

# *Essais De Traitement Des Eaux Usées De Fabrication De Peinture Par Des Sulfates D'Aluminium Synthétisés A Partir De La Bauxite Locale*

## *[Test Of Treatment Of Wastewater From Paint Manufacturing With Aluminum Sulfates Synthesized From Local Bauxite]*

Clément Jurias Rasoloarimanana<sup>1\*</sup>, Jean Claude Omer Andrianarimanana<sup>1,3</sup>, Jean de Dieu Ramaroson<sup>2</sup>,  
Jeannot Bako Razafindrakoto<sup>3</sup>, Tiana Andriantsoa Rijarimanana<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Equipe d'Accueil Doctoral Sciences Expérimentales et Valorisation des Ressources Naturelles

Ecole Doctorale Gestion des Ressources Naturelles et Développement-Université d'Antananarivo Madagascar

<sup>2</sup>Département Matériaux et Génie Civil, Centre National des Recherches Industrielle et Technologie

<sup>3</sup>Ecole Normale Supérieure, Université d'Antananarivo Madagascar

\*Corresponding author : [rclementjurias@gmail.com](mailto:rclementjurias@gmail.com)



**Résumé** – Les caractérisations des eaux usées issues d'une usine de fabrication de peinture malgache ont montré que ces types d'eaux sont très chargés en matières organiques et en substances dissoutes surtout ceux des eaux usées de la fabrication des peintures à l'huile. Les valeurs des paramètres physico-chimiques tels que la turbidité, les matières en suspension et la demande chimique en oxygène sont prééminentes par rapport à celles des valeurs imposées par la norme des eaux de rejet Malagasy. Cette étude consiste à traiter ces eaux de rejet selon la méthode coagulation-floculation en utilisant le jar test. Deux types de sulfates d'aluminium ont été utilisés : le sulfate d'aluminium commercial (SAC) et les sulfates synthétisés à partir des bauxites locales (sulfate d'aluminium de Mantasoa (SAM) et sulfate d'aluminium de Soavinarivo (SAS)). Nous avons procédé séparément aux traitements des eaux usées issues des peintures à l'eau et celles issues des peintures à l'huile.

Lors du traitement des eaux usées issues des peintures à l'eau, les doses optimales sont obtenues pour 600 mg.L<sup>-1</sup> de SAC, 400 mg.L<sup>-1</sup> de SAM1 et 300 mg.L<sup>-1</sup> de SAS1. On a eu recours à la chaux pour réguler le pH.

Les eaux usées issues des peintures à l'huile ont été traitées avec des poudres de sulfates d'aluminium. Les doses optimales du SAC et du SAS2 présentent les mêmes valeurs 2,4 g alors que celle du SAM2 est de 2,7 g. Afin d'ajuster le pH, nous avons utilisé de l'hydroxyde de sodium.

Pour les charges ioniques (ammonium, nitrate, nitrite, phosphate), elles ont été diminuées en concentrations sauf celle des ions sulfates.

**Mots clés**–bauxite, sulfate d'aluminium, coagulation-floculation, jar test, turbidité, eaux usées de peinture.

**Abstract** – The characterizations of wastewater from a Malagasy paint manufacturing plant showed that these types of water are highly loaded with organic matter and dissolved substances, especially those from oil paint wastewater. The values of physicochemical parameters such as turbidity, suspended solids and chemical oxygen demand are much higher than those of the values imposed by the Malagasy discharge water standard. This study consists in treating this discharge water according to the coagulation-flocculation method using the jar test. Two types of aluminum sulfates were used: commercial aluminum sulfate (SAC) and sulfates synthesized from local bauxites (Mantasoa aluminum sulfate (SAM) and Soavinarivo aluminum sulfate (SAS)). We treated wastewater from water-based paints and oil-based paints separately.

When treating wastewater from water-based paints, optimal doses are obtained for 600 mg.L<sup>-1</sup> of SAC, 400 mg.L<sup>-1</sup> of SAM1 and 300 mg.L<sup>-1</sup> of SAS1. Lime was used to regulate the pH.

Wastewater from oil paints was treated with aluminum sulfate powders. The optimal doses of SAC and SAS2 have the same values 2.4 g while that of SAM2 is 2.7 g. In order to adjust the pH, we utilized sodium hydroxide.

For the ionic charges (ammonium, nitrate, nitrite, phosphate), they have been reduced in concentrations except that of sulfate ions.

**Keywords**—bauxite, aluminum sulfate, coagulation-flocculation, jar test, turbidity, paint wastewater.

## I. INTRODUCTION

Les eaux usées issues des usines de peinture proviennent des processus de lavage et de rinçage des équipements et des outils utilisés lors de la fabrication de la peinture [1]. Il existe plusieurs types d'eaux usées de peinture qui se différencient selon les composants de la peinture utilisée, entre autres, l'eau usée de peinture à l'eau, l'eau usée de peinture à l'huile, l'eau usée de peinture acrylique, l'eau usée en aérosol....

Ces eaux usées peuvent contenir des substances nocives pour l'environnement telles que des pigments, des solvants organiques, des diluants et d'autres produits chimiques potentiellement nocifs ([2], [3]). En raison de leurs compositions, il est crucial de gérer correctement et de traiter ces eaux usées avant d'être rejetées dans la nature pour éviter la pollution de l'eau, de l'air et des sols [4].

De nombreuses études ont été déjà effectuées pour traiter ce type d'eaux. Les procédés les plus connus sont la coagulation-floculation [5], la microfiltration [6] et l'oxydation [7]. Cependant, des coagulants chimiques comme le polychlorure d'aluminium [8], le chlorure de fer et le sulfate d'aluminium [9] ou des biocoagulants comme le *Moringa Oleifera* [10], l'*Eichhornia Crassipes* [11] et l'*Opuntia Ficus Indica* ([12], [13]) sont utilisés fréquemment.

Notre objectif est de traiter les eaux usées issues des usines de fabrication de peinture en vue de les réutiliser pour préserver l'environnement.

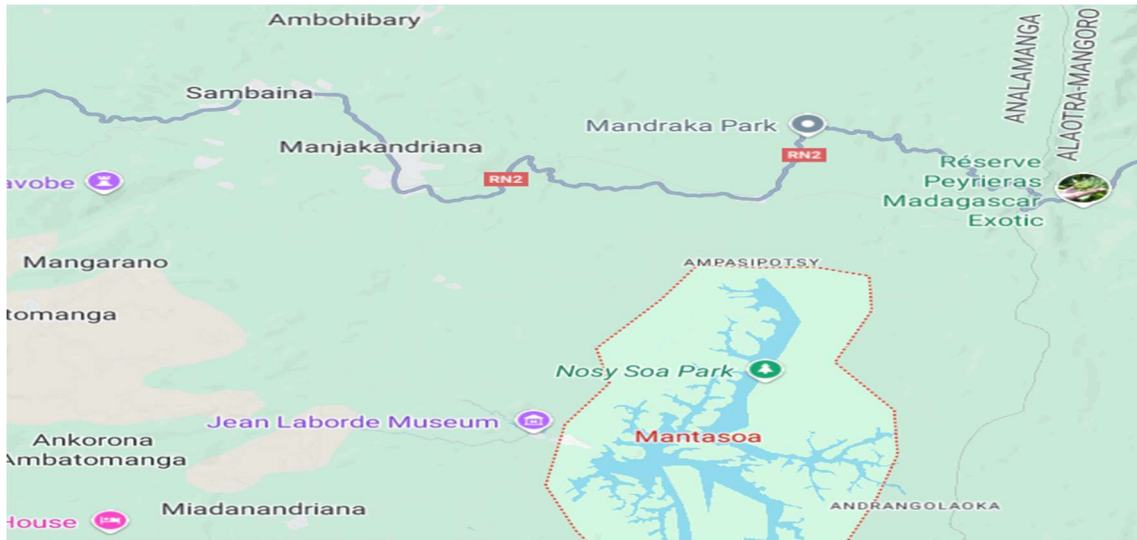
Pour ce faire, nous avons procédé à la méthode coagulation-floculation en utilisant des sulfates d'aluminium synthétisés à partir des bauxites de notre pays afin d'étudier la turbidité, le pH, la demande chimique en oxygène (DCO) et l'élimination de certains ions : ammonium, nitrate, nitrite et phosphate.

## II. MATERIELS ET METHODES

### 2.1. Caractérisation des bauxites

#### 2.1.1. Localisation des prélèvements de Bauxite

Les deux bauxites utilisées ont été prélevées dans deux endroits différents. L'une provient de Mantasoa, dans le district de Manjakandriana (RN2) et l'autre, de Soavinarivo, dans le district d'Anjozorobe (RN3).



**Photo 1** : Localisation de Mantasoa (Source : google map)



**Photo 2** : Localisation de Soavinarivo (Source : google map)

### 2.1.2. Caractérisation des bauxites

Les analyses minéralogiques des échantillons ont été réalisées auprès du laboratoire OMNIS Madagascar à savoir les compositions chimique de l'échantillon par la méthode à la fluorescence au rayon X.

L'appareillage utilisé est un spectromètre de fluorescence X à dispersion d'énergie dont la marque commerciale est du type HUATEC INSTRUMENTAL 120 DP.

Les compositions majeures en oxyde dans nos échantillons de bauxite sont l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), l'oxyde de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), l'oxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ), l'oxyde de magnésium ( $\text{MgO}$ ), l'oxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ).

## 2.2. Caractérisation des sulfates d'aluminium

Plusieurs types de sulfates d'aluminium ont été utilisés lors du traitement. Nous pouvons les classer en deux catégories :

- Le sulfate d'aluminium commercial, qui est un produit disponible au magasin SPCI Antananarivo,
- Les sulfates d'aluminium synthétiques obtenus à partir des bauxites locales. Ils ont été préparés par la réaction à chaud entre la poudre de bauxite et l'acide sulfurique concentré (à 25%).

Nous avons nommé nos produits comme suit : le sulfate d'aluminium de Mantasoa (SAM) et le sulfate d'aluminium de Soavinarivo (SAS).

Les différents constituants de ces sulfates d'aluminium ont été déterminés à partir du spectromètre aux fluorescences X.

## 2.3. Essais de traitement des eaux

### 2.3.1. Lieu de prélèvement des eaux brutes

Les échantillons d'eaux usées ont été prélevés à l'usine de fabrication et de vente de peinture AURLAC, sise dans la zone industrielle sur la route Digue Andohatapenaka Antananarivo. Depuis 1986, cette usine, fabrique plusieurs gammes de produits comme les enduits, les peintures à l'eau, les peintures glycérophtaliques, les diluants,....

### 2.3.2. Caractérisation des eaux usées brutes et matériels de mesure

Nous avons analysé deux types d'eaux usées : les eaux de lavage des matériels de fabrication de peinture à l'eau et celles des peintures à l'huile.

Les paramètres physico-chimiques étudiés sont :

- Les facteurs organoleptiques et physiques : le pH, la turbidité, la température, la conductivité et les matières en suspension.

Le pH a été mesuré par un pH-mètre (Mettler Toledo),

La température et la conductivité ont été déterminées au moyen d'un conductimètre (WTW cond 7110).

La turbidité a été mesurée par un turbidimètre (HACH 2100Q)

Les matières en suspension ont été déterminées à l'aide d'un ~~par~~ colorimètre multifonction (DR/890).

- Le facteur biologique : la demande chimique en oxygène (DCO).

La DCO a été déterminée par oxydation au bichromate de potassium.

- Les facteurs chimiques : l'ammonium, le nitrate, le nitrite, le phosphate et le sulfate.

Les concentrations de ces ions ont été déterminées à partir du spectromètre UV-31 SCAN.

Le calcul du taux d'abattement d'un paramètre X, exprimé en pourcentage est donné par la relation :

$$T a u x \text{ d' a b a t t e m e n t } (X) = \frac{[X]_i - [X]_f}{[X]_i} \times 100$$

Où  $[X]_i$  concentration initiale de X

$[X]_f$  concentration finale de X

### 2.3.3. Essai de traitement par le Jar Test

Un flocculateur de Jar Test, équipé de 6 béciers dont la vitesse de rotation de l'appareil peut varier de 0 à 300 tours par minute pour l'agitation.

Nous avons opté, en premier, pour une agitation rapide allant de 250 tours par minute pendant 5 minutes, suivi d'une agitation lente de 50 tours par minute pendant 20 minutes. Une fois l'agitation terminée, la solution obtenue a été laissée au repos pendant 30 minutes.

### 2.3.4. Préparation de la dose de sulfates d'aluminium

Pour les eaux usées de peinture à l'eau, les sulfates d'aluminium ont été préparés en solution de concentration 10 g.L<sup>-1</sup>, tandis que pour les eaux usées de peinture à l'huile, les sulfates d'aluminium étaient des poudres et les différentes doses utilisées ont été pesées à l'aide d'une balance de précision.

Le pH de chaque solution a été ajusté respectivement avec de la chaux pour le traitement des eaux usées de peinture à l'eau et par l'hydroxyde de sodium solide pour le traitement des eaux usées de peinture à l'huile.

## III. RESULTATS

### 3.1. Analyse des constituants des bauxites

Le tableau 1 résume les différentes compositions des éléments majeurs dans les deux bauxites utilisées.

**Tableau 1** : Composition minéralogique des bauxites de Mantasoa et de Soavinarivo.

| Composition (%)        | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | MgO  | TiO <sub>2</sub> | Autres |
|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------------------|--------|
| Bauxite de Mantasoa    | 78,42                          | 4,31                           | 8,16             | 1,01 | 0,53             | 7,57   |
| Bauxite de Soavinarivo | 58,15                          | 9,71                           | 15,3             | 1,33 | 0,73             | 14,77  |

Ces différentes concentrations montrent que la bauxite de Mantasoa est plus riche en aluminium et moins riche en fer et inversement, la bauxite de Soavinarivo est moins riche en aluminium mais plus riche en fer.

### 3.2. Analyse des constituants des sulfates d'aluminium

Les éléments majeurs qui constituent le sulfate d'aluminium sont l'aluminium, le fer, le soufre, le magnésium, le silicium et le titane. Leurs proportions sont regroupées dans le tableau 2.

**Tableau 2** : Analyse des constituants des sulfates d'aluminium

| Echantillon                    | %Al  | %Fe  | %S    | %Mg  | %Si  | %Ti  |
|--------------------------------|------|------|-------|------|------|------|
| Sulfate d'aluminium commercial | 5,41 | 0,47 | 24,89 | 1,60 | 0,81 | 0,18 |
| SAM1                           | 5,82 | 0,80 | 37,17 | 2,25 | 0,76 | 0,12 |
| SAM2                           | 5,26 | 1,60 | 31,23 | 1,67 | 0,89 | 0,19 |

|             |      |      |       |      |      |      |
|-------------|------|------|-------|------|------|------|
| <b>SAS1</b> | 5,39 | 1,70 | 35,46 | 2,01 | 0,77 | 0,12 |
| <b>SAS2</b> | 4,73 | 3,99 | 32,15 | 1,81 | 0,86 | 0,17 |

Une grande différence se trouve au niveau des pourcentages du fer, du soufre et du magnésium mais pour les pourcentages de l'aluminium, du silicium et du titane, leurs valeurs varient peu.

Les sulfates d'aluminium synthétisés SAM1 et SAS1 possèdent les plus hautes teneurs en constituants par rapport au sulfate d'aluminium commercial.

### 3.3. Paramètres physico-chimiques des eaux brutes

Les eaux usées de peinture sont caractérisées par des hautes teneurs en turbidité, en conductivité, en matière en suspension (MES) et en demande chimique en oxygène (DCO), particulièrement les eaux usées de peinture à l'huile. Les valeurs des paramètres physico-chimiques des eaux brutes ont été analysées au laboratoire de la Jirama et représentées dans le tableau 3.

**Tableau 3** : Paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes

| Paramètre                                                            | Eau usée de peinture à l'eau | Eau usée de peinture à l'huile | Norme Malagasy |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------|
| <b>Aspect</b>                                                        | Marron                       | Violet                         | Incolore       |
| <b>pH</b>                                                            | 7,19                         | 7,25                           | 6 à 9          |
| <b>Turbidité (NTU)</b>                                               | 825                          | 14 178                         | 25             |
| <b>Température (°C)</b>                                              | 19,8                         | 23,6                           | 30             |
| <b>Conductivité (<math>\mu\text{S.cm}^{-1}</math>)</b>               | 149,5                        | 2 830                          | 200            |
| <b>Matière en suspension (<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b>         | 421                          | 11 985                         | 60             |
| <b>DCO (<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b>                           | 259,2                        | 27 840                         | 150            |
| <b>TDS (<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b>                           | 140                          | 2 614,92                       |                |
| <b><math>\text{NH}_4^+</math> (<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b>    | 1,7606                       | 3,7078                         | 15             |
| <b><math>\text{NO}_3^-</math> (<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b>    | 1,3434                       | 17,926                         | 20             |
| <b><math>\text{NO}_2^-</math> (<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b>    | 0,7249                       | 3,0251                         | 0,2            |
| <b><math>\text{PO}_4^{3-}</math> (<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b> | 4,8988                       | 23,241                         | 10             |
| <b><math>\text{SO}_4^{2-}</math> (<math>\text{mg.L}^{-1}</math>)</b> | 24,031                       | 23,807                         | 250            |

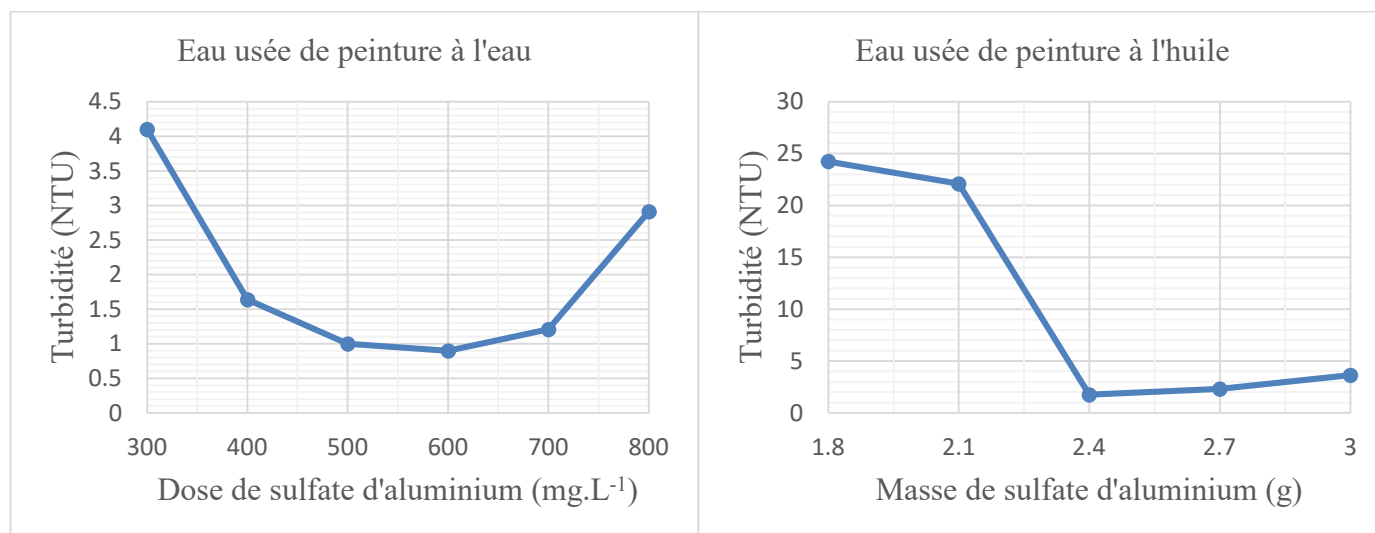
Comparer à la norme Malagasy, les paramètres physico-chimiques des eaux brutes sont conformes à l'exception de la turbidité, des MES, de la DCO et du nitrite pour les deux eaux usées et en particulier la conductivité et le phosphate pour l'eau usée de peinture à l'huile.

### 3.4. Essai de traitement par le sulfate d'aluminium

Les courbes de la turbidité en fonction de la dose de sulfate d'aluminium montrent une diminution de la turbidité au fur et à mesure que la dose de sulfate d'aluminium augmente. Toutefois, la turbidité se stabilise lorsque la dose optimale en sulfate d'aluminium est atteinte. Au-delà de cette valeur, elle subit une légère augmentation.

Les résultats de nos études pour les différentes doses de sulfates d'aluminium sont présentés par les figures 1, 2 et 3 ; les doses optimales obtenues pour chaque type de sulfates d'aluminium sont résumées dans les tableaux 5 et 6.

#### 3.4.1. Traitement avec le sulfate d'aluminium commercial



**Figure 1** : Variation de la turbidité des eaux traitées en fonction de la dose de sulfate d'aluminium

Les doses optimales de sulfate d'aluminium sont respectivement 600 mg.L<sup>-1</sup> pour la peinture à l'eau et 2,4g pour la peinture à l'huile.

**Tableau 4** : Comparaison des paramètres physico-chimiques de la dose optimale par rapport à la norme Malagasy

| Paramètre                                   | Eau usée de peinture à l'eau | Eau usée de peinture à l'huile | Norme Malagasy |
|---------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------|
| Aspect                                      | Incolore                     | Jaune très clair               | Incolore       |
| pH                                          | 7,61                         | 6,54                           | 6 à 9          |
| Turbidité (NTU)                             | 0,90                         | 1,77                           | 25             |
| Température (°C)                            | 20,6                         | 24,4                           | 30             |
| Conductivité (µS.cm <sup>-1</sup> )         | 547                          | 13 080                         | 200            |
| Matière en suspension (mg.L <sup>-1</sup> ) | 0                            | 0                              | 60             |
| DCO (mg.L <sup>-1</sup> )                   | 96                           | 5491,2                         | 150            |



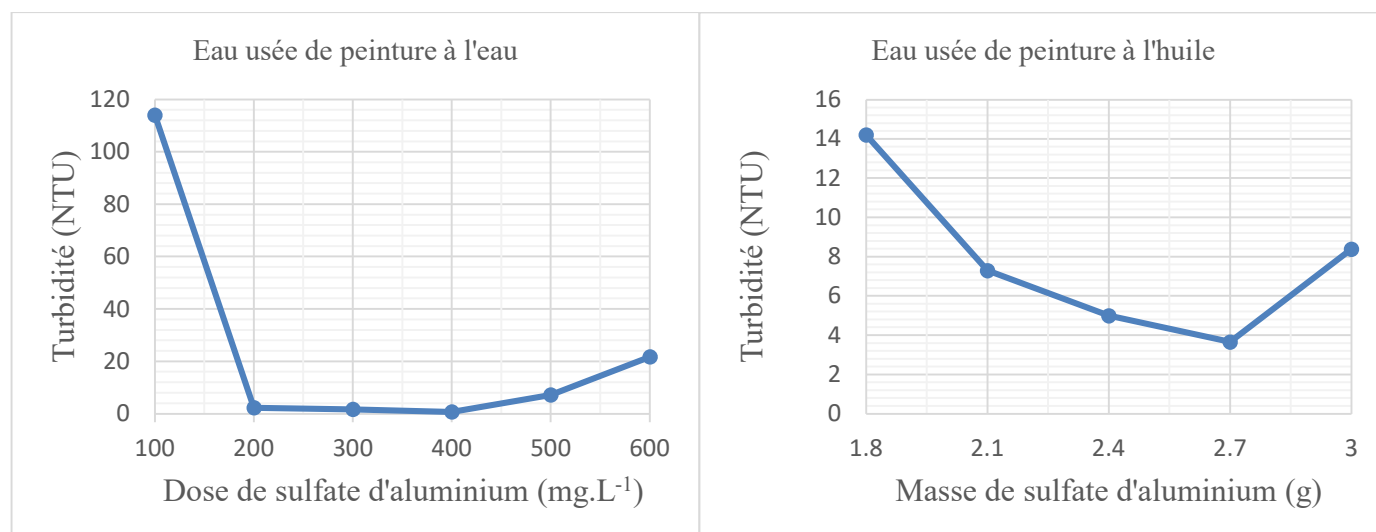
|                                   |        |        |     |
|-----------------------------------|--------|--------|-----|
| $NH_4^+$ (mg.L <sup>-1</sup> )    | 0,591  | 3,7078 | 15  |
| $NO_3^-$ (mg.L <sup>-1</sup> )    | 0,3128 | 9,8125 | 20  |
| $NO_2^-$ (mg.L <sup>-1</sup> )    | 0,0062 | 2,0171 | 0,2 |
| $PO_4^{3-}$ (mg.L <sup>-1</sup> ) | 0,0234 | 0,3766 | 10  |
| $SO_4^{2-}$ (mg.L <sup>-1</sup> ) | 99,803 | 661,59 | 250 |

Nous constatons que :

- La conductivité et la concentration en sulfate augmentent à cause des ions sulfates apportés par les sulfates d'aluminium,
- La DCO, les concentrations en ammonium, en nitrate, en nitrite et en phosphate diminuent.

Par rapport à la norme, les résultats obtenus avec la peinture à l'eau sont conformes sauf la conductivité. Cependant, pour la peinture à l'huile, la conductivité, la DCO, le nitrite et le sulfate sont largement supérieurs à la norme.

### 3.4.2. Traitement avec le sulfate d'aluminium de Mantasoa



**Figure 2** : Variation de la turbidité des eaux traitées en fonction de la dose de sulfate d'aluminium

Les doses optimales de sulfate d'aluminium sont 400 mg.L<sup>-1</sup> pour la peinture à l'eau et 2,7g pour la peinture à l'huile.

**Tableau 5** : Comparaison des paramètres physico-chimiques de la dose optimale par rapport à la norme Malagasy

| Paramètre       | Eau usée de peinture à l'eau | Eau usée de peinture à l'huile | Norme Malagasy |
|-----------------|------------------------------|--------------------------------|----------------|
| Aspect          | Incolore                     | Jaune très clair               | Incolore       |
| pH              | 7,58                         | 6,53                           | 6 à 9          |
| Turbidité (NTU) | 0,69                         | 3,66                           | 25             |



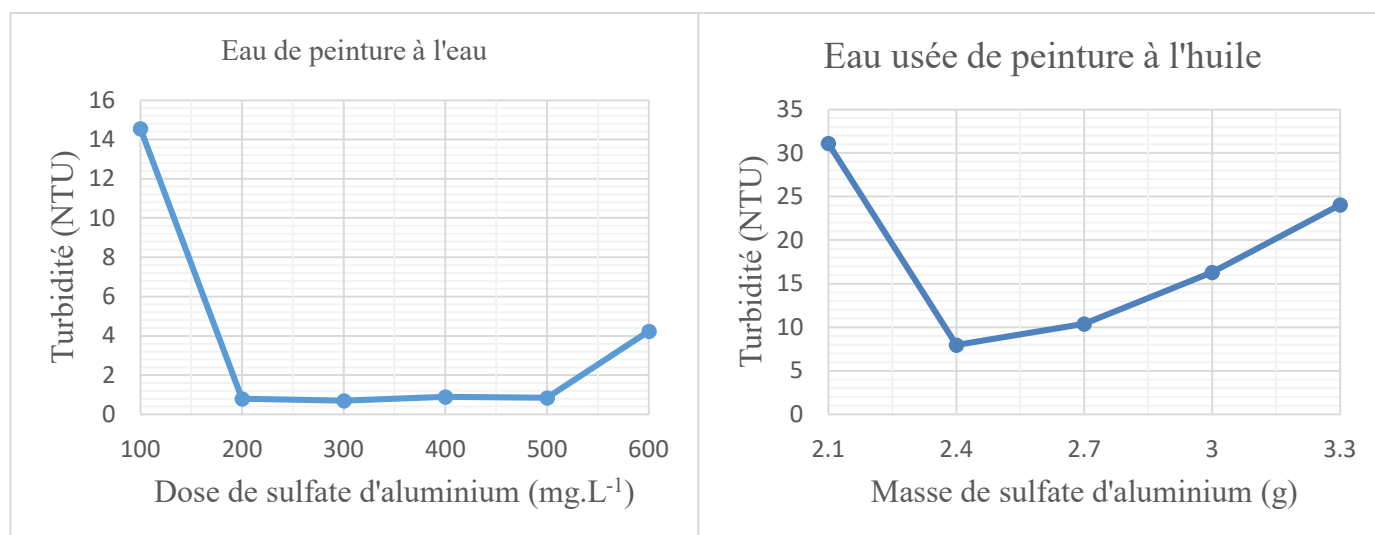
|                                                     |        |        |     |
|-----------------------------------------------------|--------|--------|-----|
| Température (°C)                                    | 19,9   | 24,6   | 30  |
| Conductivité (µS.cm <sup>-1</sup> )                 | 503    | 18 120 | 200 |
| Matière en suspension (mg.L <sup>-1</sup> )         | 0      | 0      | 60  |
| DCO (mg.L <sup>-1</sup> )                           | 67,2   | 5587,2 | 150 |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )  | 0,7037 | 2,4556 | 15  |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )  | 0,3141 | 7,5606 | 20  |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )  | 0,0052 | 2,0171 | 0,2 |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> ) | 0,0116 | 0,4238 | 10  |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> ) | 120,43 | 652,85 | 250 |

Ces résultats montrent que :

- La conductivité et la concentration en sulfate augmentent,
- La DCO, les concentrations en ammonium, en nitrate, en nitrite et en phosphate diminuent.

Les résultats obtenus avec la peinture à l'eau sont conformes la norme sauf pour la conductivité. Pour la peinture à l'huile, la conductivité, la DCO, le nitrite et le sulfate sont largement supérieurs à la norme.

#### 3.4.3. Sulfate d'aluminium de Soavinarivo



**Figure 3** : Variation de la turbidité des eaux traitées en fonction de la dose de sulfate d'aluminium

Les doses optimales de sulfate d'aluminium sont 300 mg.L<sup>-1</sup> pour la peinture à l'eau et 2,4g pour la peinture à l'huile.

**Tableau 6** : Comparaison des paramètres physico-chimiques de la dose optimale par rapport à la norme Malagasy

| Paramètre                                    | Eau usée de peinture à l'eau | Eau usée de peinture à l'huile | Norme Malagasy |
|----------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------|
| Aspect                                       | Incolore                     | Jaune très clair               | Incolore       |
| pH                                           | 6,97                         | 6,90                           | 6 à 9          |
| Turbidité (NTU)                              | 0,70                         | 7,97                           | 25             |
| Température (°C)                             | 17,7                         | 24,7                           | 30             |
| Conductivité ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )       | 426                          | 18 660                         | 200            |
| Matière en suspension ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) | 0                            | 4                              | 60             |
| DCO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )                   | 92,16                        | 6124,8                         | 150            |
| $\text{NH}_4^+$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )       | 0,467                        | 3,7073                         | 15             |
| $\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )       | 0,3217                       | 5,6545                         | 20             |
| $\text{NO}_2^-$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )       | 0,0052                       | 2,8951                         | 0,2            |
| $\text{PO}_4^{3-}$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )    | 0,0116                       | 0,5533                         | 10             |
| $\text{SO}_4^{2-}$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )    | 94,199                       | 672,13                         | 250            |

Nous constatons que :

- La conductivité et la concentration en sulfate augmentent,
- La DCO, les concentrations en ammonium, en nitrate, en nitrite et en phosphate diminuent.

Les résultats obtenus avec la peinture à l'eau sont conformes à la norme sauf pour la conductivité. Pour la peinture à l'huile, la conductivité, la DCO, le nitrite et le sulfate sont largement supérieurs à la norme.

#### IV. DISCUSSIONS

##### 4.1. Abattement de la turbidité

Les eaux usées traitées lors des trois essais montrent que la turbidité a été fortement diminuée.

Les 2 types de sulfate d'aluminium synthétiques représentent les mêmes efficacités aussi bien dans les eaux usées de peinture à l'eau que dans les eaux usées de peinture à l'huile par rapport au sulfate d'aluminium commercial.

Les tableaux 7 et 8 regroupent les résultats obtenus sur l'abattement de la turbidité de ces deux eaux usées.

**Tableau 7 :** Taux d'abattement de la turbidité pour les différents sulfates d'aluminium (cas de l'eau usée de peinture à l'eau)

|                                             | Taux d'abattement (%) |
|---------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Sulfate d'aluminium commercial</b>       | 99,89                 |
| <b>Sulfate d'aluminium de Mantasoa 1</b>    | 99,91                 |
| <b>Sulfate d'aluminium de Soavinarivo 1</b> | 99,91                 |

**Tableau 8 :** Taux d'abattement de la turbidité pour les différents sulfates d'aluminium (cas de l'eau usée de peinture à l'huile)

|                                             | Taux d'abattement (%) |
|---------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Sulfate d'aluminium commercial</b>       | 99,98                 |
| <b>Sulfate d'aluminium de Mantasoa 2</b>    | 99,97                 |
| <b>Sulfate d'aluminium de Soavinarivo 2</b> | 99,94                 |

D'après les tableaux 7 et 8, nous avons obtenu des résultats satisfaisants avec un taux d'abattement supérieur à 99%.

D'autres chercheurs ont aussi trouvé un abattement de la turbidité des eaux usées de peinture de 95 % avec le sulfate d'aluminium seul [9] et 99,4 % avec le sulfate d'aluminium+floculant cationique [14].

Par ailleurs, d'autres méthodes ont été déjà développées pour le traitement des eaux usées de peinture à l'eau comme l'électrochimie ou l'oxydation électrochimique en utilisant du chlorure de sodium comme électrolyte et de l'électrode en carbone ([2], [15]). Ils ont obtenu un taux d'élimination de la turbidité de 87,1 % et de 96,56 %.

D'après ces résultats, nous pouvons affirmer l'efficacité du traitement par coagulation –floculation.

#### 4.2. Evolution du pH

Dans le procédé coagulation – floculation, il est important de contrôler le pH des solutions à traiter [16]. Au départ, les pH de chaque eaux usées brutes sont respectivement 7,19 pour l'eau usée de peinture à l'eau et 7,25 pour l'eau usée de peinture à l'huile. Après ajout de sulfates d'aluminium, ces valeurs se sont trouvées entre 3 et 5,5 en fonction de la dose versée. C'est pourquoi nous avons procédé à l'ajustement du pH en utilisant de la chaux pour la peinture à l'eau et des grains de soude pour la peinture à l'huile.

Suite à des références bibliographiques, les sulfates d'aluminium réagissent favorablement sous forme d'hydroxyde d'aluminium ( $Al(OH)_3$ ) dans la plage de pH 6 à 7,5 [17], appelé pH de coagulation en adsorbant les matières organiques sur sa couche externe. En dehors de cette plage, l'aluminium prend plusieurs formes de complexes comme  $Al^{3+}$ ,  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al(OH)_2^+$  à pH<6 et  $Al(OH)_4^-$  à pH>7,5 [18]. Mais selon Mounir, dans son étude, cette plage se trouve dans la zone comprise entre 5 et 8 d'après le diagramme de prédominance de l'hydroxyde d'aluminium [19].

Même si le pH de coagulation est défini, il existe encore des exceptions pour certains chercheurs comme Hazourli, dans son étude sur l'analyse des eaux usées chargées de peinture, a trouvé un pH optimal égal à 5 (pH acide) avec le sulfate d'aluminium et le sulfate de fer [14]. Par ailleurs, Naeem a obtenu un pH optimal de 8,5 (pH basique) dans le traitement des eaux usées de papier peint en utilisant des radiations gamma combinées avec du sulfate d'aluminium (coagulant) et du charbon actif (adsorbant) pour l'élimination de la turbidité, de la DCO, de la conductivité [20].

Dans notre étude, les valeurs du pH optimal se sont trouvées entre 6,54 et 7,61 et confirment bien les études ci-dessus.

#### 4.3. Réduction de la DCO

Le processus d'élimination de la DCO des eaux usées de peinture est crucial pour minimiser les conséquences environnementales néfastes de ces déchets. Les valeurs de la DCO des eaux usées brutes non traitées sont respectivement 259,2 mg.L<sup>-1</sup> pour la peinture à l'eau et 27840 mg.L<sup>-1</sup> pour la peinture à l'huile. Elles sont supérieures à la limite imposée par la norme des eaux de rejets (150 mg.L<sup>-1</sup>) [21]. Cela peut être dû à la charge organique provenant des solvants, des pigments, des additifs et d'autres substances qui composent l'effluent de peinture [2].

Les résultats de nos recherches ont montré que les sulfates utilisés n'arrivent pas à éliminer totalement la DCO.

Les tableaux 9 et 10 représentent le taux de d'élimination de la DCO pour chaque type d'eaux usées.

**Tableau 9** : Taux d'élimination de la DCO pour l'eau usée de peinture à l'eau

|                                             | Taux d'élimination de la DCO (%) |
|---------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Sulfate d'aluminium commercial</b>       | 62,96                            |
| <b>Sulfate d'aluminium de Mantasoa 1</b>    | 74,07                            |
| <b>Sulfate d'aluminium de Soavinarivo 1</b> | 62,51                            |

**Tableau 10** : Taux d'élimination de la DCO pour l'eau usée de peinture à l'huile

|                                             | Taux d'élimination de la DCO (%) |
|---------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Sulfate d'aluminium commercial</b>       | 80,27                            |
| <b>Sulfate d'aluminium de Mantasoa 2</b>    | 79,93                            |
| <b>Sulfate d'aluminium de Soavinarivo 2</b> | 78                               |

Pour la peinture à l'eau, nous avons obtenu un taux d'élimination maximale à 74,07% avec le SAM1 et pour la peinture à l'huile, les taux d'élimination sont au voisinage de 80%.

Certains chercheurs ont obtenu presque les mêmes résultats avec du sulfate d'aluminium :

- 67% en étudiant les eaux usées de peinture à l'eau [22],
- Entre 70% et 95% avec les eaux usées de peinture [9],
- Entre 75% et 80% avec de la peinture latex [8].

#### 4.4. Elimination des charges ioniques

Selon nos résultats, nous pouvons affirmer qu'avec nos différents paramètres optimaux de traitement obtenus (pH, température, turbidité) la réduction des charges ioniques (ammonium, nitrate, nitrite, phosphate) au moyen des sulfates d'aluminium est efficace sauf pour les ions sulfates qui augmentent en concentrations en fonction de la dose versée. Les tableaux 11 et 12 résument ces résultats.

**Tableau 11** : Taux d'élimination des charges ioniques pour les différents sulfates d'aluminium (cas de l'eau usée de peinture à l'eau)

|                                   | Taux d'élimination des charges ioniques (%) |                                  |                                     |
|-----------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
|                                   | Sulfate d'aluminium commercial              | Sulfate d'aluminium de Mantasoa1 | Sulfate d'aluminium de Soavinarivo1 |
| $NH_4^+$ (mg.L <sup>-1</sup> )    | 66,43                                       | 60,03                            | 73,47                               |
| $NO_3^-$ (mg.L <sup>-1</sup> )    | 76,71                                       | 76,61                            | 75,83                               |
| $NO_2^-$ (mg.L <sup>-1</sup> )    | 99,14                                       | 99,28                            | 99,28                               |
| $PO_4^{3-}$ (mg.L <sup>-1</sup> ) | 99,52                                       | 99,76                            | 99,76                               |

Les mêmes taux d'élimination ont été obtenus avec les différents sulfates d'aluminium : l'élimination de l'ammonium se trouve entre 60 et 74%, le nitrate est au voisinage de 76%, le nitrite et le phosphate sont presque totalement éliminés.

**Tableau 12** : Taux d'élimination des charges ioniques pour les différents sulfates d'aluminium (cas de l'eau usée de peinture à l'huile)

|                                   | Taux d'élimination des charges ioniques (%) |       |       |
|-----------------------------------|---------------------------------------------|-------|-------|
|                                   | SAC                                         | SAM2  | SAS2  |
| $NH_4^+$ (mg.L <sup>-1</sup> )    | 0                                           | 41,86 | 0,01  |
| $NO_3^-$ (mg.L <sup>-1</sup> )    | 45,26                                       | 57,82 | 68,45 |
| $NO_2^-$ (mg.L <sup>-1</sup> )    | 33,32                                       | 33,32 | 42,97 |
| $PO_4^{3-}$ (mg.L <sup>-1</sup> ) | 98,38                                       | 98,17 | 97,62 |

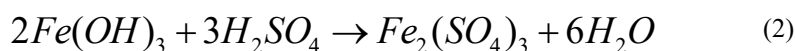
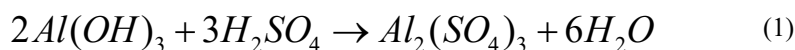
Ce tableau montre que le SAC et le SAS2 n'a aucun effet sur l'élimination de l'ammonium tandis que le SAM2 l'a réduit la moitié. Ce phénomène est du peut être par la dose en excès de sulfate d'aluminium ajouté (2,7g pour le SAM2 et 2,4g pour le SAC et le SAS2). Le nitrate est éliminé à moitié avec les trois types de sulfates d'aluminium mais le nitrite est faiblement éliminé. Avec les ions phosphates, nous avons obtenu les mêmes taux d'élimination au voisinage de 98%.

D'après les chercheurs, le processus d'élimination des ions ammonium, nitrate, nitrite et phosphate par le sulfate d'aluminium repose sur la formation de précipités qui peuvent être facilement éliminés par décantation et filtration.

Les composés insolubles capables de se former sont respectivement le sulfate d'ammonium ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), le nitrate d'aluminium (Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>), le nitrite d'aluminium (Al(NO<sub>2</sub>)<sub>3</sub>) et le phosphate d'aluminium (AlPO<sub>4</sub>). Parallèlement à ces réactions, une partie des cations aluminium Al<sup>3+</sup> précipite avec les ions hydroxydes OH<sup>-</sup> pour former de l'hydroxyde d'aluminium (Al(OH)<sub>3</sub>). Ce dernier participe à la floculation des particules [23].

#### 4.5. Influence du coagulant

D'après le tableau 2, les taux de fer et du soufre présents dans les sulfates d'aluminium synthétiques sont plus importants que ceux dans le sulfate d'aluminium commercial. Par conséquent, il existe la possibilité de formation du sulfate ferrique dans nos produits, selon les équations :



En effet, Le sulfate ferrique est un agent coagulant moins efficace que le sulfate d'aluminium mais qui peut être utilisé lors du traitement des eaux usées ([8], [9]) pour l'élimination des matières polluantes, des matières organiques et des solides en suspension. [24]

De ce fait, Nous pouvons affirmer que son existence dans nos produits a amélioré nos résultats lors de l'utilisation du SAS. Toutefois, même s'il est moins riche en aluminium par rapport aux autres sulfates d'aluminium, il présente un taux de fer plus élevé, les résultats obtenus ont été satisfaisants.

### V. CONCLUSION

Le traitement des eaux usées de peinture demande une forte dose de coagulant en particulier les eaux usées de peinture à l'huile. Dans le cas du traitement des eaux usées de peinture à l'eau, notre étude nous a permis d'obtenir un meilleur abattement de la turbidité à 99,91 % avec les sulfates d'aluminium synthétiques SAM1 et le SAS1 et le taux de réduction maximal de la DCO étant 74,07 % avec le SAM1. Pour le cas du traitement des eaux usées de peinture à l'huile, les trois types de sulfates d'aluminium SAC, SAM2, SAS2 ont donnés presque les mêmes résultats. Nous avons obtenu respectivement 99,98 % et environ 80 % sur l'abattement de la turbidité et le taux de réduction de la DCO.

Les concentrations des charges ioniques ont été diminuées pour chaque type d'eaux traitées, sauf pour les ions sulfates.

Ainsi, en se référant à la norme des eaux de rejets Malagasy, nos différents résultats sont tous conformes à l'exception de la DCO pour la peinture à l'huile, des conductivités électriques et de la concentration des ions sulfates.

Dans une perspective à venir, pour réduire les doses de traitement et éliminer les substances nocives, on pourrait proposer, l'utilisation combinée des sulfates d'aluminium synthétiques avec des biocoagulants comme la jacinthe d'eau qui est très abondante chez nous.

### REFERENCES

- [1] X. Li, W. Zhang, S. Lai, Y. Gan, J. Li, T. Ye, J. You, S. Wang, H. Chen, W. Deng, Y. Liu, W. Zhang, G. Xue, "Efficient organic pollutants removal from industrial paint wastewater plant employing Fenton with integration of oxic/hydrolysis acidification/oxic", Chemical Engineering Journal, vol. 332, pp. 440–448, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.09.008>.
- [2] Paints. <https://www.essentialchemicalindustry.org/materials-and-application/paints.html>. (Consulté le 8 Novembre 2024)
- [3] B.K. Korbati, N. Aktas, A. Tanyolac, "Optimization of electrochemical treatment of simulated industrial paint wastewater in a continuous tubular reactor", Chemical Engineering Journal, vol. 148, pp. 444-451, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.09.019>.
- [4] Y.N. Jolly, A. Hossain, A. Sattar, A. Islam, "Impact of heavy metals on water and soil environment of a paint industry", Journal of Bangladesh Chemical Society, vol. 25, pp. 159-165, 2012. <https://doi.org/10.3329/jbcs.v25i2.15068>.
- [5] A. Adnan, H. Esmanur, Ö. Ayşe, "Determination of optimum treatment conditions for paint industry wastewater with the coagulation/flocculation method", Desalination and Water Treatment, vol. 211, pp. 165–176, 2021. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.26624>.

- [6] B.K. Dey, M.A. Hashim, S. Hasan, B.S. Gupta, "Microfiltration of water-based paint effluents", *Advances in Environmental Research*, vol. 8, pp. 455-466, 2004. [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(02\)00122-3](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(02)00122-3).
- [7] T. Urase, "Key Technologies for the Treatment of Wastewater from Textile and Paint Industries", *Journal of the Japan Society of Colour Material*, vol. 96, pp. 400-404, 2023. <https://doi.org/10.4011/shikizai.96.400>.
- [8] R. Renato, "Chemical treatment and reuse applications for latex paint industry wastewater treatment", *Desalination and Water Treatment*, vol. 103, pp. 290-295, 2018. <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.21932>.
- [9] O. Dovletoglou, C. Philippopoulos, H. Grigoropoulou, "Coagulation for treatment of paint industry wastewater", *Journal of Environmental Science and Health*, vol. A37, pp. 1361-1377, 2002. <https://doi.org/10.1081/ESE-120005992>.
- [10] R. Bouchareb, "Utilisation des graines de moringa oleifera dans différents procédés de traitement des eaux usées industrielles", Thèse, Université de Constantine 3. 229 p. 2022.
- [11] E.A. Echiegu, C.O. Ezimah, M.E. Okechukwu, O.A. Nwoke, "Phytoremediation of Emulsion Paint Wastewater using *Azolla Pinnata*, *Eichhornia Crassipes* and *Lemna Minor*", *Nigerian Journal of Technology*, vol. 40, pp. 550-557. 2021. <https://doi.org/10.4314/njt.v40i3.21>.
- [12] S. Vishali, R. Karthikeyan, "Cactus opuntia (ficus-indica): an eco-friendly alternative coagulant in the treatment of paint effluent", *Desalination and Water Treatment*, vol. 56, pp. 1-9, 2014. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.945487>.
- [13] J. N. Ndivi, I. A. Obiora-Okafo, O. D. Onukwuli, "Optimization Studies on the Coagulation-Flocculation Process for PWW Treatment Using Cactus opuntia Extract: Comparative Studies for Performance Evaluation", *Journal of Basic and Applied Research International*, vol. 29, pp. 16-31, 2023. <https://doi.org/10.56557/JOBARI/2023/v29i48409>.
- [14] H. Sabir, Z. Mounir, B. Zahia, D. Rachid, B. Louiza, "Analysis of Wastewater Loaded with Paint Before and After Treatment of Coagulation-Flocculation", *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 37, pp. 897-903, 2012. <https://doi.org/10.1007/s13369-012-0219-0>.
- [15] D. Ozturk, E. Dagdas, B.A. Fil, M.J.K. Bashir, "Central composite modeling for electrochemical degradation of paint manufacturing plant wastewater: One-step/two-response optimization", *Environmental Technology and Innovation*, vol. 21, pp. 101264. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101264>.
- [16] J. Mouna, A. Noureddine, "Coagulation treatment by  $Al_2(SO_4)_3$  and residual Al determination in Medjerda water dam (Tunisia)", *Journal de la Société Chimique de Tunisie*, vol. 15, pp. 175-181, 2013.
- [17] <https://www.suezwaterhandbook.fr> (Consulté le 08 Novembre 2024)
- [18] T.H. Monique, "Evolution des dérivés de l'aluminium utilisés comme agents coagulants", *Sciences et technique de l'eau*, vol. 22, pp. 297-304, 1989.
- [19] B. Mounir, "Traitement des rejets industriels liquide par électrocoagulation/électroflotation en réacteur airlift, Thèse, Institut National Polytechnique de Toulouse, 200 p, 2007.
- [20] M. Naeem El-Sawy, H.H. Sokker, M.A. Hassan, E. Bahgat El-Anadouli, "Treatment of paint wastewater by radiation combined with coagulation and adsorption", *International Journal of Environment and Waste Management*, vol. 11, pp. 87-99, 2013. <https://doi.org/10.1504/ijewm.2013.050602>.
- [21] Décret portant la classification des eaux de surface et réglementation des rejets d'effluents liquide, Ministère de l'environnement Malagasy, 6 p, 2003.
- [22] M. Mamadiev, G. Yilmaz, "Treatment and recycling facilities of highly polluted water-based paint wastewater", *Desalination and Water Treatment*, vol. 26, pp. 66-71, 2011. <https://doi.org/10.5004/dwt.2011.2111>.
- [23] <https://www.environnement.gouv.qc.ca> (Consulté le 14 Décembre 2024)



[24] <https://chemifloc.ie>>Ferric Sulphate -Iron Sulphate (Consulté le 14 Décembre 2024)