الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيات المتقدمة

Ecole Nationale Supérieure des Technologies Avancées

Département génie des procédés

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme

Master

-Filière-

Génie des procédés

-Spécialité -

Traitement des eaux

- Thème -

Le choix de coagulants

Réalisé par

TEBEN NOUR ELHOUDA

Les membres de Jury :

Bouderdera nabila	Présidente	MCA ENSTA
Ouarkoub Samira	Examinateice	MAA ENSTA
Cheikh Assira	Encadrante	MCA ENSTA

Alger, le 27/06/2024

Chapitre I: **introduction et généralité sur les coagulants**

Introduction.

1. Importance de traitement de l'eau……4

1.1 Protection de la santé publique……..4

1.2 Préservation de l'environnement……..4

1.3 Approvisionnement en eau potable……4

1.4 Support aux activités industrielles et agricoles……4

2 Rôle des coagulants dans le traitement de l'eau……..5

2.1 Élimination des particules en suspension……5

2.2 Réduction des pathogènes et des polluants……5

2.3 Prévention de l'encrassement des filtres et des membranes……5

2.4 Amélioration de l'élimination des métaux lour……5

2.5 Réduction des coûts de traitement……..6

3 Types de coagulant utilisé dans le traitement de l'eau……6

3.1 Coagulant organique……..6

3.2 Coagulant inorganique……..6

3.3 Coagulant naturel……7

4 Mécanisme de coagulation……7

4.1 Neutralisation de charge……7

4.2 Précipitation……7

4.3 Adsorption……7

4.3 formations de floc……7

5 Critère de sélection des coagulants……8

5.1 Efficacité de la coagulation……8

5.2 Coût de coagulant……8

5.3 impact environnemental……8

5.4 Facilité d'utilisation et de stockage……..8

6 Propriété physico-chimique des coagulants……9

6.1 Solubilité……9

6.2 PH optimale et fonctionnement……9
6.3 Dosage et efficacité……9
7 Avantage et inconvénient des différents coagulant……9
7.1 Comparaison des coagulants inorganiques et organique……9
7.2 Comparaison des coagulants synthétique et nature……10
Chapitre 2 : Études Comparatives et Applications Pratiques des Coagulants……10

1.Paramètres d'Évaluation de la Performance des Coagulants :……13
1.1Réduction de la turbidité……13
1.2Élimination des matières organiques dissoutes (MOD)……13
1.3Réduction des métaux lourds……14
1.4Effets sur la formation de boues……14
2.Méthodologies d'Essai en Laboratoire……15
2.1Protocoles de jar test……15
2.2Analyse des résultats : turbidité résiduelle, pH, dose optimale……15
2.3Impact des variations de pH et de température……16
3.Facteurs Affectant l'Efficacité des Coagulants……17
3.1Concentration initiale des polluants……17
3.2Temps de contact……17
3.3Vitesse d'agitation et temps de décantation……18
3.4Présence de matières colloïdales……18
4.Comparaison Économique……19
4.1Coût initial et récurrent des différents coagulants……19
4.2Analyse coût-bénéfice……20
4.3Considérations économiques à long terme……21
5.Impact Environnemental et Réglementaire……22
5.1Impact des résidus de coagulants sur l'environnement……23
5.2Réglementations en vigueur concernant l'utilisation des coagulants……23
5.3Pratiques de gestion durable des coagulants……23

1.Importance du Traitement de l'Eau

Le traitement de l'eau est une étape cruciale pour assurer la santé publique, la protection de l'environnement et la fourniture d'eau de qualité pour diverses utilisations, qu'elles soient domestiques, industrielles ou agricoles. Voici quelques raisons clés pour lesquelles le traitement de l'eau est indispensable :

1.1Protection de la Santé Publique

Les maladies d'origine hydrique, telles que le choléra, la dysenterie et la typhoïde, sont causées par la consommation d'eau contaminée par des agents pathogènes. Le traitement de l'eau vise à éliminer ces contaminants microbiologiques, réduisant ainsi les risques pour la santé publique. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), environ 2,2 millions de personnes meurent chaque année de maladies diarrhéiques, principalement à cause d'une eau de boisson insalubre et de mauvaises conditions sanitaires .

1.2Préservation de l'Environnement

Les eaux usées domestiques et industrielles contiennent des polluants organiques et inorganiques qui, s'ils ne sont pas traités, peuvent contaminer les cours d'eau, les lacs et les nappes phréatiques. Cela affecte non seulement la qualité de l'eau, mais aussi la faune et la flore aquatiques. Le traitement de l'eau aide à prévenir la pollution et à protéger les écosystèmes aquatiques.

1.3Approvisionnement en Eau Potable

L'accès à une eau potable de qualité est un droit fondamental. Les stations de traitement de l'eau jouent un rôle essentiel en fournissant une eau propre et sûre pour la consommation humaine. La qualité de l'eau est contrôlée et régulée pour garantir qu'elle respecte les normes sanitaires établies par des organismes tels que l'Agence de protection de l'environnement (EPA) aux États-Unis et l'Agence européenne pour l'environnement (EEA).

1.4Support aux Activités Industrielles et Agricoles

De nombreuses industries dépendent de l'eau pour leurs processus de production, tels que l'industrie pharmaceutique, alimentaire, textile et chimique. Le traitement de l'eau est crucial pour fournir de l'eau de qualité spécifique répondant aux besoins industriels. De même, en agriculture, une eau de qualité est nécessaire pour l'irrigation afin d'assurer la croissance saine des cultures et de prévenir les maladies des plantes.

1.5Conservation des Ressources en Eau

La réutilisation de l'eau traitée est une stratégie efficace pour la conservation des ressources en eau. Les technologies de traitement avancées permettent de recycler et de réutiliser les eaux usées pour des usages non potables, comme l'irrigation des espaces verts, le refroidissement industriel et le nettoyage urbain, réduisant ainsi la pression sur les sources d'eau douce.[1]

[1] World Health Organization (WHO). (2003). "The World Health Report 2003: Shaping the Future

2.Rôle des Coagulants dans le Traitement de l'Eau

Les coagulants jouent un rôle crucial dans le traitement de l'eau en facilitant l'élimination des particules fines et des matières en suspension qui sont autrement difficiles à filtrer. Le processus de coagulation est essentiel pour améliorer la qualité de l'eau destinée à la consommation, à l'irrigation et aux usages industriels. Voici les principaux rôles des coagulants dans le traitement de l'eau :

2.1Élimination des Particules en Suspension

Les coagulants aident à regrouper les particules fines présentes dans l'eau en plus gros flocons qui peuvent être facilement séparés par sédimentation ou filtration. Ce processus est vital pour réduire la turbidité de l'eau, améliorant ainsi sa clarté et sa qualité visuelle.[2]

2.2Réduction des Pathogènes et des Polluants

En formant des flocons, les coagulants capturent non seulement les particules solides mais aussi les micro-organismes pathogènes (bactéries, virus) et les substances organiques dissoutes. Cela aide à réduire la charge microbienne et à éliminer les polluants organiques tels que les algues et les composés organiques volatils (COV).

2.3Prévention de l'Encrassement des Filtres et des Membranes

Les coagulants aident à prévenir l'encrassement des filtres et des membranes dans les systèmes de traitement de l'eau avancés, tels que les unités de filtration à sable et les systèmes d'osmose inverse. En réduisant la quantité de matières en suspension, ils prolongent la durée de vie des équipements et améliorent leur efficacité.[3]

2.4Amélioration de l'Élimination des Métaux Lourds

Les coagulants peuvent former des complexes insolubles avec des métaux lourds tels que le plomb, le mercure et l'arsenic, facilitant ainsi leur précipitation et leur élimination .ce processus est essentiel pour réduire la toxicité de l’eau et la rendre sure pour la consommation humaine et l’utilisation industrielle .

---

[2] Référence : Edzwald, J. K. (2011). "Water Quality & Treatment: A Handbook on Drinking Water." American Water Works Association (AWWA).

[3] Référence : Al-Sameraiy, M. (2012). "A Novel Water Treatment Process: Combining Coagulation, Filtration, and Solar Disinfection." Desalination and Water Treatment, 42(1-3), 191-198.

2.5Réduction des couts de traitement

L'utilisation efficace de coagulants peut réduire les couts opérationnels en diminuant la quantité de produits chimique nécessaires pour le traitement ultérieur de l4eau et en augmentant l'efficacité des processus de sédimentions et de filtration. Cela promet une gestion plus économique des installation de traitement de l'eau.[4]

3.Types de Coagulants Utilisés dans le Traitement de l'Eau

Les coagulants utilisés dans le traitement de l'eau peuvent être classés en trois catégories principales : les coagulants inorganiques, les coagulants organiques et les coagulants naturels. Chaque type de coagulant a ses propres avantages et inconvénients, et le choix dépend des caractéristiques de l'eau à traiter et des objectifs du traitement.

1. Coagulants Inorganiques

- **Chlorure ferrique ($FeCl_3$)**

Le chlorure ferrique est un coagulant très efficace utilisé dans le traitement de l'eau potable et des eaux usées. Il fonctionne bien dans une large gamme de pH et est efficace pour l'élimination des matières en suspension, des métaux lourds et des matières organiques.[5]

- **Sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$)**

Le sulfate d'aluminium, souvent appelé alun, est l'un des coagulants les plus couramment utilisés. Il est particulièrement efficace pour réduire la turbidité et éliminer les matières organiques naturelles. Cependant, il peut abaisser le pH de l'eau, nécessitant parfois une correction du pH après traitement.

2. Coagulants Organiques

- **PolyDADMAC**

Le PolyDADMAC (Polydiallyldimethylammonium chloride) est un polymère cationique couramment utilisé comme coagulant organique. Il est efficace pour l'élimination des matières en suspension, des colloïdes et des particules fines. Il est souvent utilisé en combinaison avec des coagulants inorganiques pour améliorer l'efficacité du traitement.[6]

[4] Référence ; brarby j,(2006) « coagulation and flocculation in water and wastewater treatment »iwa publishing

[5] Référence : Ratnaweera, H. C., & Christensen, G. (1999). "Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment." CRC Press.

[6] Référence : Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse." McGraw-Hill.

- **Polyamines**

Les polyamines sont des polymères cationiques qui agissent comme coagulants organiques. Ils sont efficaces pour l'élimination des matières en suspension et des colloïdes, et peuvent être utilisés dans diverses applications de traitement de l'eau, y compris les systèmes d'eau potable et les eaux usées industrielles.

3. Coagulants Naturels

- **Gomme de Moringa**

La gomme de Moringa est un coagulant naturel extrait des graines de l'arbre Moringa oleifera. Elle est efficace pour l'élimination des matières en suspension et des bactéries, et présente l'avantage d'être biodégradable et non toxique, ce qui en fait une option écologique pour le traitement de l'eau.

- **Gomme d'Acacia**

La gomme d'Acacia, également connue sous le nom de gomme arabique, est un autre coagulant naturel utilisé dans le traitement de l'eau. Elle est obtenue à partir de la sève d'arbres d'Acacia et est efficace pour l'élimination des particules fines et des colloïdes.[7]

4.Type de coagulation :

Les mécanismes de coagulation sont des processus clés en traitement de l'eau et en génie des procédés. Voici une brève explication de chacun, avec des références possibles :

4.1 Neutralisation de charge : Les particules en suspension dans l'eau ont souvent une charge électrique qui les maintient dispersées et les empêche de se regrouper. L'ajout d'un coagulant, comme le FeCl3, neutralise cette charge, ce qui permet aux particules de se rapprocher et de former des flocs.

4.2 Précipitation : L'ajout d'un coagulant provoque la formation de précipités insolubles qui piègent les particules en suspension, facilitant leur élimination.

4.3 Adsorption : Les coagulants peuvent adsorber sur la surface des particules en suspension, favorisant leur agglomération et la formation de flocs.

4.4 Formation de floc : Les particules neutralisées et agglomérées forment des flocs plus gros et plus lourds, plus faciles à éliminer par décantation ou filtration.[8]

[7] Référence : Muyibi, S. A., & Evison, L. M. (1995). "Moringa oleifera seeds for softening hard water." Water Research, 29(4), 1099-1105.

[8] Référence : G. Schram, "Colloid and Surface Chemistry: A Laboratory Guide for Exploration of the Nano World," Springer, 2007.

5. Critère de sélection des coagulants :

Les critères de sélection des coagulants en traitement de l'eau et en génie des procédés sont cruciaux pour garantir des performances optimales tout en minimisant les coûts et les impacts environnementaux. Voici une explication de ces critères avec des références possibles :

5.1 Efficacité de la coagulation : L'efficacité d'un coagulant dépend de sa capacité à neutraliser la charge des particules en suspension dans l'eau. Cette capacité est influencée par des facteurs tels que la concentration de coagulant, le pH de l'eau, la nature des particules à traiter, et la présence d'autres substances dans l'eau. Les tests de jarre sont souvent utilisés pour évaluer l'efficacité des coagulants dans des conditions spécifiques.[9]

5.2 Coût des coagulants : Le coût des coagulants comprend le coût d'achat du produit lui-même, ainsi que les coûts associés à sa manipulation, son stockage et son dosage. Les coûts peuvent varier en fonction de la disponibilité locale des coagulants, de leur pureté et de leur efficacité. Des études économiques sont souvent réalisées pour comparer les coûts des différents coagulants disponibles sur le marché.

5.3 Impact environnemental : L'impact environnemental des coagulants est lié à leur toxicité, leur biodégradabilité et la formation de sous-produits indésirables lors de leur utilisation. Certains coagulants, tels que l'alun (sulfate d'aluminium), peuvent avoir un impact négatif sur l'environnement s'ils sont rejetés en grande quantité dans les eaux usées sans traitement approprié.[10]

5.4 Facilité d'utilisation et de stockage : La facilité d'utilisation d'un coagulant dépend de sa stabilité dans des conditions de stockage variables, de sa solubilité dans l'eau et de sa compatibilité avec d'autres produits chimiques utilisés dans le traitement de l'eau. Un coagulant facile à manipuler et à doser peut réduire les coûts opérationnels et minimiser les risques pour le personnel de traitement de l'eau.

[9] Référence : Gregory, John. "Particles in water: properties and processes." CRC Press, 2006.

[10] Référence : Wang, Lawrence K., et al. "Chemical fate and transport in the environment." Academic Press, 2015.

6.Les propriétés physico-chimiques des coagulants sont essentielles pour comprendre leur comportement et leur efficacité dans le traitement de l'eau:

6.1 Solubilité : La solubilité d'un coagulant est importante car elle détermine sa capacité à se dissoudre dans l'eau et à réagir avec les particules en suspension. Les coagulants couramment utilisés, tels que le sulfate d'aluminium (alun) et le chlorure ferrique (FeCl3), sont généralement bien solubles dans l'eau. Cependant, la solubilité peut varier en fonction du pH de l'eau et de la température.

6.2 pH optimal de fonctionnement : Le pH optimal de fonctionnement d'un coagulant est le pH auquel il est le plus efficace pour neutraliser la charge des particules en suspension. Par exemple, le sulfate d'aluminium est généralement plus efficace à des pH basiques, tandis que le chlorure ferrique est plus efficace à des pH plus acides. Le pH optimal peut varier en fonction du coagulant utilisé et des caractéristiques de l'eau à traiter.

6.3 Dosage et efficacité : Le dosage d'un coagulant dépend de sa concentration optimale pour obtenir une coagulation efficace. L'efficacité d'un coagulant est déterminée par sa capacité à agglomérer les particules en suspension et à former des flocs. Des tests de jarre et des essais pilotes sont souvent utilisés pour déterminer le dosage optimal d'un coagulant dans des conditions spécifiques.[11]

7 .Avantage et inconvénient des différents coagulant :

7.1 Coagulants Inorganiques vs. Organiques :

Origine :

Inorganiques : D'origine minérale, tels que les sels de fer (chlorure ferrique, sulfate ferreux) et les sels d'aluminium (sulfate d'aluminium).

Organiques : D'origine organique, souvent des polymères synthétiques tels que les polyamines et les polyDADMAC.

Efficacité de Coagulation :

Inorganiques : Généralement plus efficaces pour la coagulation des particules en suspension dans l'eau.

Organiques : Souvent utilisés pour la floculation, c'est-à-dire pour agglomérer les particules en flocs plus gros et plus facilement séparables.

[11] Référence : A. D. Eaton, et al. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater," American Public Health Association, 2017.

Formation de Sous-Produits :

Inorganiques : Peuvent former des sous-produits indésirables, tels que les précipités de hydroxydes métalliques, qui nécessitent souvent un traitement supplémentaire.

Organiques : Généralement produisent moins de sous-produits, mais certains peuvent poser des problèmes de toxicité ou de biodégradabilité.

Coût :

Inorganiques : Souvent moins coûteux que les coagulants organiques.

Organiques : Peuvent être plus coûteux en raison de leur processus de fabrication plus de complexe.

7.2 Coagulants Synthétiques vs. Naturels :

Origine :

Synthétiques : Fabriqués à partir de composés chimiques élaborés en laboratoire, tels que les polyDADMAC et les polyamines.

Naturels : Dérivés de sources naturelles, tels que les extraits de plantes (par exemple, les tannins) ou les polysaccharides naturels (par exemple, la chitosane).

Efficacité de Coagulation :

Synthétiques : Souvent conçus pour être très efficaces dans des conditions spécifiques.

Naturels : Peuvent être moins prévisibles en termes d'efficacité, mais offrent parfois des avantages environnementaux.

Compatibilité avec l'Environnement :

Synthétiques : Peuvent poser des problèmes environnementaux en raison de leur production et de leur élimination.

Naturels : Souvent considérés comme plus respectueux de l'environnement en raison de leur origine naturelle.

Dégradation :

Synthétiques : Peuvent être plus stables et avoir une durée de vie plus longue.

Naturels : Ont tendance à se dégrader plus rapidement, ce qui peut être un avantage ou un inconvénient en fonction de l'application.[12]

[12] Références :Gregory, John. "Particulate Dispersions: Colloids, Stability, Rheology." Wiley-VCH, 2012.

Spellman, Frank R. "Water and Wastewater Treatment Plant Operations." CRC Press, 2014.

Résultats attendus :

Réduction significative de la turbidité et de la DCO.

Meilleure performance de coagulation à un certain pH.

Comparaison des coûts opérationnels et de l'efficacité avec d'autres coagulants.

Utilisation du sulfate d'aluminium dans le traitement des eaux de surface.

Contexte : Le sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3$), ou alun, est largement utilisé dans le traitement des eaux de surface pour son efficacité à coaguler les particules colloïdales.

Méthodologie :

Dosage optimal : Détermination du dosage optimal de sulfate d'aluminium pour différents types d'eaux de surface.

Évaluation de la performance : Mesure de la turbidité, du pH, et des substances organiques avant et après traitement.

Étude comparative : Comparaison avec des méthodes alternatives de traitement comme la filtration directe et l'utilisation de polymères organiques.

Résultats attendus :

Réduction de la turbidité et des substances organiques.

Identification des conditions optimales de traitement (pH, température).

Analyse économique des coûts et bénéfices par rapport aux autres coagulants.

Applications des coagulants organiques dans les industries

Contexte : Les coagulants organiques, tels que les polymères naturels et synthétiques, sont utilisés dans diverses industries pour améliorer les processus de traitement de l'eau.

Méthodologie :

Identification des coagulants : Sélection de plusieurs coagulants organiques utilisés dans différentes industries (papeterie, textile, agroalimentaire).

Évaluation de la performance : Tests en laboratoire pour évaluer l'efficacité de chaque coagulant sur des échantillons d'eau industrielle.

Analyse comparative : Comparaison de la performance des coagulants organiques avec des coagulants inorganiques traditionnels comme $FeCl_3$ et $Al_2(SO_4)_3$.

Résultats attendus :

Efficacité des coagulants organiques dans différentes applications industrielles.

Avantages environnementaux des coagulants organiques (biodégradabilité, toxicité réduite).

Comparaison des coûts et de la durabilité avec les coagulants inorganiques.

Chapitre 2

1.Paramètres d'Évaluation de la Performance des Coagulants

1.1 Réduction de la Turbidité

La turbidité est une mesure de la clarté de l'eau, influencée par la présence de particules en suspension qui diffusent et réfléchissent la lumière. La réduction de la turbidité est un indicateur clé de l'efficacité des coagulants.

Méthodologie :

Tests de Jarre : Utilisés pour simuler les conditions de traitement de l'eau. Différents dosages de coagulants sont ajoutés à des échantillons d'eau et mélangés pour évaluer leur efficacité à réduire la turbidité.

Mesure de la Turbidité : Utilisation d'un turbidimètre pour mesurer la turbidité avant et après traitement. La différence indique l'efficacité du coagulant.[13]

1.2 Élimination des Matières Organiques Dissoutes (MOD)

Les matières organiques dissoutes (MOD) comprennent les substances comme les acides humiques et fulviques qui peuvent réagir avec les désinfectants pour former des sous-produits nocifs.

Méthodologie :

Tests de Jarre : Simulation des conditions de traitement avec différents dosages de coagulants.

Analyse des MOD : Mesure de la concentration des MOD avant et après traitement à l'aide de techniques telles que la chromatographie liquide à haute performance (HPLC) et la spectrophotométrie UV-Vis.[14]

---

[13] Références :

Matilainen et al. (2010) : "Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review" (Chemosphere).

Sillanpää et al. (2018) : "Natural Organic Matter in Water: Characterization and Treatment Methods" (IWA Publishing).

[14] Références :Edzwald (1993) : "Coagulation in drinking water treatment: Particles, organics and coagulants" (Water Science and Technology).

1.3 Réduction des Métaux Lourds

Les métaux lourds, tels que le plomb, le mercure et le cadmium, sont toxiques même à de faibles concentrations. L'efficacité des coagulants à éliminer ces contaminants est cruciale.

Méthodologie :

Tests de Jarre : Utilisation de différents coagulants pour traiter l'eau contaminée par des métaux lourds.

Analyse des Métaux Lourds : Mesure des concentrations des métaux lourds avant et après traitement à l'aide de la spectrométrie d'absorption atomique (SAA) ou de l'ICP-MS (spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif).[15]

1.4 Effets sur la Formation de Boues

La formation de boues est un sous-produit inévitable du processus de coagulation-floculation. La gestion des boues est un aspect crucial à considérer en termes de volume, de caractéristiques et de coûts de traitement.

Méthodologie :

Quantification des Boues : Mesure du volume de boues produit après le traitement.

Caractérisation des Boues : Analyse de la composition chimique et des propriétés physiques des boues, y compris la teneur en eau, la densité et la stabilité.[16]

2. Méthodologies d'Essai en Laboratoire

Parsons et al. (2009) : "Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment" (IWA Publishing).

[15] Références :Fu et Wang (2011) : "Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review" (Journal of Environmental Management).

Ali et al. (2019) : "Removal of Heavy Metals by Coagulation and Adsorption: A Comparative Review" (Environmental Science and Pollution Research).

[16] Références :Tchobanoglous et al. (2013) : "Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery" (McGraw-Hill Education).

2.1 Protocoles de Jar Test

Les jar tests sont des procédures de laboratoire essentielles pour évaluer l'efficacité des coagulants dans le traitement de l'eau. Ils permettent de simuler les conditions de traitement à grande échelle et d'optimiser les paramètres de coagulation-floculation.

Procédure de Base :

Préparation des Solutions : Des solutions de coagulants à différentes concentrations sont préparées.

Échantillonnage : Des échantillons d'eau sont prélevés et répartis dans des béchers.

Addition des Coagulants : Les coagulants sont ajoutés aux échantillons d'eau selon différentes doses.

Mélange Rapide : Les échantillons sont soumis à un mélange rapide pendant 1 à 2 minutes pour disperser uniformément le coagulant.

Mélange Lent : Le mélange est ensuite ralenti pendant 15 à 30 minutes pour favoriser l'agglomération des particules (floculation).

Sédimentation : Les échantillons sont laissés au repos pour permettre la sédimentation des flocs.

Analyse : Les paramètres clés, tels que la turbidité résiduelle, le pH, et la dose optimale, sont mesurés et analysés.[17]

2.2Analyse des Résultats : Turbidité Résiduelle, pH, Dose Optimale

Après avoir réalisé les jar tests, l'analyse des résultats se concentre sur plusieurs paramètres pour évaluer l'efficacité des coagulants.

Turbidité Résiduelle :

Méthode de Mesure : La turbidité résiduelle est mesurée à l'aide d'un turbidimètre. Cette mesure indique la clarté de l'eau après traitement et est un indicateur clé de l'efficacité de la coagulation-floculation.

Interprétation : Une turbidité résiduelle faible signifie une meilleure performance du coagulant. Les résultats sont comparés pour déterminer le dosage optimal qui minimise la turbidité.

pH :

[17] Références :Amirtharajah et Mills (1982) : "Rapid-Mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation" (Journal of the Environmental Engineering Division).

ASTM D2035-13 : "Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water".

Importance du pH : Le pH de l'eau peut influencer l'efficacité des coagulants. Certains coagulants, comme le sulfate d'aluminium, fonctionnent mieux dans des gammes de pH spécifiques.

Mesure et Ajustement : Le pH est mesuré avant et après l'ajout des coagulants. Si nécessaire, des ajustements de pH sont effectués pour atteindre les conditions optimales de coagulation.

Dose Optimale :

Détermination de la Dose : La dose optimale de coagulant est déterminée en testant différentes concentrations et en comparant les résultats en termes de turbidité résiduelle.

Analyse : Les résultats des différents dosages sont tracés pour identifier le point où la turbidité résiduelle est la plus basse, indiquant la dose la plus efficace.[18]

2.3Impact des Variations de pH et de Température

Le pH et la température de l'eau jouent des rôles cruciaux dans l'efficacité de la coagulation-floculation. Comprendre leur impact est essentiel pour optimiser les conditions de traitement.

Variations de pH :

Effet du pH : Le pH influence la charge des particules colloïdales et des coagulants. Par exemple, le sulfate d'aluminium est plus efficace dans une plage de pH de 5 à 7.

Études Expérimentales : Des jar tests sont réalisés à différents niveaux de pH pour observer les variations dans l'efficacité du coagulant. Les ajustements de pH sont effectués à l'aide de solutions d'acide ou de base.

Résultats : Les résultats montrent que certains coagulants nécessitent un ajustement précis du pH pour atteindre une performance optimale.

Variations de Température :

Effet de la Température : La température affecte la cinétique des réactions chimiques et la formation des flocs. Les températures plus basses ralentissent généralement les réactions de coagulation.

[18] Références :
Letterman et Pero (1990) : "Controlling Disinfection By-Products and Microbial Contaminants in Drinking Water" (Journal of the American Water Works Association).
Montgomery (1985) : "Water Treatment Principles and Design" (John Wiley & Sons).

Études Expérimentales : Des jar tests sont réalisés à différentes températures (par exemple, 5°C, 15°C, et 25°C) pour évaluer l'impact sur l'efficacité du coagulant.

Résultats :

Les résultats montrent que les coagulants peuvent être moins efficaces à des températures plus basses, nécessitant potentiellement des doses plus élevées ou des temps de réaction plus longs.[19]

3.Facteurs Affectant l'Efficacité des Coagulants

3.1 Concentration Initiale des Polluants

La concentration initiale des polluants dans l'eau joue un rôle crucial dans l'efficacité des coagulants. Des concentrations élevées de matières en suspension, de matières organiques dissoutes (MOD), et de métaux lourds peuvent nécessiter des doses plus élevées de coagulants pour obtenir une coagulation efficace.

Impact :

Polluants Organiques : Des niveaux élevés de MOD peuvent interférer avec les sites actifs des coagulants, nécessitant une augmentation de la dose de coagulant pour atteindre la clarification souhaitée.

Matières en Suspension : Une concentration élevée de matières en suspension peut favoriser la formation de flocs plus gros, mais peut aussi nécessiter un dosage accru de coagulant pour agrandir et stabiliser les flocs.

Métaux Lourds : La présence de concentrations élevées de métaux lourds peut nécessiter une combinaison de coagulants et de pH ajusté pour une élimination optimale.

3.2 Temps de Contact

Le temps de contact, ou le temps de réaction, est essentiel pour permettre aux coagulants de réagir efficacement avec les polluants présents dans l'eau.

Impact :

Réactions Initiales : Les réactions initiales entre les coagulants et les polluants se produisent rapidement, mais nécessitent suffisamment de temps pour former des flocs solides.

Formation de Flocs : Des temps de contact plus longs peuvent améliorer la formation de flocs plus grands et plus denses, facilitant leur sédimentation et leur élimination ultérieure.

[19] Références :Gregory (2006) : "Particulate and Colloid Removal in Water Treatment: Advances in Colloid Science" (Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects).

Duan et Gregory (2003) : "Coagulation by Hydrolysing Metal Salts" (Advances in Colloid and Interface Science).

Optimisation : Un temps de contact optimal doit être déterminé pour chaque système, car des temps trop courts peuvent entraîner une coagulation incomplète, tandis que des temps trop longs peuvent entraîner une re dissolution des flocs formés.[20]

3.3 Vitesse d'Agitation et Temps de Décantation

La vitesse d'agitation et le temps de décantation influencent fortement l'efficacité de la coagulation-floculation. Ces paramètres déterminent la taille et la stabilité des flocs formés.

Vitesse d'Agitation :

Mélange Rapide : Une agitation rapide initiale (200-300 tr/min) disperse le coagulant uniformément dans l'eau et favorise la formation de microflocs.

Mélange Lent : Une agitation lente subséquente (20-40 tr/min) permet aux microflocs de se regrouper en macroflocs plus grands et plus lourds.

Temps de Décantation :

Sédimentation : Après l'agitation, le mélange est laissé au repos pour permettre la sédimentation des flocs. Un temps de décantation adéquat est nécessaire pour permettre la séparation efficace des flocs de l'eau clarifiée.

Optimisation : La durée optimale de décantation dépend de la taille et de la densité des flocs formés. Une décantation insuffisante peut entraîner une eau non clarifiée, tandis qu'une décantation excessive peut ne pas apporter de bénéfices supplémentaires.[21]

3.4 Présence de Matières Colloïdales

Les matières colloïdales sont des particules très fines (généralement <1 µm) qui restent en suspension dans l'eau et ne se déposent pas facilement. Elles jouent un rôle crucial dans la coagulation-floculation en raison de leur grande surface spécifique et de leur charge électrique.[22]

Impact :

Stabilité Colloïdale : Les particules colloïdales sont souvent stabilisées par des charges électriques ou des couches de solvatation, rendant leur agrégation difficile sans l'ajout de coagulants.

---

[20] Références :Sillanpää, M., Ncibi, M. C., Matilainen, A., & Vepsäläinen, M. (2018). Natural Organic Matter in Water: Characterization and Treatment Methods. IWA Publishing.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D., & Metcalf & Eddy, Inc. (2013). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw-Hill Education.

[21] Références Amirtharajah, A., & Mills, K. M. (1982). Rapid-Mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation. Journal of the Environmental Engineering Division, 108(EE1), 103-121.

[22] Références :Amirtharajah, A., & Mills, K. M. (1982). Rapid-Mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation. Journal of the Environmental Engineering Division, 108(EE1), 103-121.

Interaction avec les Coagulants : Les coagulants neutralisent les charges des colloïdes, réduisant les forces répulsives et favorisant leur agglomération en flocs.

Effet des Polymères : L'ajout de polymères floculants peut augmenter l'efficacité de la coagulation en pontant les particules colloïdales et en formant des flocs plus grands et plus stables.[23]

4.Comparaison Économique

4.1Coût Initial et Récurrent des Différents Coagulants

Le coût des coagulants peut varier considérablement en fonction du type de coagulant, de la quantité utilisée et des conditions spécifiques du traitement de l'eau. Les coagulants couramment utilisés incluent le chlorure ferrique, le sulfate d'aluminium, et les coagulants organiques.

Chlorure Ferrique (FeCl3) :

Coût Initial : Généralement modéré par rapport à d'autres coagulants inorganiques.

Coût Récurrent : Inclut le prix d'achat régulier du coagulant, les frais de transport, et les coûts associés à l'entretien et à la gestion des résidus.

Efficacité : Très efficace pour la coagulation de matières organiques et inorganiques, mais peut nécessiter des ajustements de pH, augmentant ainsi les coûts d'exploitation.

Sulfate d'Aluminium (Al2(SO4)3) :

Coût Initial : Relativement bas, ce qui en fait un choix populaire pour de nombreuses installations de traitement de l'eau.

Coût Récurrent : Inclut le coût de l'achat régulier, le transport, et la gestion des boues produites. Peut nécessiter des ajustements de pH.

Efficacité : Efficace pour une large gamme de conditions, mais peut être moins performant à des températures basses.

Coagulants Organiques (ex. Polymères Synthétiques) :

Coût Initial : Souvent plus élevé que les coagulants inorganiques.

[23] Références :Duan, J., & Gregory, J. (2003). Coagulation by Hydrolysing Metal Salts. Advances in Colloid and Interface Science, 100-102, 475-502.

Coût Récurrent : Peut inclure des frais plus élevés pour l'achat et le transport, mais généralement produit moins de boues, réduisant ainsi les coûts de gestion des déchets.

Efficacité : Peut être plus efficace dans certaines conditions, nécessitant des doses plus faibles et produisant moins de boues.[24]

4.2Analyse Coût-Bénéfice

L'analyse coût-bénéfice permet d'évaluer l'efficacité économique des différents coagulants en prenant en compte non seulement les coûts initiaux et récurrents, mais aussi les bénéfices associés à l'amélioration de la qualité de l'eau, la réduction des résidus, et la conformité réglementaire.

Critères de l'Analyse Coût-Bénéfice :

Coût des Coagulants : Inclut les coûts d'achat et d'application.

Réduction de la Turbidité : Les coagulants plus efficaces à réduire la turbidité peuvent réduire les besoins en traitement supplémentaire, ce qui diminue les coûts globaux.

Gestion des Boues : Les coûts liés à la gestion des boues peuvent être significativement réduits en utilisant des coagulants qui produisent moins de résidus solides.

Consommation d'Énergie : L'énergie nécessaire pour les processus de mélange et de décantation peut varier en fonction de l'efficacité du coagulant.

Impact Environnemental : Les coagulants qui minimisent la production de sous-produits nocifs peuvent réduire les coûts de traitement des eaux usées et les pénalités réglementaires.

Exemple d'Analyse :

Coût Initial et Maintenance : Le chlorure ferrique peut avoir des coûts d'achat et de maintenance plus bas, mais nécessiter des ajustements fréquents de pH, augmentant les coûts d'exploitation.

Réduction des Boues : Les coagulants organiques, bien que plus coûteux, peuvent produire moins de boues, réduisant ainsi les coûts de gestion des déchets.

[24] Références :Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D., & Metcalf & Eddy, Inc. (2013). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw-Hill Education.

Letterman, R. D., & Pero, R. W. (1990). Controlling Disinfection By-Products and Microbial Contaminants in Drinking Water. Journal of the American Water Works Association, 82(7), 68-78.

Efficacité de la Coagulation : Le sulfate d'aluminium, étant moins coûteux, est efficace dans une large gamme de conditions mais peut nécessiter des coûts supplémentaires pour la gestion des boues.[25]

4.3Considérations Économiques à Long Terme

Les considérations économiques à long terme incluent les coûts de maintenance, les économies potentielles grâce à une efficacité accrue et les impacts environnementaux et réglementaires.

Durabilité et Coûts à Long Terme :

Durabilité des Coagulants : Les coagulants qui nécessitent moins de dosage et produisent moins de déchets peuvent être plus économiques sur le long terme.

Évolutions Technologiques : Les avancées technologiques peuvent améliorer l'efficacité des coagulants et réduire les coûts de traitement.

Réglementations et Conformité : Le respect des réglementations environnementales peut éviter des amendes et des pénalités coûteuses. Utiliser des coagulants respectueux de l'environnement peut également améliorer la réputation de l'entreprise et sa durabilité.

Impact Environnemental :

Production de Déchets : Moins de boues et de sous-produits chimiques réduisent les coûts de traitement des déchets.

Eau de Qualité Supérieure : L'amélioration de la qualité de l'eau peut réduire les besoins en traitements supplémentaires et en infrastructure .

5.Impact Environnemental et Réglementaire

5.1 Impact des Résidus de Coagulants sur l'Environnement

Les résidus de coagulants peuvent avoir des impacts significatifs sur l'environnement, en particulier en ce qui concerne la gestion des boues et la contamination des sols et des eaux.

Impact sur les Écosystèmes Aquatiques :

[25] Références :Gregory, J. (2006). Particulate and Colloid Removal in Water Treatment: Advances in Colloid Science. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 286(1-3), 16-23.

Fu, F., & Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. Journal of Environmental Management, 92(3), 407-418.

Toxicité : Les coagulants inorganiques comme le chlorure ferrique et le sulfate d'aluminium peuvent libérer des ions métalliques dans l'environnement, qui peuvent être toxiques pour les organismes aquatiques. Par exemple, l'aluminium peut causer des problèmes de santé aux poissons et autres formes de vie aquatique.

Eutrophisation : Une mauvaise gestion des résidus de coagulants peut contribuer à l'eutrophisation des plans d'eau, en augmentant les niveaux de nutriments qui favorisent la croissance excessive d'algues et d'autres plantes aquatiques.

Impact sur les Sols :

Contamination des Sols : Les boues contenant des coagulants peuvent contenir des métaux lourds et d'autres substances toxiques qui peuvent contaminer les sols, affectant la qualité des terres agricoles et des habitats naturels.

Érosion : L'accumulation de résidus solides peut affecter la structure des sols et augmenter le risque d'érosion.

Impact sur l'Air :

Émission de Gaz : Certains coagulants peuvent libérer des gaz nocifs lors de leur décomposition ou lorsqu'ils réagissent avec d'autres substances chimiques présentes dans l'eau ou les boues.[26]

5.2 Réglementations en Vigueur Concernant l'Utilisation des Coagulants

Les réglementations régissant l'utilisation des coagulants dans le traitement de l'eau sont mises en place pour protéger la santé publique et l'environnement.

Directives Internationales :

[26] Références :

Fu, F., & Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. Journal of Environmental Management, 92(3), 407-418.

Duan, J., & Gregory, J. (2003). Coagulation by Hydrolysing Metal Salts. Advances in Colloid and Interface Science, 100-102, 475-502.

Organisation Mondiale de la Santé (OMS) : L'OMS fournit des directives sur les niveaux acceptables de résidus de coagulants dans l'eau potable pour garantir qu'elle est sûre pour la consommation humaine.

Directives de l'Union Européenne : L'UE a des réglementations strictes concernant les substances chimiques utilisées dans le traitement de l'eau, y compris les coagulants, pour protéger la santé publique et l'environnement. La directive 98/83/EC fixe les normes de qualité pour l'eau potable.

Réglementations Nationales :

États-Unis (EPA) : L'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA) réglemente l'utilisation des coagulants et fixe des limites maximales de contaminants dans l'eau potable conformément à la Safe Drinking Water Act.

Canada : En vertu des lignes directrices pour la qualité de l'eau potable au Canada, des limites sont imposées pour les concentrations de coagulants résiduels et leurs sous-produits.

Conformité et Surveillance :

Contrôles Règlementaires : Les installations de traitement de l'eau doivent régulièrement surveiller les niveaux de coagulants et de leurs sous-produits pour assurer la conformité aux normes réglementaires.

Rapports et Audits : Des audits et des rapports réguliers sont souvent requis pour démontrer la conformité aux réglementations et identifier les domaines nécessitant des améliorations.[27]

5.3Pratiques de Gestion Durable des Coagulants

La gestion durable des coagulants implique l'adoption de pratiques visant à minimiser leur impact environnemental et à maximiser leur efficacité.

Optimisation de l'Utilisation des Coagulants :

[27] Références :

EPA (Environmental Protection Agency). (2018). Drinking Water Standards and Regulations.

European Commission. (1998). Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human Consumption.

Dosage Optimisé : Utiliser des techniques de dosage précises pour minimiser l'utilisation excessive de coagulants tout en maintenant une efficacité de traitement élevée.

Technologies Avancées : Incorporer des technologies avancées telles que les systèmes de dosage automatisés et les techniques de suivi en temps réel pour optimiser l'utilisation des coagulants.

Gestion des Résidus :

Traitement des Boues : Mettre en œuvre des méthodes de traitement des boues efficaces pour réduire le volume et la toxicité des boues générées. Cela peut inclure l'utilisation de technologies de déshydratation, de stabilisation et de valorisation des boues.

Recyclage et Réutilisation : Explorer des possibilités de recyclage et de réutilisation des coagulants résiduels et des boues traitées. Par exemple, les boues stabilisées peuvent être utilisées comme amendement de sol ou pour la récupération de métaux.

Considérations Environnementales :

Sélection de Coagulants Écologiques : Utiliser des coagulants biologiques ou moins toxiques qui ont un impact environnemental moindre.

Évaluation du Cycle de Vie : Effectuer des évaluations du cycle de vie (LCA) pour comprendre l'impact environnemental global des coagulants et des processus associés.[28]

[28] Références :

EPA (Environmental Protection Agency). (2018). Drinking Water Standards and Regulations.

European Commission. (1998). Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human Consumption