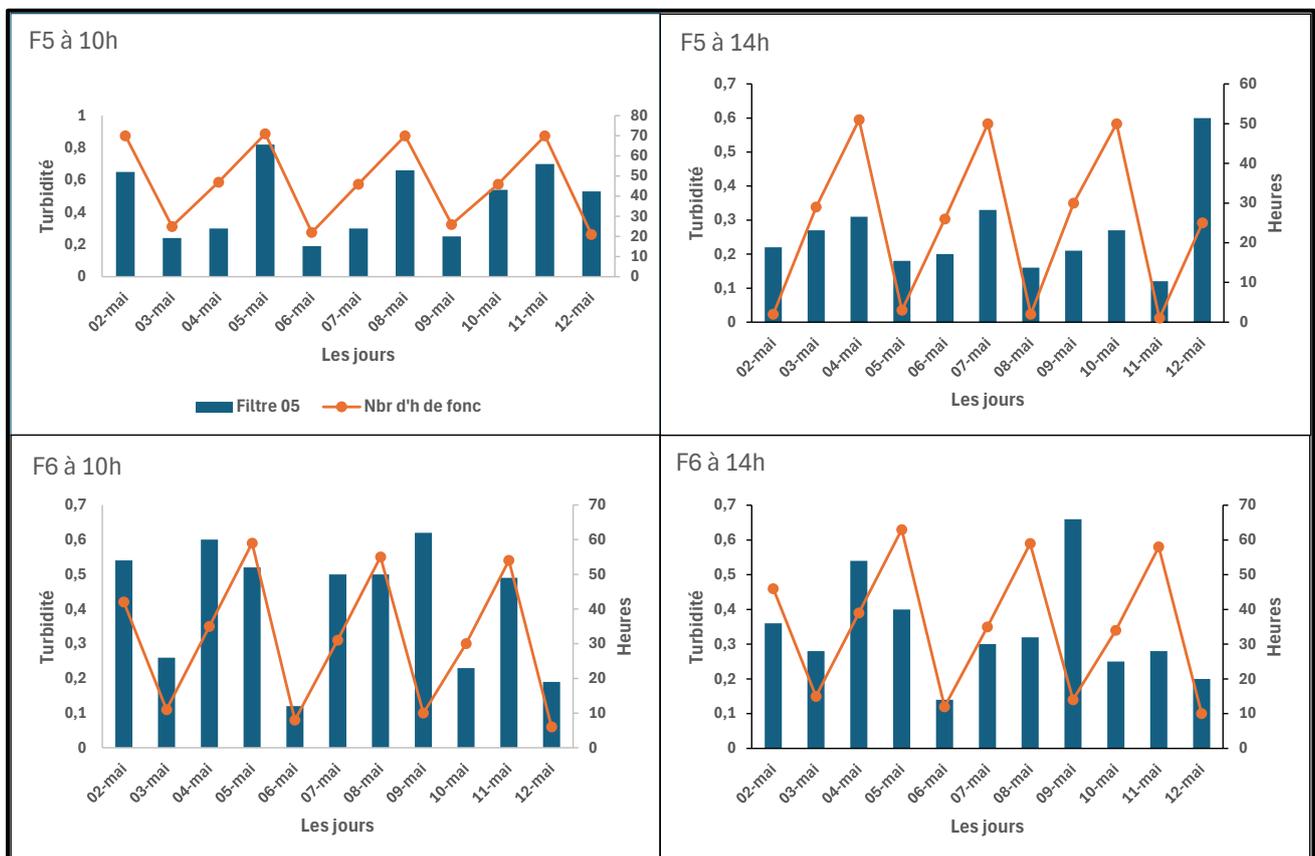


Figure 32 : Turbidité journalière des filtres de ST3

#### II.4.1 Impact du nombre d'heure du fonctionnement des filtres sur la turbidité

Les histogrammes ci-dessous (Fig. 33) illustrent la variation de la turbidité et le nombre d'heures de fonctionnement de filtre 5 et 6 dans ST3 entre le 2 et 12 mai, on a une corrélation significative entre la turbidité et le nombre d'heures de fonctionnement est bien observable, indiquant que la turbidité augmente avec le temps de fonctionnement des filtres, cela suggère que l'accumulation des floccs dans les filtres à sable réduit progressivement leur efficacité.



*Figure 33 : Évolution de la turbidité en fonction des heures de fonctionnement des filtres 1 et 6*

#### II.4.2 Impact du niveau de l'eau des filtres de ST3 sur la turbidité :

Le tableau ci-dessous représente les niveaux de l'eau des filtres 5 et 6 avec les valeurs des turbidités (Fig. 34).

Date	Filtre 5			Filtre 6		
	Niveau de l'eau	Nbre d'heure de fonctionnement	Turbidité (NTU)	Niveau de l'eau	Nbre d'heure de fonctionnement	Turbidité (NTU)
02-mai	Moyen	70	0,65	Faible	42	0,54
03-mai	Normal	25	0,24	Normal	11	0,26
04-mai	Moyen	47	0,3	Faible	35	0,6
05-mai	Faible	71	0,82	Normal	59	0,52
06-mai	Normal	22	0,19	Normal	8	0,12
07-mai	Normal	46	0,3	Faible	31	0,5
08-mai	Normal	70	0,66	Normal	55	0,5
09-mai	Normal	26	0,25	Faible	10	0,62
10-mai	Moyen	46	0,54	Normal	30	0,23
11-mai	Normal	70	0,7	Normal	54	0,49
12-mai	Faible	21	0,53	Normal	6	0,19

*Figure 34 : Impact du niveau de l'eau des filtres sur la turbidité dans ST3*

### III. Etude comparative entre les eaux de ST2 et les eaux de ST3

Dans cet axe, nous avons comparé les eaux de tous les ouvrages de ST2 et ST3 et évalué la performance de chaque ouvrage dans ST2 et ST3. Nous avons déterminé lequel est le plus performant en nous basant sur les résultats collectés lors des mesures effectuées pendant la période des mesures dans ce stage.

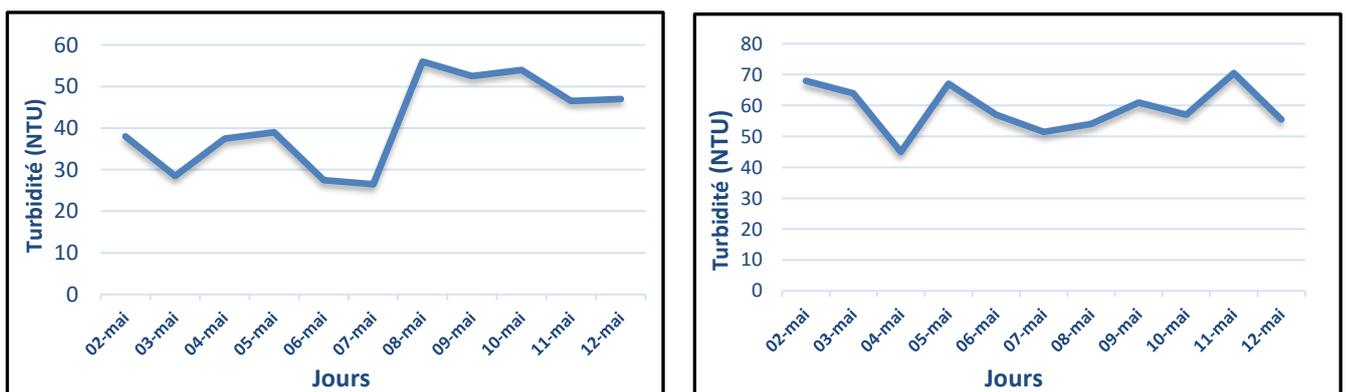
#### III.1 Eaux brutes

Pour une évaluation approfondie de la qualité des différentes sources d'eau brute, une étude comparative des caractéristiques physico-chimiques de ces eaux est essentielle.

##### III.1.1 Etude comparative des eaux brutes

La comparaison des deux stations révèle des différences marquées dans les variations de turbidité. La station 2 (ST2) présente une variation initiale plus modérée et régulière (26-39 NTU), tandis que la station 3 (ST3) affiche des fluctuations plus importantes (45-68 NTU) en début de période. Les événements de pic montrent que ST2 subit une augmentation brusque à partir du 7 mai, atteignant jusqu'à 56 NTU, bien que ST3 connaît une pointe plus élevée à 70,5 NTU suivie d'une baisse, indiquant une réponse plus rapide et intense aux événements perturbateurs. Les causes des variations diffèrent également : les fluctuations à ST2 sont principalement dues à des événements naturels ou industriels soudains, alors qu'à ST3, la turbidité est influencée par des facteurs tels que les conditions météorologiques et les caractéristiques du canal Rocate, notamment le ruissellement de sédiments, les pluies et les constructions. En termes de stabilité, ST2 montre une stabilité relative sur la première moitié de la période étudiée, cependant ST3 présente des fluctuations plus régulières avec une stabilité apparente malgré des variations journalières (Fig. 35).

L'analyse comparative de la turbidité des eaux brutes des stations ST2 et ST3 révèle des différences significatives dans les variations et les causes des augmentations de turbidité. ST2 montre des variations plus modérées mais subit une augmentation brusque due à des événements spécifiques, tandis que ST3 affiche des fluctuations plus importantes influencées par les conditions environnementales et les caractéristiques du canal Rocate. Cette étude souligne l'importance de surveiller les sources de turbidité et d'identifier les facteurs contributifs pour mieux gérer la qualité de l'eau.



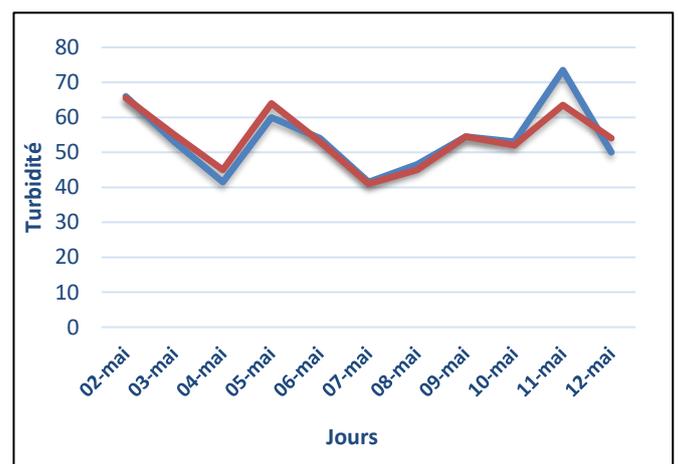
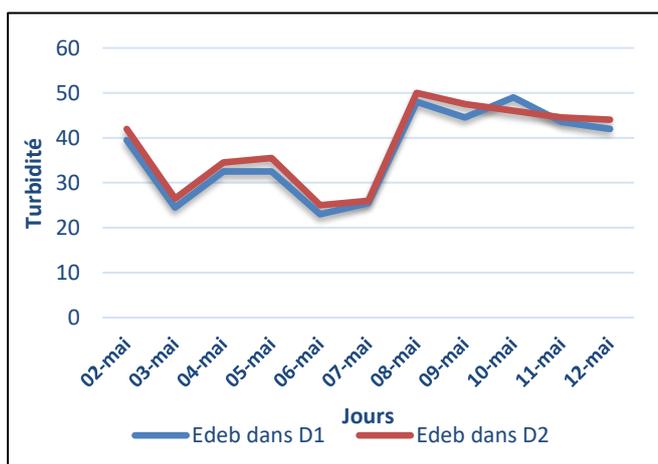
**Figure 35 :** Variations journalière de la turbidité des eaux brutes de ST2 et ST3

## IV. 2. Eaux débourbées

Après toutes les mesures de la turbidité des eaux débouées qu'on a fait au niveau de chaque station ST2 et ST3 on va entamer une étude comparative entre eux.

### III.1.2 Etude comparative des eaux débouées

La comparaison des deux stations révèle des différences significatives dans les variations de la turbidité. La station ST3 montre une diminution initiale plus prononcée (de 65 NTU à 42 NTU) comparée à ST2 (de 25 NTU à 42 NTU). En ce qui concerne les événements de pic, ST3 présente une augmentation brutale de la turbidité le 11 mai, atteignant un pic de 73 NTU pour DEB1 et 63 NTU pour DEB2, tandis que ST2 connaît une augmentation brutale de la turbidité du 7 au 12 mai, atteignant jusqu'à 50 NTU. En termes de stabilité, ST3 montre une stabilisation progressive avec de petites variations après le 6 mai, alors que ST2 présente une variation régulière initiale suivie d'une forte augmentation. De plus, ST3 montre un parallélisme entre les courbes des deux déboueurs, indiquant des variations synchrones, tandis que ST2 ne présente pas cette caractéristique, mais plutôt une variation régulière suivie d'une augmentation brusque. L'analyse comparative des eaux débouées des stations ST2 et ST3 révèle ainsi que ST3 a des variations synchrones avec des pics de turbidité plus prononcés et des fluctuations initiales plus importantes, alors que ST2 présente des variations régulières avec une augmentation brutale de la turbidité vers la fin de la période étudiée. Ces différences indiquent des dynamiques différentes de la turbidité, influencées par divers facteurs environnementaux et opérationnels spécifiques à chaque station (Fig. 36).



**Figure 36 :** Variations journalière de la turbidité des eaux débouées de ST2 et ST3

### **III.1.3 Evaluation de la performance des déboueurs des deux stations ST2 et ST3**

Selon l'étude comparative des eaux débouées entre la station 2 (ST2) et la station 3 (ST3), il est possible d'évaluer la performance des quatre déboueurs de ces deux stations en tenant compte des différences observées dans les variations de la turbidité.

#### **III.1.3.1 Performance des Déboueurs de ST3**

- Les déboueurs de la station ST3 montrent une diminution initiale plus prononcée de la turbidité, ce qui suggère une efficacité accrue dans le processus de débouage initial par rapport à ST2.

- La présence de pics de turbidité plus élevés, notamment le 11 mai, peut indiquer des fluctuations imprévues dans le traitement de l'eau ou des événements perturbateurs extérieurs.

- La stabilisation progressive avec de petites variations après le 6 mai indique une réactivité et une capacité d'adaptation des processus de traitement pour maintenir la qualité de l'eau.

#### **III.1.3.2 Performance des Déboueurs de ST2**

- Les déboueurs de la station ST2 montrent des variations régulières mais avec une augmentation brutale de la turbidité vers la fin de la période étudiée, ce qui peut suggérer des défis dans le maintien de la stabilité du processus de débouage.

- L'absence de parallélisme entre les courbes des deux déboueurs indique des variations non synchronisées, ce qui pourrait nécessiter une attention particulière pour égaliser les performances des deux déboueurs.

En comparant les performances des déboueurs des stations ST2 et ST3, on peut observer que les déboueurs de la station ST3 semblent avoir une performance globale légèrement supérieure en termes de diminution initiale de la turbidité et de réactivité aux événements perturbateurs. Cependant, des défis persistent dans les deux stations, notamment en ce qui concerne la gestion des pics de turbidité et la stabilisation du processus de

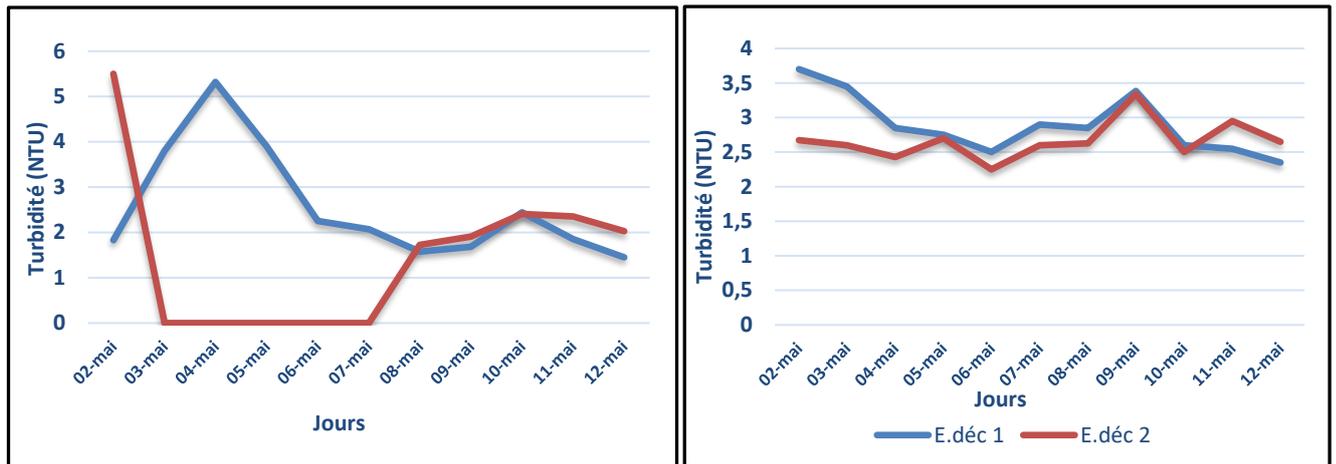
débourbage. Ces conclusions soulignent l'importance d'une surveillance continue et d'une optimisation des processus de traitement pour garantir une qualité d'eau optimale dans les deux stations.

## **III.2 Eaux décantées**

La comparaison des décanteurs des stations ST2 et ST3 révèle des différences significatives dans leurs performances et leurs réponses aux événements, soulignant l'importance d'une étude comparative des eaux décantées pour comprendre les dynamiques spécifiques de chaque station et leur efficacité.

### **III.2.1 Etude comparative des eaux décantées**

La comparaison des décanteurs des stations ST2 et ST3 met en évidence des différences significatives dans leurs performances et leurs réponses aux événements. Initialement, le décanteur 1 de ST2 montre une tendance ascendante de la turbidité, nécessitant des ajustements pour stabiliser le processus, tandis que celui de ST3 présente une turbidité élevée suivie d'une diminution progressive et de stabilisation. Des événements de pic ont été observés dans les deux stations, notamment un pic initial dans le décanteur 1 de ST2, une valeur exceptionnellement élevée dans le décanteur 2 de ST2 entraînant un arrêt pour maintenance, et des pics mineurs dans les décanteurs de ST3, restant cependant dans les normes. La stabilité relative varie également, avec une diminution progressive pour le décanteur 1 de ST2 et une stabilisation progressive pour les décanteurs de ST3 après des fluctuations initiales. En termes de conformité aux normes, le décanteur 1 de ST2 finit par se stabiliser conformément aux normes après une période de variabilité, tandis que les décanteurs de ST3 maintiennent des valeurs de turbidité constamment inférieures à 5 NTU, respectant ainsi les normes de traitement des eaux usées. Ces différences soulignent les dynamiques spécifiques de chaque station et l'efficacité de leurs interventions de maintenance et d'ajustement de traitement (Fig. 37).



**Figure 37 :** Variation journalière de la turbidité des eaux décanteurs de ST2 et ST3

### III.2.2 Evaluation de la performance des décanteurs des deux stations ST2 et ST3

En se basant sur l'étude comparative des décanteurs entre les stations ST2 et ST3, il est possible d'évaluer la performance des quatre décanteurs de ces deux stations de traitement des eaux usées.

#### III.2.2.1 Performance des Décanteurs de ST2

- **Décanteur 1 de ST2 :**

- Initialement, une tendance ascendante de la turbidité est observée, nécessitant des ajustements pour stabiliser le processus.

- Malgré des fluctuations initiales, le décanteur finit par se stabiliser conformément aux normes après une période de variabilité, démontrant une capacité d'adaptation et de correction des défauts.

- **Décanteur 2 de ST2 :**

- Une valeur exceptionnellement élevée de la turbidité est enregistrée le 2 mai, entraînant un arrêt pour maintenance.

- Après l'arrêt, le décanteur reprend son fonctionnement normal avec des valeurs de turbidité redevenues conformes aux normes, mettant en lumière une gestion efficace des événements perturbateurs.

### III.2.2.2 Performance des Décanteurs de ST3

- **Décanteur 1 de ST3 :**

- Initialement, une turbidité élevée est observée, suivie d'une diminution progressive et de stabilisation, démontrant une efficacité dans le processus de décanter initial.

- Bien que des pics de turbidité soient observés, ils restent dans les limites acceptables, indiquant une bonne gestion des fluctuations et une réactivité aux événements perturbateurs.

- **Décanteur 2 de ST3 :**

- La turbidité montre une variation régulière avec quelques pics mineurs, mais reste généralement dans les normes de traitement des eaux usées.

- La stabilité relative est observée après des fluctuations initiales, soulignant une bonne performance globale du décanteur.

En évaluant la performance des quatre décanteurs des stations ST2 et ST3, il est possible de noter des différences dans leur réponse aux événements et dans leur capacité à maintenir des niveaux de turbidité conformes aux normes. Les décanteurs de ST2 ont démontré une réactivité face aux défauts initiaux, tandis que ceux de ST3 ont maintenu des niveaux de turbidité généralement plus bas avec une meilleure gestion des événements perturbateurs. Ces observations mettent en évidence les forces et les faiblesses de chaque station dans le processus de traitement des eaux usées, soulignant l'importance de la surveillance continue et de l'optimisation des procédés pour assurer une performance optimale.

## III.3 Eaux filtrées

On a deux types des eaux filtrées, la première de ST2 et la deuxième de ST3 et on a fait une comparaison approfondie avec l'évaluation de la performance du processus de filtration de chaque station ST2 et ST3.

### III.3.1 Etude comparative des eaux filtrées

Premièrement, dans la station Rocado, le fonctionnement des filtres de ST3 est automatisé. Parmi les 10 filtres de cette station, même avec un nombre élevé d'heures de fonctionnement, on observe des valeurs de turbidité légèrement supérieures aux normes. En revanche, les filtres de ST2, qui sont utilisés manuellement, présentent des valeurs de turbidité plus élevées que celles des filtres de ST3.

#### **Efficacité de la Filtration Automatisée vs Manuelle :**

Les filtres automatiques de ST3 sont conçus pour fonctionner de manière optimale avec un minimum d'intervention humaine, ce qui peut réduire les erreurs opérationnelles et maintenir des performances plus constantes.

Les filtres manuels de ST2, en revanche, dépendent de l'intervention humaine pour les ajustements et la maintenance, ce qui peut entraîner des variations plus importantes dans les performances et une efficacité moindre.

#### **Impact des Heures de Fonctionnement :**

Les filtres de ST3 montrent que, malgré un nombre élevé d'heures de fonctionnement, la turbidité peut rester proche des normes, mais a tendance à augmenter légèrement au fil du temps en raison de l'accumulation de particules.

Pour les filtres de ST2, les fluctuations de turbidité peuvent être plus prononcées, indiquant peut-être des cycles de nettoyage et de maintenance moins efficaces ou moins fréquents.

#### **Maintenance et Rétro lavage :**

Les systèmes automatiques de ST3 peuvent être programmés pour effectuer des cycles de rétro lavage réguliers et efficaces, maintenant ainsi des niveaux de turbidité plus bas et constants.

Les systèmes manuels de ST2 pourraient ne pas bénéficier de la même régularité et efficacité dans les cycles de rétro lavage, ce qui peut expliquer les valeurs de turbidité plus élevées observées.

#### **Fiabilité et Coût :**

Les systèmes automatiques, bien que plus coûteux à installer, peuvent offrir une meilleure fiabilité à long terme et des coûts de fonctionnement potentiellement inférieurs en raison de la réduction des besoins en main-d'œuvre et des performances optimisées.

Les systèmes manuels, bien que moins coûteux initialement, peuvent entraîner des coûts de fonctionnement plus élevés et des performances variables, nécessitant une intervention humaine régulière et des ajustements fréquents.

### **III.3.2 Evaluation de la performance des filtres des deux ST2 et ST3 :**

D'après les observations et les données fournies, le système de filtration automatique de la station ST3 s'avère être plus performant que le système manuel de la station ST2. Les filtres automatiques de ST3 parviennent à maintenir des niveaux de turbidité proches des normes, même après de nombreuses heures de fonctionnement, tandis que les filtres manuels de ST2 montrent des valeurs de turbidité plus élevées. Cette performance supérieure est attribuable à des cycles de rétro lavage plus réguliers et efficaces dans le système automatique, ce qui réduit l'accumulation de particules dans les filtres. De plus, les systèmes automatiques offrent des performances plus stables et constantes grâce à la réduction des erreurs opérationnelles humaines et à la possibilité de réglages automatiques en temps réel. En réduisant la nécessité d'intervention humaine, le système automatique minimise les risques de variabilité et d'incohérences dans le processus de filtration. En résumé, le système de filtration automatique de ST3 se distingue par sa capacité à maintenir une turbidité acceptable, son efficacité de rétro lavage et sa consistance de performance, démontrant ainsi sa supériorité par rapport au système manuel de ST2.

## Conclusion

Ce sujet, réalisée dans le cadre du Projet de Fin d'Études, a consisté en une analyse approfondie des performances des ouvrages de traitement de l'eau de la station Rocate de Marrakech, gérées par l'ONEE Branche d'Eau. Une attention particulière a été portée à la comparaison entre les deux stations de traitement, ST2 et ST3, afin d'évaluer la qualité de l'eau et l'efficacité des processus de filtration.

Les résultats obtenus montrent clairement que la station ST3 dépasse la station ST2 dans, presque, tous les aspects du traitement de l'eau. D'abord, l'efficacité de clarification est bonne au niveau de la station ST3, où les débourbeurs et les décanteurs éliminent plus efficacement les matières en suspension, réduisant ainsi la turbidité des eaux brutes. En termes de filtration, la station ST3 maintient des niveaux de turbidité plus bas même après de longues heures de fonctionnement, ce qui indique une meilleure performance de traitement dans ST3.

Cette étude a également mis en lumière l'impact du nombre d'heures du fonctionnement sur la performance des filtres. Au niveau de la station ST2, l'augmentation des heures de fonctionnement entraîne une détérioration de la qualité de l'eau filtrée comparé à la station ST3, où les filtres montrent une résilience. De plus, une corrélation a été observée entre le niveau d'eau dans les filtres et la turbidité de l'eau filtrée. Les dix (10) filtres de la ST3 parvient à maintenir une qualité d'eau constante même à des niveaux d'eau bas. Au contraire, les six (6) filtres de la station ST2, la turbidité augmente significativement dans des conditions similaires.

Pour améliorer la performance des ouvrages de la station Rocate, plusieurs recommandations sont formulées. Il est suggéré de

- Optimiser les pratiques de maintenance de la station ST2 en adoptant les méthodes efficaces automatisées de la station ST3 ainsi que des rétro lavages plus fréquents et une surveillance continue des filtres.
- Envisager une modernisation des équipements de la station ST2 pour les aligner sur les standards de ST3
- Le renforcement des compétences du personnel par des formations régulières sur les nouvelles technologies et des meilleures pratiques de gestion de l'eau.

- Enfin, un suivi régulier et détaillé de la qualité de l'eau, accompagné d'ajustements en temps réel des processus de traitement, est essentiel pour assurer une eau de haute qualité.

En conclusion, cette étude comparative entre les deux stations Rocate ST2 et ST3 a mis en lumière les écarts de performance et les opportunités d'amélioration. La mise en œuvre des recommandations proposées devrait permettre d'améliorer significativement l'efficacité de la station, garantissant ainsi une eau de meilleure qualité pour les habitants de Marrakech. L'ONEE Branche d'Eau, en tirant parti des enseignements de cette étude, peut optimiser ses processus et continuer à assurer un service public de haute qualité.

## Référence bibliographique :

- Aht- Resing.,(2016) – Diagnostic du sous bassin de N'fis. Rapport ABHT, 133p..
- Degrémont., (2005) – Memento technique de l'eau. Tome 1 ed., 2<sup>ème</sup>, 785p..
- MAREF N., (2019) – Traitement et épuration des eaux. Cours Master, FT, Univ. Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes, 56p..
- Mazor E., (1997) – Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology; The Applied Approach. Dekker ed., 2<sup>nd</sup>, 413p..
- Outini H. et Eddahbi H., (2023) – Etude comparative entre décanteur à circulation de boues et décanteur lamellaire. Rapport LST BA, FST, Univ. Cadi Ayyad, 59p..

## Webographie :

- Site 1 : <https://www.atner.ma/index.php/project/rehabilitation-de-la-st-rocade-marrakech/>
- Site 2 : <https://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les-enfants-et-si-on-en-apprenait-plus-sur-leau-du-robinet/cycle-de-leau/>
- Site 3 : <https://www.eaufrance.fr/les-eaux-souterraines>
- Site 4 : <https://abht.ma/bassin/infrastructures-hydrauliques/>
- Site 5 : <https://abht.ma/bassin/infrastructures-hydrauliques/>
- Site 6 : <https://www.safewater.org/french-fact-sheets/2017/2/8/traitement-eaux-conventionnel>