

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIHNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU D MAAMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Agronomiques

SPECIALITE : EAU ET ENVIRONNEMENT

Thème

**Essais de déphosphatation des effluents bruts et épurés de la station
d'épuration Est de la ville de Tizi Ouzou**

Présenté par :

M^{elle} HAMMAD Ourdia

M^{elle} HAMOUCHE Lynda

Soutenu devant le jury d'examen composé de :

M MOUALEK.I	MCA	UMMTO	Président
M ^{me} ISSAOUN.DJ	Doctorante	UMMTO	Examineur
M METAHRI M.S	MCA	UMMTO	Promoteur
M ^{me} AISSAOUL.D	Doctorante	UMMTO	Co-promoteur

PROMOTION : 2023/2024



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes très chers parents : Vous êtes des parents en or et les mots que j'écrirai ne pourront pas suffire pour exprimer mon respect, mon amour et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon éducation et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance, c'est à vous que je dois cette réussite, je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour ne jamais vous décevoir.

Que dieu vous accorde santé, bonheur et longue vie.

A mon cher frère Khellaf : Tu m'as toujours guidé vers la réussite merci pour ton encouragement et ton soutien tout au long de mes études, je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur et de réussite.

A mes chères sœurs Celia et Anaïs : Vous avez toujours été à mes côtés pour me remonter le moral dans les moments les plus difficiles, merci pour votre amour et votre encouragement. Je vous souhaite beaucoup de bonheur et que dieu vous aide à réaliser vos vœux.

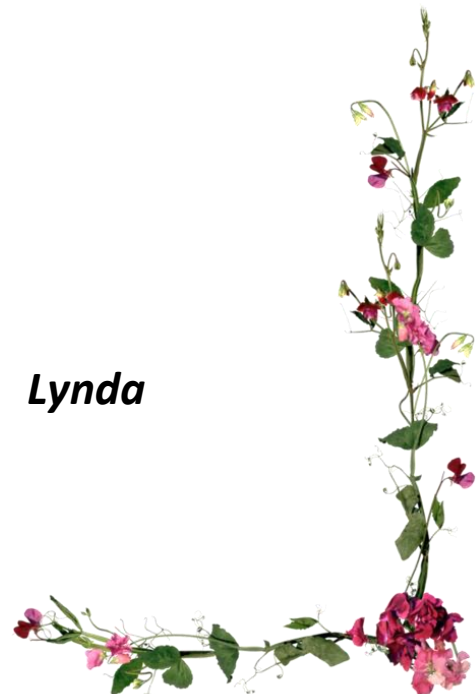
A mes grands-mères : Que dieu vous accorde longue vie et bonne santé.

A la mémoire de mes grands-pères : Paix à leurs âmes.

A toute ma famille, mes amis ...

A toute les personnes que j'aime

Lynda





Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes très chers parents : Vous êtes des parents en or et les mots que j'écrirai ne pourront pas suffire pour exprimer mon respect, mon amour et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon éducation et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance, c'est à vous que je dois cette réussite, je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour ne jamais vous décevoir.

Que dieu vous accorde santé, bonheur et longue vie.

A mon très chère frère MOHEND

A mes très chères sœurs AINI et CELIA : Vous avez toujours été à mes côtés pour me remonter le moral dans les moments les plus difficiles, merci pour votre amour et votre encouragement. Je vous souhaite beaucoup de bonheur et que dieu vous aide à réaliser vos vœux.

A la Mémoire de mes grands pères paternelle HAMMAD AMAR et ATEK AINI

Et mes grands pères maternelle AIT AOUDIA AHMED et MEFTAH ZINA que Dieu les accueille en son vaste paradis.

A la Mémoire de mon oncle paternelle HAMMAD MOULOUD que Dieu l'accueille en son vaste paradis.

A mon petit prince ARIS

A ma chère binôme HAMOUCHE LYNDA et toute sa famille.

Tous ceux avec qui j'ai partagé les meilleurs moments de ma vie

Tous mes camarades de la promotion EAU ET ENVIRONNEMENT 2023/2024.

OURDIA





Remerciement

Nous tenous à remercier Allah qui nous a donné la force et la patience durant ces Longues années d'études et le courage d'accomplir ce modeste travail.

Nos remerciements les plus sincères accompagnés de notre profond respect vont à :

***M METAHRI M.S** Maitre de conférences A à l'UMMTO, pour avoir accepté de m'encadrer et m'y avoir guidé tout au long de la réalisation de ce travail.*

*Co-promotrice **M^{me} AISSAOUI.D** Enseignante à l'UMMTO, qui nous a fait l'honneur d'avoir encouragés au long de ce temps . Nous la remercions pour sa disponibilité, son aide précieux, son écoute, ses conseils et surtout sa confiance.*

Nos remerciements aux membres du jury pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail :

***M MOUALEK.I** Maitre de conférences A à l'UMMTO, qui nous a fait l'honneur d'être le président du jury.*

***M^{me} ISSAOUN. Dj** A l'université Mouloud Maameri de Tizi Ouzou. D'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Mes remerciements vont aussi à l'ingénieur de laboratoire de traitement des eaux à la faculté des sciences agronomiques **M^{me} ISSAD.L**, pour son accompagnement durent toute au long de ce stage pratique.*



Résumé

L'objectif principal de ce travail est de réduire la concentration de phosphates dans les eaux usées brutes et épurées de la station d'épuration de Tizi Ouzou. Pour cela, la méthode de coagulation-floculation a été appliquée en utilisant la chaux comme coagulant. Les résultats des essais d'élimination ont révélé une diminution considérable de cette concentration a été observée. Les conditions opérationnelles comprennent l'utilisation de 8 g/l de coagulant pour les deux types d'eau (brute et épurée), avec des vitesses de coagulation de 160 tr/min pendant 4 minutes pour les eaux épurées et de 280 tr/min pendant 3 minutes pour les eaux brutes. Pour la floculation, les vitesses recommandées sont respectivement de 20 tr/min pendant 20 minutes pour les eaux épurées et de 30 tr/min pendant 20 minutes pour les eaux brutes. Ces paramètres ont démontré une efficacité notable dans le processus d'élimination des phosphates au sein de la station d'épuration. Non seulement avons-nous réussi à diminuer efficacement la teneur en phosphore, mais nous avons également constaté une nette amélioration en termes de réduction de la turbidité. Ces résultats démontrent l'efficacité de notre méthode dans le traitement des eaux usées, contribuant ainsi à améliorer la qualité globale de l'eau traitée.

Mot clés : phosphates, eaux usées, coagulation-floculation.

Abstract

The main objective of this work is to reduce the concentration of phosphates in raw and treated wastewater from the Tizi Ouzou wastewater treatment plant. To achieve this, the coagulation-flocculation method was applied, using lime as the coagulant. The results of After removal tests, a significant decrease in this concentration was observed. Operating conditions include the use of 8 g/l coagulant for both types of water (raw and treated), with coagulation speeds of 160 rpm for 4 minutes for treated water and 280 rpm for 3 minutes for raw water. For flocculation, the recommended speeds are 20 rpm for 20 minutes for treated water and 30 rpm for 20 minutes for raw water. These parameters have proved highly effective in the phosphate removal process at the treatment plant. Not only did we succeed in effectively reducing phosphorus content, but we also saw a clear improvement in terms of turbidity reduction. These results demonstrate the effectiveness of our method in wastewater treatment, helping to improve the overall quality of treated water.

Key words: phosphates, wastewater, coagulation-flocculation.

Liste des abréviations

OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques

ONA : Office national d'assainissement.

STEP : Station d'épuration.

CaO : La chaux.

JORA : Journal Officiel de la République Algérien.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Données générales de la STEP.....	14
Tableau 2 : Variations des paramètres physico-chimique mesurées dans la station d'épuration.....	39

Liste des figures

Figure 1 : Processus de transformation du phosphore organique en phosphore inorganique par des enzymes extracellulaires d'origine végétale et microbienne.....	8
Figure 2 : Image satellitaire de la STEP Est de Tizi-Ouzou.....	14
Figure 3 : Jar Test JT-M6C Digital.....	23
Figure 4 : Séparation solide-liquide par filtration.....	25
Figure 5 : Relation entre l'absorbance et la concentration en phosphore.....	26
Figure 6: Variation du rendement d'élimination de phosphore en fonction de la quantité du coagulant.....	27
Figure 7 : Variation de la température en fonction de la quantité de la chaux.....	28
Figure 8: Variation de potentiel Hydrogène en fonction de la quantité de la chaux.....	30
Figure 9: Variation de la turbidité avant et après l'élimination de phosphore par la chaux.....	31
Figure 10 : Variations du rendement en fonction de la vitesse d'agitation rapide.....	32
Figure 11: Variations de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation rapide avant et après la déphosphatation.....	33
Figure 12: Variation du rendement d'élimination de phosphore en fonction du temps d'agitation rapide.....	34
Figure 13 : Variation de la turbidité en fonction de temps d'agitation rapide.....	35
Figure 14: Variation du rendement d'élimination de phosphore en fonction de la vitesse d'agitation lente.....	36
Figure 15 : Variations de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation lente.....	37
Figure 16 : Variation du rendement d'élimination de phosphore en fonction du temps d'agitation lente.....	38
Figure 17 : Variations de la turbidité en fonction de temps d'agitation lente.....	38

Dédicaces	
Remerciements	
Résumé	
Abstract	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale.....	1

Recherche bibliographique

1. Généralités sur les eaux usées	4
1.1. Définition des eaux usées	4
1.2. Origines des eaux usées.....	4
1.3. Composition des eaux usées.....	5
2. Généralité sur le phosphore	5
2.1. Origine du phosphore	6
2.1.1. Phosphore dans les eaux naturelles	6
2.1.2. Phosphore dans les eaux résiduaires	7
2.2. Caractérisation du phosphore	7
2.3. Mécanismes de récupération du phosphore	8
2.4. Utilisation du phosphore	9
2.5. Phosphore et eutrophisation	9
2.6. Technologies de traitement du phosphore.....	10
2.6.1. Traitement biologique	10
2.6.2. Traitements physico-chimiques.....	10

Partie expérimental

Matériels et méthodes

1. Objectif.....	13
2. Présentation de la région d'étude	13
2.1. Station d'épuration de Tizi-Ouzou	13
2.2. Situation géographique de la STEP	14
2.3. Fonctionnement de la STEP	15
2.3.1. Filière eau	15
2.3.2. Filière boue.....	17

3. Echantillonnages	18
4. Analyses physico-chimiques	18
4.1. Potentiel Hydrogène	18
4.2. Température.....	18
4.3. Turbidité	19
4.4. Conductivité	19
4.5. Matières en suspension.....	19
4.6. Demande biologique en oxygène	20
4.7. Matière azotée	21
4.8. Matière phosphorée	21
5. Essai de la déphosphatation par la chaux	22
5.1. Coagulation	22
5.1.1. Quantité de la chaux	23
5.1.2. Vitesse rapide	23
5.1.3. Temps d'agitation rapide.....	24
5.2. Flocculation.....	24
5.2.1. Vitesse lente	24
5.2.2. Temps d'agitation lente.....	24
6. Filtration.....	24

Résultats et discussions

1. Courbe d'étalonnage.....	26
2. Tests d'élimination.....	26
2.1. Quantité de coagulant.....	26
2.1.1. Température.....	27
2.1.2. Potentiel hydrogène	29
2.1.3. Turbidité	31
2.2. Vitesse d'agitation.....	32
2.2.1. Phosphore	32
2.2.2. Turbidité.....	33
2.3. Temps d'agitation rapide.....	33
2.3.1. Phosphore	33
2.3.2. Turbidité	34

2.4. Vitesse d'agitation lente	35
2.4.1. Phosphore	35
2.4.2. Turbidité	36
2.5. Temps d'agitation lente	37
2.5.1. Phosphore	37
2.5.2. Turbidité	38
3. Paramètres physico-chimique.....	39
Conclusion générale	40
Références bibliographiques	42
Annexes	

L'eau est l'une des ressources fondamentales de la planète. Elle est indispensable à toute forme de vie et de développement dans tous les aspects de la vie humaine. L'eau est utilisée pour mener à bien les différents usages domestiques comme la cuisine, le lavage, le jardinage et les opérations de nettoyage, les processus industriels et les activités agricoles (Malik *et al.*, 2020 ; Aleshinloye *et al.*, 2020 ; Hasan *et al.*, 2019 ; OboteyEzugbe et Rathilal, 2020).

L'eau couvre plus de 71 % de la surface de la terre et constitue une ressource naturelle très importante pour les populations, pourtant, seuls 2,5 % de l'eau de la planète sont frais et donc propres à la consommation. De plus, sur ces 2,5 %, plus des deux tiers sont enfermés dans les glaciers et ne sont pas en mesure de répondre aux besoins croissants de la société. C'est le droit fondamental de chaque individu de disposer d'une eau potable saine (Joshiba *et al.*, 2019 ; Juneja et Chaudhary, 2013).

La qualité de l'eau à l'échelle mondiale a récemment décliné en raison de deux facteurs majeurs. Tout d'abord, les rejets industriels non contrôlés libèrent des polluants dans les cours d'eau, altérant leur composition chimique et physique. De plus, l'utilisation intensive d'engrais chimiques en agriculture entraîne la présence de nitrates et de nitrites dans les rivières et les lacs, provoquant une dégradation de la qualité de l'eau (Vasistha & Ganguly, 2020 ; Li *et al.*, 2020). Pour préserver cette ressource essentielle, il est crucial de surveiller et de réguler ces sources de pollution (Reggamet *et al.*, 2015).

La gestion de l'eau a connu une évolution significative depuis les années 1970. Autrefois considérée principalement comme un instrument d'aménagement du territoire, elle est désormais reconnue comme un bien économique précieux qu'il convient de valoriser et de distribuer de manière optimale. La rareté de l'eau et sa répartition inégale en font l'un des éléments structurants de notre espace. Cependant, il est important de noter que l'eau est également un réceptacle universel pour divers types de pollution. La préservation de sa qualité est essentielle pour garantir un environnement sain et durable (Dahmani et Ait Si Amer, 2017 ; Ma *et al.*, 2020).

La pollution de l'eau résulte de la dégradation physique, chimique ou biologique de ses qualités naturelles. Elle est principalement causée par les activités humaines, telles que les rejets industriels et les eaux usées non traitées. Cette pollution perturbe l'équilibre des écosystèmes aquatiques, menace la flore et la faune, et peut même entraîner des pénuries d'eau. Pour préserver notre environnement, il est essentiel de traiter ces eaux polluées avant de les rejeter dans les milieux récepteurs (Zeghoud, 2013 ; Kılıç, 2021). La pollution de l'eau

constitue un problème mondial aux conséquences dévastatrices. Pour y remédier, il est crucial d'implémenter des systèmes efficaces d'élimination et de traitement des déchets avant leur rejet dans les cours d'eau. La prévention de ce problème est essentielle, car la pollution de l'eau engendre des impacts sévères tels que des maladies, la mortalité des animaux aquatiques, des coûts économiques élevés pour le nettoyage, la destruction des écosystèmes et la perturbation des chaînes alimentaires. Ainsi, l'éducation sur les dangers de la pollution de l'eau est d'une importance cruciale pour protéger les ressources aquatiques et maintenir la santé des écosystèmes aquatiques et des populations humaines qui en dépendent (Kılıç, 2021).

La pollution massive introduite par la société dans les eaux de surface perturbe l'équilibre naturel des écosystèmes aquatiques. La manifestation la plus visible de cette pollution est l'eutrophisation, qui se traduit par le développement excessif d'algues et l'appauvrissement de l'eau en oxygène, avec un risque de toxicité important pour les espèces aquatiques et les êtres humains. L'eutrophisation est un phénomène préoccupant, car elle peut entraîner des conséquences néfastes pour la biodiversité et la qualité de l'eau (Akinawo, 2023). Il est essentiel de sensibiliser à l'importance de préserver nos ressources en eau et de mettre en place des mesures pour réduire cette pollution (Habi et Hamdoune, 2018).

L'eutrophisation, résultant du développement excessif d'algues, a des conséquences significatives sur la qualité des eaux de surface. Elle entraîne une augmentation de la turbidité, modifie la couleur de l'eau et peut provoquer des odeurs désagréables. De plus, elle réduit le nombre de poissons dans ces écosystèmes aquatiques. En conséquence, l'eutrophisation limite les usages de l'eau, notamment la production d'eau potable, les loisirs tels que la pêche et la baignade, ainsi que les activités industrielles. Au cours des dernières décennies, des efforts ont été déployés pour lutter contre ce phénomène (Habi et Hamdoune, 2018 ; Venkiteswaran, 2018). La réduction des rejets ponctuels de phosphore, principalement d'origine domestique et industrielle, a été au cœur de ces mesures visant à préserver la qualité de nos ressources en eau (Habi et Hamdoune, 2018).

Effectivement, le phosphore est un élément clé dans le déclenchement de l'eutrophisation des eaux. Pour prévenir ce phénomène, il est essentiel d'orienter et d'accélérer les efforts visant à réduire la présence de phosphore lors du traitement des eaux usées, que ce soit par des méthodes biologiques ou physico-chimiques. En réduisant les rejets de phosphore, nous pouvons contribuer à préserver la qualité de nos ressources en eau et à minimiser les impacts sur les écosystèmes aquatiques et la santé humaine (Narasiah et al., 1988 ; Vidalet et al., 2018).

Afin de prévenir l'eutrophisation de l'Oued Sebaouqui représente la source d'alimentation de la nappe phréatique principale réservoir hydrique souterrain de la wilaya de Tizi-Ouzou dont, la capacité théorique est de 120 hm³, nous entreprenons une étude sur l'élimination et la réduction de la charge polluante en phosphore dans les eaux de la station d'épuration Est (pont de bougie) de la wilaya de Tizi Ouzou. Nous avons effectué des essais sur l'optimisation de phosphore dans les eaux brutes et épurées pour atténuer les effets préjudiciables de l'eutrophisation. Cette approche de gestion efficace contribue à maintenir la qualité de l'eau et à préserver la biodiversité des écosystèmes aquatiques, tout en garantissant une utilisation durable des ressources en eau pour répondre aux besoins présents et futurs.

1. Généralités sur les eaux usées

Les différentes utilisations de l'eau, que ça soit pour les besoins domestiques, pour le domaine industriel ou agricole, lui procurent des quantités considérables de contaminants ce qui fait changer constamment ses caractéristiques. Dans un souci de santé publique, les eaux usées doivent être épurées de tout constituant indésirable, car ces derniers perturbent énormément le milieu aquatique (Belaid, 2010).

Dans les régions souffrant de pénurie d'eau, les eaux usées ne sont plus considérées comme déchets à éliminer, mais comme partie intégrante des ressources potentielles en eau. La valorisation des eaux usées passe obligatoirement par deux étapes essentielles, la première étape est la collecte des eaux usées. Cette étape nécessite l'installation d'un réseau d'assainissement efficace couvrant toute la zone urbaine. La deuxième étape, qui est étroitement liée à la nature et la quantité des eaux usées collectées, consiste à mettre en place des stations d'épuration adaptées à la nature des affluents. Les eaux usées une fois épurées, intègrent directement le milieu naturel (Oued, mers...), pour pouvoir les valoriser dans différents domaines, des traitements supplémentaires sont nécessaires en fonction de la finalité de l'usage (Belaid, 2010).

1.1. Définition des eaux usées

Une eau usée est une eau issue des rejets d'activités humaines, industrielles et/ou agricole qui peuvent provoquer ou accroître la pollution du milieu naturel dans lequel elle est déversée (Mansouri, 2012).

Les eaux usées sont des eaux fortement chargées de substances qui peuvent être sous forme solide, colloïdale ou dissoute et qui rendent leur qualité très médiocre. Elles exigent une épuration avant leur rejet dans le milieu naturel. L'évolution des activités humaines a provoqué l'accélération de la pollution du milieu récepteur ; ce qui implique des mesures régénératrices et durables (Bourrier, 2008).

1.2. Origines des eaux usées

Il existe principalement quatre origines des eaux usées, ces origines dépendent essentiellement des activités humaines.

- Les rejets domestiques, provenant de l'utilisation quotidienne de l'eau potable par les particuliers pour divers usages ménagers, représentent la principale source de pollution. Ces rejets comprennent les eaux de cuisine contenant des matières minérales en suspension, les eaux de buanderie principalement chargées en détergents, les eaux

de salle de bains contenant des produits d'hygiène corporelle et les eaux de toilette riches en matières organiques et composés chimiques (Adour *et al.*, 2018).

- Les rejets industriels, provenant des usines ainsi que des activités artisanales, commerciales ou hospitalières telles que les blanchisseries, les restaurants et les laboratoires médicaux, peuvent suivre différentes voies d'assainissement : être directement rejetés dans le réseau domestique, prétraités avant d'être rejetés dans ce même réseau, ou entièrement traités sur place avant d'être rejetés dans le milieu naturel (Baumout *et al.*, 2014).
- L'agriculture constitue également une source majeure de pollution des eaux en apportant des engrais et des pesticides, ce qui conduit à un enrichissement des nappes phréatiques en matières azotées et phosphatées par ruissellement (Adour *et al.*, 2018).
- De plus, les eaux de ruissellement, en contact avec l'air et les résidus présents sur les toits, chaussées et sols tels que la poussière, les carburants, les métaux lourds et les pesticides, peuvent également devenir une importante source de pollution environnementale (El Hachemi, 2012).

1.3. Composition des eaux usées

Les eaux usées sont théoriquement composées de 99 % d'eau et de 1 % de matières en suspension colloïdales et dissoutes (Mara, 2003). Les eaux usées urbaines contiennent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes. Ces derniers sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées (Gromaire *et al.*, 2001). Selon Lazarova (1998), la composition des eaux résiduaires urbaines brutes dépend de :

- L'activité humaine (eaux ménagères et eaux de vannes),
- La composition des eaux d'alimentation en eau potable et accessoirement de la nature,
- Les matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau pour quelques constituants chimiques,
- La nature et de la quantité des effluents industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain.

2. Généralité sur le phosphore

Le phosphore (P) est un élément chimique essentiel pour les êtres vivants qui n'a pas de substitut et qui est une ressource non renouvelable (Tarayre *et al.*, 2016). Il est existé naturellement dans les dépôts géologiques de phosphate ou de phosphorite, qui sont

inégalement répartis dans le monde (Desmidt *et al.*, 2015). Ces dernières années, le phosphore a pris une grande importance en raison de l'épuisement de ce minéral, environ 95 % du phosphore extrait étant utilisé dans l'agriculture, principalement comme engrais (Desmidt *et al.* 2015).

Cependant, il y a actuellement une grande lacune dans la compréhension des différentes formes de phosphore, de leurs effets sur l'environnement, de leur biodisponibilité potentielle, y compris en ce qui concerne leur sensibilité aux différents processus de traitement du phosphore et la fraction de phosphore qui peut causer l'eutrophisation des masses d'eau (Venkiteshwaran *et al.*, 2018).

2.1. Origine du phosphore

La lithosphère est la source ultime de tout le phosphore de la biosphère. Bien que l'apatite soit l'un des minéraux primaires les plus facilement altérés. Le phosphore est parmi les minéraux les moins biodisponibles. Ceci est dû à ses différentes formes (formes ioniques selon le pH : H_2PO_4^- ; HPO_4^{2-} ; PO_4^{3-} , complexes minéraux, dits occlus : Al-P, Fe-P, Ca-P, Si-P et le phosphore organique) (Fuentes *et al.* 2006).

L'extraction annuelle de minerais phosphorés représente environ 200 millions de tonnes de minerai brut soit 140 millions de tonnes de minerai concentré, ou encore 40 millions de tonnes de P_2O_5 . La production se répartit pour les engrais, les détergents, les aliments pour animaux et les applications spéciales respectivement de l'ordre 80, 12, 5 et 3 %. Il est évident que le développement de la production mondiale de phosphore reste essentiellement lié au développement de l'agriculture, qui est elle-même, imposée par l'accroissement de la population et ses demandes en nourriture (CABANES, 2006).

2.1.1. Phosphore dans les eaux naturelles

Le phosphore présent dans les eaux de surface, est apporté soit par des sources ponctuelles soit par des sources diffuses (Durrant *et al.*, 1999). Les sources diffuses sont les plus difficiles à caractériser et à contrôler. Elles représentent la proportion majeure des rejets de phosphore. Certaines pertes de phosphore par érosion et lessivage des champs peuvent causer l'eutrophisation dans des eaux sensibles. L'agriculture peut être considérée comme la principale source de ce phénomène. On estime 10 % la quantité totale de phosphore assimilée par les plantes, le reste est soit piégé dans le sol, soit se retrouve dans les cours d'eaux (Mekonnen et Hoekstra 2018).

La présence du phosphore dans les cours d'eau est due aux diverses sources ponctuelles notamment les eaux usées agricoles qui peuvent provenir des stocks intensifs de lisier ou de fumier en un endroit bien localisé. Les industries qui représentent aussi une partie importante en incluant l'industrie alimentaire et de la boisson, l'industrie de production des engrais et de nettoyage de matériels. Tout ceci peut être répandu directement dans les rivières ou retraité dans des stations (Boumara, 2018).

2.1.2. Phosphore dans les eaux résiduaires

L'origine du phosphore dans les eaux usées est multiple, il provient (Habi et Hamdoune, 2018 ; FNDAE, 2002) :

- Du métabolisme humain : un homme excrète entre 1 et 2 grammes de P par jour. Il s'agit de l'apport principal en phosphore dans les cours d'eau.
- Des produits lessiviels et de nettoyage : 1 à 2 grammes de P par jour et par habitation (en diminution).
- Des rejets industriels : les effluents d'industries agro-alimentaires, d'abattoirs, de laveries industrielles, d'industries de traitement de surface et d'industries chimiques spécialisées. Ils véhiculent une quantité de composés phosphorés à peu près équivalente à celle des eaux usées domestiques, pour des régions relativement urbanisées.

2.2. Caractérisation du phosphore

Le phosphore est un élément crucial pour toutes les formes de vie, présent principalement sous forme de phosphates dans la nature. Ces phosphates peuvent être organiques, comme les esters de phosphate trouvés dans les phospholipides, ou inorganiques, comme l'apatite. Les enzymes phosphatases hydrolysent le phosphore organique pour le libérer sous forme inorganique, essentiel pour l'absorption biologique par les plantes et les micro-organismes. Les ions phosphates varient selon le pH du milieu, influençant leur disponibilité biologique. Le phosphore joue un rôle critique dans le cycle écologique, affectant la croissance et le développement des écosystèmes (Desmidt *et al.* 2015). La figure ci-après représente la transformation du phosphore organique en phosphore inorganique par des enzymes extracellulaires d'origine végétale et microbienne.

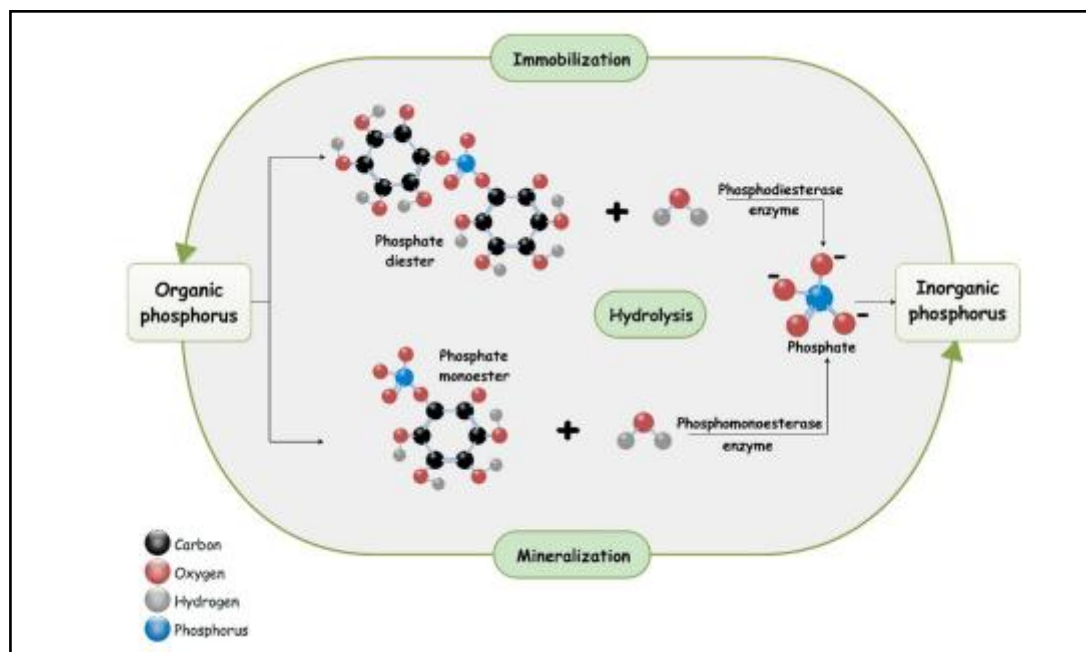


Figure 1 : Processus de transformation du phosphore organique en phosphore inorganique par des enzymes extracellulaires d'origine végétale et microbienne.

2.3.Mécanismes de récupération du phosphore

Dans une perspective globale sur les transformations du phosphore (P) dans les écosystèmes, il est crucial de distinguer entre l'élimination et la récupération de ce nutriment. L'élimination du phosphore, initialement orientée vers la prévention de l'eutrophisation, et évolué pour inclure la récupération des boues riches en phosphore à des fins agricoles (Cornel et Schaum, 2009). Cette gestion durable du phosphore vise à récupérer efficacement ce nutriment, facilitant sa réutilisation via des modèles et des techniques qui permettent de produire des produits contenant du phosphore facilement utilisables (CE, 2013 ; Desmidt *et al.* 2015 ; Venkiteshwaran *et al.*, 2018).

La récupération du phosphore se réalise à la fois dans la phase liquide (eau) et dans la phase boueuse des eaux usées. Environ 90 % du phosphore total peut être retenu dans les boues après un traitement avancé dans les stations d'épuration (Cornel et Schaum, 2009 ; Egle *et al.*, 2016). Les techniques de récupération varient selon le traitement des boues, où jusqu'à 90 % du P peut être récupéré dans les boues d'épuration, et des proportions variables sont récupérées dans d'autres sous-produits comme les lixiviats et les cendres de boues (Cies'lik et Konieczka, 2017; Cornel et Schaum, 2009 ; Egle *et al.*, 2016).

2.4.Utilisation du phosphore

Les emplois du phosphore sont nombreux, 97% de la production mondiale est dévolue à trois usages principaux :

- La production d'engrais qui consomme 79 % en Europe et 80 % à l'échelle mondiale,
- La production des aliments du bétail dont, 11% en Europe et 5 % dans le monde,
- La fabrication des détergents (7% en Europe et 12 % dans le monde) (Aoudj, 2012).

2.5.Phosphore et eutrophisation

Le phosphore joue un rôle crucial dans le processus d'eutrophisation des eaux, comme défini par l'OCDE, elle se caractérise par un enrichissement en nutriments conduisant à une prolifération d'algues et de macrophytes, ainsi qu'à une dégradation de la qualité de l'eau. À l'origine un phénomène naturel, l'eutrophisation est amplifiée par les activités humaines qui introduisent davantage de nutriments, notamment le phosphore et l'azote, dans les écosystèmes aquatiques (Habi et Hamdoune, 2018). La concentration critique de phosphore de laquelle l'eutrophisation peut se manifester est estimée entre 0,04 et 0,1 mg/l dans les eaux stagnantes. Lorsque les niveaux de phosphore dépassent 0,6 mg/l, le phosphore cesse d'être le facteur limitant et l'augmentation de sa concentration ne correspond plus proportionnellement à la croissance végétale (Habi et Hamdoune, 2018). L'excès de phosphore favorise la croissance excessive d'algues et de plantes aquatiques, altérant ainsi l'équilibre naturel des écosystèmes aquatiques (Boumara, 2018).

• Lutte contre l'eutrophisation

- ✓ Pour lutter efficacement contre l'eutrophisation des milieux, il faut s'attaquer à la cause de ce dérèglement, elle peut également traiter de manière curative, cela passe par (Durrant *et al.*, 1999) :
- ✓ Réduction des apports d'origine domestique ;
- ✓ Diminution l'utilisation de polluants eutrophisants dès l'amont du bassin versant ;
- ✓ Diminution l'utilisation de pesticides et leur arrivée dans les cours d'eau;
- ✓ Utilisation rationnellement des engrais en agriculture (analyser la valeur agronomique des sols et privilégier les engrais naturels) ;
- ✓ Aménagement des bassins versants reconstituants des réseaux de blocage, talus, haies, et bandes enherbées, suffisants en taille et cohérents avec le relief et la pédologie ;
- ✓ Remplacement les phosphates des lessives par des agents anticalcaires sans impact sur l'environnement, tels les zéolites ;

- ✓ Mieux éliminer l'azote et le phosphore dans des stations d'épurations (qui peuvent être équipées de procédés de dénitrification et de déphosphatation).

2.6. Technologies de traitement du phosphore

Afin de réduire les rejets phosphorés d'origine domestique dans les eaux naturelles, des procédés de déphosphatation ont été développés depuis les années 1980. Nous distinguons les procédés biologiques et les procédés physico-chimiques.

2.6.1. Traitement biologique

Le traitement biologique se fait sans ajout de réactifs chimiques. Il consiste en général en l'assimilation du phosphore par les microorganismes pour leurs besoins métaboliques minimaux, et d'autre part la suraccumulation du phosphore par des bactéries déphosphatantes au-delà de leurs besoins métaboliques.

2.6.2. Traitements physico-chimiques

La filière de traitement du phosphore par voie physico-chimique consiste à transformer le phosphore dissous en espèces insolubles (précipitation, coagulation-floculation) dite déphosphatation physico-chimique, ou le retenir sur une matrice solide (membrane, échangeur d'ions (résines) et adsorbant).

La déphosphatation physico-chimique vise la transformation sous la forme particulière d'une quantité suffisante d'orthophosphate après liaison chimique avec un sel de métal (précipitation). Les précipitants les plus courants sont les sels de fer, les sels d'aluminium et la chaux qui est efficace par sa composition en calcium. Ces mêmes sels (coagulants) peuvent neutraliser des charges répulsives des particules pour favoriser la floculation et la sédimentation (cas de coagulation-floculation). De plus, diverses réactions compétitives favorisent aussi la formation de solides en forme de floc. Une fois la formation suffisante de floc, la séparation « solide-liquide » est réalisée par décantation et/ou par filtration. L'ajout de coagulant engendre toutefois des effets secondaires dont, il faut tenir compte, comme une variation du pH et l'accroissement du volume de boues (résidus) produit.

La floculation est assurée par l'ajout de polymères (exemple alginate). Ce sont des molécules à longue chaîne carbonée qui piègent les particules et qui, par des mécanismes successifs d'adsorption et de réticulation forment des floccs solides. Le choix d'un polymère se fera non seulement d'après la nature de l'effluent, mais aussi d'après la

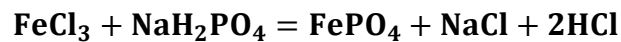
technique avale de séparation de phase qui nécessite, pour être optimale, des conditions précises de viscosité, de résistance mécanique et de taille des floccs.

Réactifs utilisés pour le déphosphatation physico-chimique

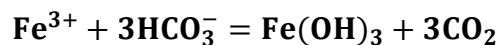
a) Réactifs à base de fer

• Chlorure ferrique

Le chlorure ferrique (FeCl_3) est un des réactifs les plus utilisés du fait de son coût plus faible que les autres molécules de fer ou d'aluminium et de son utilisation plus simple que pour la chaux, dont la complexation et la précipitation dépendent du pH. La réaction dominante qui s'établie entre les ions ferriques et les ions phosphates est la suivante :

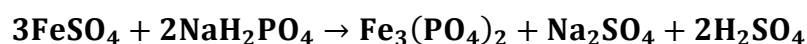


En plus du complexe fer/phosphore attendu, se forment des molécules de chlorure de sodium et d'acide chlorhydrique qui baissent le pH entre 5 et 6. Ce pH permet la bonne précipitation du complexe et donc sa décantation avec les floccs biologiques au niveau du clarificateur. Toutefois, il est nécessaire de surveiller cette grandeur, car l'effluent rejeté ne doit pas être trop acide par rapport au milieu récepteur. Les ions ferriques se complexent avec les ions hydroxydes et bicarbonates de l'effluent pour former des complexes d'hydroxydes ferriques qui précipitent et décantent également avec les boues biologiques (Habi et Hamdoune, 2018).



• Sulfate ferreux

Le sulfate ferreux (FeSO_4) est un réactif très peu utilisé. Il est proposé, selon les distributeurs, soit sous forme liquide (le Fer représente en poids 12,5 %), soit sous forme de poudre. Lorsque l'ajout du sulfate ferreux a lieu dans le bassin d'aération, cas de loin le plus fréquent, les ions ferreux sont oxydés en ions ferriques très rapidement. Les ions ferreux donnent lieu à la formation du précipité $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ (ou vivianite) selon la réaction suivante :



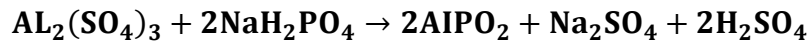
b) Réactifs à base d'aluminium

L'ion aluminium utilisé pour la précipitation du phosphore est combiné avec les ions sulfates, sodium, chlorure ou hydroxyde au sein des réactifs comme le sulfate

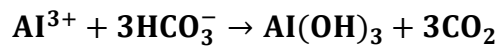
d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), l'aluminate de sodium ($\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3$), les polychlorures d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_x\text{Cl}_y$), les polymères d'aluminium et les polyhydrochlorures mixtes d'aluminium et de fer (Habi et Hamdoune, 2018).

- **Le sulfate d'aluminium**

La réaction chimique dominante entre les ions aluminium et les phosphates est :

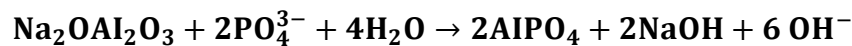


La solubilité du précipité obtenu, AlPO_4 (variscite) est fonction du pH. L'efficacité optimale du traitement chimique se situe pour des pH compris entre 5,5 et 6,5. Les ions aluminium ajoutés précipitent en parallèle avec les ions hydroxydes et les ions carbonates de l'eau, pour former des précipités d'hydroxyde d'aluminium.



- **L'aluminate de sodium**

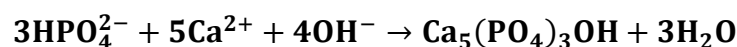
La réaction de précipitation des phosphates s'écrit comme suit :



Elle montre que l'utilisation de l'aluminate de sodium augmente le pH par la présence de NaOH. Nous observons également des précipitations parallèles qui induisent la formation d'hydroxydes d'aluminium.

c) Réactif à base de calcium

Nous citerons l'utilisation dans de très rares cas, de la chaux seule (CaO) comme réactif de précipitation du phosphore. L'addition de chaux dans une eau résiduaire précipite les orthophosphates, principalement sous forme d'hydroxyapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ dont le rapport molaire théorique Ca/P est 1,67.



La solubilité de l'hydroxyapatite diminue avec l'augmentation du pH et par conséquent l'élimination du phosphore croît avec le pH. À pH supérieur à 9,5, l'essentiel de l'hydroxyapatite est insoluble (Habi et Hamdoune, 2018).

1. Objectif

Dans le but d'évaluer l'efficacité des méthodes physico-chimiques pour résoudre le problème du traitement des eaux contenant des phosphates, notre étude est concentrée sur l'amélioration des performances de déphosphoration des effluents par le procédé de coagulation-floculation. Nous utilisons la chaux (CaO) comme coagulant, et la floculation est réalisée de manière naturelle.

Pendant la période de stage pratique, nous avons utilisé les eaux épurées et brutes de la station d'épuration Tizi-Ouzou Est. Durant cette période nous avons effectué une série d'analyse concernant certains

Paramètres physico-chimiques :

- Analyses quotidiennes (T° , PH, turbidité, conductivité, MES).
- Analyses complémentaire (DBO, DCO, NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-}).

Les prélèvements sont effectués deux fois par semaine pendant un mois et sont transportés dans une glacière maintenue à $4^\circ C$ jusqu'au laboratoire de traitement des eaux de notre faculté.

2. Présentation de la région d'étude

2.1. Station d'épuration de Tizi-Ouzou

La station d'épuration Est de la ville de Tizi-Ouzou a été conçue au début des années 90 et mise en marche en Aout 2001, pour épurer les effluents de la partie Est de la ville de Tizi-Ouzou et de ramener la pollution à un degré plus bas par le procédé d'épuration à boue activée moyenne charge. Cette station est gérée par l'office national de l'assainissement (ONA) qu'est un établissement public national à caractère industriel et commercial, crée par décret exécutif n°16102 du 21 avril 2001. Cet établissement est placé sous la tutelle du ministre de ressources en eau, son rôle est :

- La protection de l'environnement.
- La préservation de la santé publique.
- La lutte contre les sources de pollution hydrique.
- Traiter et éliminer les eaux usées afin de protéger l'environnement.
- Responsable de la maintenance et la gestion de l'infrastructure telle que les stations d'épuration, les réseaux de collecte et les équipements de pompage.

L'ONA s'est engagé dans une démarche management de l'environnement selon la norme ISO 14001 versions 2004, où elle est certifiée pour la première fois en 2007 et à chaque fin de

l'année et ce pendant 10 ans de ladite STEP. Le tableau ci-après représente les données générales de la STEP Est de Tizi-Ouzou.

Tableau 1: Données générales de la STEP

Nom de la station	STEP Est de Tizi-Ouzou
Commune	Tizi-Ouzou
Date de mise en service	Juillet 2000
Date de transfert de la station à l'ONA	Juillet 2003
Nature des eaux brutes	Urbaines
Alimentation en eau usée	Gravitaire jusqu'à la station
Type du dispositif d'assainissement	Unitaire
Capacité de la station	120 000 EQH - 18 000 m ³ /j
Milieu récepteur	Oued Sebaou

2.2.Situation géographique de la STEP

La STEP est située sur la rive gauche d'Oued Sebou à 200m en amont du pont de bougie sur le chemin de Wilaya n° 124 reliant Tizi-Ouzou à Bejaia. La STEP est donc implantée à la sortie Est de la ville de Tizi-Ouzou, en dehors du tissu urbain. Elle occupe une superficie de 35591 m², dont 14714 m² bâtis. La figure n00 représente l'image satellitaire de la STEP Est.



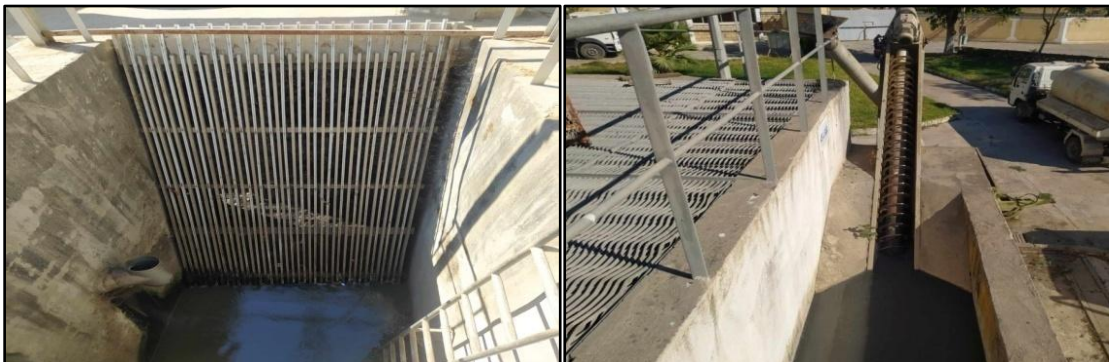
Figure 2: Image satellitaire de la STEP Est de Tizi-Ouzou (google earth, 2024)

2.3.Fonctionnement de la STEP

2.3.1. Filière eau

✓ Prétraitement

Le dégrillage grossier et le dégrillage fin sont des étapes de prétraitement essentielles dans les installations de traitement des eaux usées. Le dégrillage grossier consiste à éliminer les gros débris tels que les branches, les feuilles et les déchets solides flottants à l'aide de grilles ou de barreaux espacés. Cette étape empêche ces gros débris d'endommager les équipements de traitement ultérieurs. Ensuite, le dégrillage fin intervient pour éliminer les particules plus petites, comme le sable, les graviers et les débris solides plus fins. Ces particules pourraient perturber les processus de traitement subséquents s'ils n'étaient pas éliminés. Enfin, le dessablage-déshuilage est des processus visant à éliminer le sable, les matières organiques et les graisses résiduelles de l'eau. Le dessablage fait appel au procédé physique naturel, il permet d'éliminer environ 70 % de matières minérales et organiques en suspension par décantation. L'extraction de ses sables se fait à l'aide d'une vis sans fin verticale inclinée à 45° qui arrive jusqu'au fond du bassin, cette dernière assure à la fois l'essorage et le relevage du sable après égouttage. Les sables sont ensuite acheminés vers une benne de récupération considérés comme boues primaires, tandis que le déshuilage vise à éliminer les graisses et les huiles par le procédé de flottation. Ces étapes de prétraitement sont cruciales pour garantir l'efficacité et la fiabilité des processus de traitement ultérieurs dans les installations de traitement des eaux usées.



Dégrilleur grossier

vis à sable

✓ **Traitement biologique**

Le traitement biologique comprend généralement deux étapes principales : le bassin d'aération et la clarification.

Le bassin d'aération est le cœur du traitement biologique des eaux usées. Dans ce bassin, les eaux usées sont en contact avec la biomasse épuratrice principalement des bactéries et donnent la liqueur mixte d'une couleur marron chocolaté. Afin de favoriser l'oxydation aérobie,

on pratique le brassage, il permet ainsi l'apporte

d'O₂ nécessaire pour le développement des

micro-organismes qui se nourrissent en dégradant

les matières organiques dissoutes pour les transformées en composés plus stables tels que le dioxyde de carbone, l'eau et la biomasse. Ce dernier a pour but d'homogénéiser et mélanger les floccs bactériens et les eaux usées, augmenter la surface spécifique et éviter toutes formes les dépôts au fond du bassin.

✓ **Clarification**

Après le traitement biologique dans le bassin d'aération, l'eau passe ensuite à l'étape de clarification. Cette étape permet de séparer par décantation dite secondaire l'eau épurée des boues secondaires issues du bassin d'activation, autrement dit séparation solide-liquide. Le clarificateur est un bassin calme, donc pas d'apport en oxygène, les microorganismes sont soumis à un stress respiratoire et alimentaire de ce fait ils entrent en mode de résistance, ils sécrètent des polysaccharides et des filaments qui leurs permet de s'agglutiner et former des floccs plus volumineux et d'un poids plus élevé ce qui facilite ainsi leur décantation au fond de bassin et forment les boues secondaires et l'eau clarifiée ou effluent secondaire se retrouve à la surface du clarificateur. Cette eau sera rejetée vers l'oued qui alimente la nappe phréatique de Sebaou, Les boues formées au fond du bassin sont ensuite récupérées, Une partie des boues secondaires est recyclée et renvoyée vers le bassin d'activation (bassin d'aération) selon les besoins et le reste est traitée davantage pour une élimination sûre.



Bassin d'aération

2.3.2. Filière boue

✓ Stabilisation

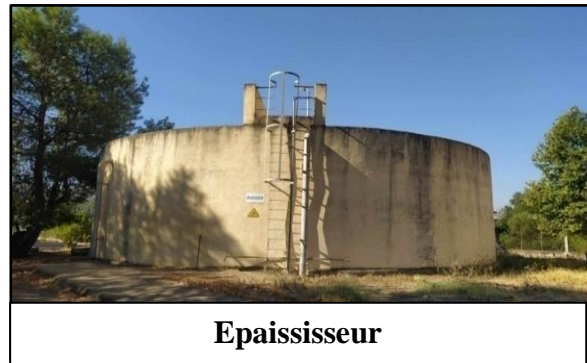
La boue en excès est extraite et évacuée vers deux bassins de stabilisation avec apport d'oxygène sans nutriment, ce stress alimentaire sert à affamer les micro-organismes et à déclencher le phénomène d'auto-oxydation.



Bassin de stabilisation

✓ Epaissement

Cette étape a pour but de filtrer et d'enlever une partie plus ou moins importante de l'eau contenue dans la boue afin d'obtenir des boues faciles à stocker et à transporter. L'épaississeur des boues a pour fonction de limiter le volume de l'eau de 3 à 30 g de boues par litre d'eau, il permet d'obtenir une pâte qui



Epaisseur

doit garder sa liquidité pour ne pas boucher les conduites, l'eau qui passe dans le fond du bassin sera renvoyée vers la tête de station pour subir à nouveau les traitements précédents.

✓ Séchage et stockage

Les boues récupérées de l'épaississeur sont séchées à l'air libre dans 20 lits de séchage pour un volume journalier de 180 à 210 m³ et un temps de séchage moyen de 17 à 20 jours. Une partie des eaux contenues dans la pâte s'évapore et une autre partie s'infiltré et sera acheminée vers la tête de station pour subir à nouveau les traitements précédents. Ces boues peuvent être utilisées comme des engrais dans l'agriculture vu qu'elles sont riches en



phosphore et en azote. Les boues séchées sont raclées et stockées dans des airs de stockages en vue d'une utilisation agricole.

3. Echantillonnages

Le suivi des paramètres physico-chimique (température, pH, MES, DBO₅, NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻ et PO₄³⁻) de ladite STEP a été effectué de au et les essais de l'optimisation du phosphore ont été effectués de au La fréquence des prélèvements était d'un prélèvement par semaine, pour les eaux usées brutes et ce, à la tête de station et pour les eaux épurées à la sortie de clarificateur. Les échantillons sont transportés dans une glacière jusqu'au laboratoire puis conservés à 04 °C (norme ISO 5667-1, norme ISO 5667-3) (Rodier, 2009 ; FUNASA, 2013).

3. Analyses physico-chimiques

4.1.Potentiel Hydrogène

Le pH de l'eau représente la concentration en ions hydrogène dans l'eau. L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 qui correspond à une solution neutre à 25 °C (Al-Qawat *iet al.*, 2015 ; Boumalek, 2020).Le potentiel hydrogène a été déterminé par la méthode électrométrie en utilisant un pH-mètre Hanna pH 211 a la STEP et un pH-mètre Hanna modèle HI 2209 a laboratoire de notre faculté.



4.2.Température

La température est un facteur écologique important du milieu,il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, en effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique (Boumalek, 2020).La température a été déterminé par la méthode électrométrie en utilisant mini-thermomètre Hanna de précision avec sonde déportée Checktemp1 HI 98509 a la STEP et un thermomètre à mercure au laboratoire de la faculté.



4.3. Turbidité

La turbidité de l'eau est attribuée à la présence de particules en suspension finement divisées telles que l'argile, les limons, les grains de silice et la matière organique (Idrissi *et al.*, 2015 ; Boumalek, 2020). La turbidité a été évaluée par des mesures directe à l'aide d'un turbidimètre Hanna modèle HI 460.



4.4. Conductivité

La conductivité électrique reflète le niveau de minéralisation global et nous donne des informations sur le degré de salinité (Idrissi *et al.*, 2015 ; Boumalek, 2020). Pour mesurer la conductivité, nous avons utilisé la méthode électrométrie avec un conductimètre Hanna modèle HI 2314.



4.5. Matières en suspension

Les matières en suspension (MES) constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée. Elles peuvent être composées de particules de sable, de terre et de sédiment arrachées par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées ou les eaux pluviales très riches en MES, d'êtres vivants planctoniques. Elles correspondent à la concentration en éléments non dissous d'un échantillon (Metahri, 2012 ; Karef, 2017). Les MES ont été déterminées à l'aide d'un spectrophotomètre Hach DR 2000.



4.6. Demande biologique en oxygène

Elle exprime la quantité d'oxygène en mg/l nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques présentes dans les eaux usées par les microorganismes du milieu. Elle est mesurée par la consommation d'oxygène à 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique des matières organiques carbonées (Bounoua *et al.*, 2017).

La demande biologique en oxygène (DBO₅) a été déterminée par la méthode manométrique réalisée dans des flacons Oxitop, cette méthode repose sur la mesure de la pression dans un système clos. Les micro-organismes consomment l'oxygène de l'échantillon en formant du CO₂. Celui-ci est absorbé par NaOH et il s'en suit une dépression dont la mesure peut être traduite directement en mg d'O₂/l.



4.7. Matière azotée

L'ammonium, les nitrates et les nitrites ont été dosés selon la méthode colorimétrique et la lecture à l'aide d'un spectrophotomètre Hach DR 2000.

L'azote ammoniacal résulte de la transformation de l'azote organique avec ou sans oxygène dissous, en station ou dans les réseaux d'assainissement (Karef, 2017). L'ammonium a été déterminé en présence du salicylate ammoniacal et des cyanurates ammoniacal qui donnent une couleur verdâtre. L'absorbance est obtenue à la longueur d'onde de 655 nm.



Les nitrates sont le résultat de la décomposition naturelle, par des microorganismes, de matière organique azotée telle que les protéines végétales, animales et les excréments animaux (Rodier, 2009 ; Bouziani, 2000). Les nitrates ont été déterminés par l'ajout d'un réactif NitraVer 5 en sachet de poudre pour des échantillons de 25 mL qui forment avec les ions nitrates, un complexe coloré marron dont l'intensité est proportionnelle à la teneur en nitrates et qui absorbe à la longueur d'onde de 500 nm.



Les nitrites NO_2^- proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates (Boualem, 2009). Les nitrites ont été déterminés par l'ajout d'un réactif NitriVer 3 en sachet de poudre pour des échantillons de 25 mL qui forment avec les ions nitrites un complexe coloré rose dont l'intensité est proportionnelle à la teneur en nitrites et qui absorbe à la longueur d'onde de 507 nm.



4.7. Matière phosphorée

Les matières phosphorées sont des matières organiques et minérales possédant des atomes de phosphore. La présence de phosphore dans les eaux usées est essentiellement due aux rejets domestiques (détergents et métabolisme humain), agricole (engrais et pesticides) et industriels. Il se trouve soit sous forme minérale d'ions orthophosphate isolés, soit sous forme d'ions phosphate condensé entre eux (poly-phosphates), soit sous forme organique de

groupements phosphate liés aux molécules organiques (Rejsek, 2002 ; Boumalek, 2020). Les Orthophosphates ont été dosés selon la méthode colorimétrique en présence d'un réactif PhosVer 3 qui forment avec les ions Orthophosphates un complexe coloré en bleu, la mesure a été faite à une longueur d'onde de 890 nm et la lecture à l'aide d'un spectrophotomètre Hach DR 2000, et ce dans la STEP. Les Orthophosphates ont été déterminés aussi à l'aide d'un spectrophotomètre Shimadzu, réglé à une longueur d'onde de 660 nm au niveau de laboratoire de la faculté.

5. Essai de la déphosphatation par la chaux

Pour réussir les essais de précipitation du phosphore à partir des eaux usées, nous avons choisi la chaux comme coagulant dans cette étude. Les essais de coagulation-floculation ont été réalisés à l'aide d'un équipement de laboratoire spécifique, le JT-M6C Digital Jar Test, qui nous permet de simuler les conditions de traitement des eaux à plus grande échelle.

5.1. Coagulation

Il est important de noter que le coagulant utilisé était de la chaux, sous forme de poudre, qui est connue pour sa capacité à réagir avec les impuretés présentes dans l'eau. Cette forme de chaux est non soluble dans l'eau, ce qui garantit une libération progressive des ions hydroxydes nécessaires à la précipitation des phosphates.

Pour sélectionner les paramètres optimaux, nous avons mené à une série d'expériences variées. Nous avons tout d'abord exploré différentes doses de coagulant à ajouter, allant des quantités minimales aux doses plus élevées, afin de déterminer la quantité idéale pour obtenir une précipitation efficace du phosphore tout en évitant un excès de coagulant. En plus, nous avons testé plusieurs vitesses d'agitation rapide et nous avons également étudié la durée d'agitation nécessaire pour favoriser une bonne dispersion du coagulant dans l'eau et permettre une réaction efficace avec les particules en suspension.

En analysant ces différents paramètres expérimentaux, nous avons pu déterminer les conditions optimales pour obtenir une précipitation efficace du phosphore tout en testant l'utilisation de la chaux.

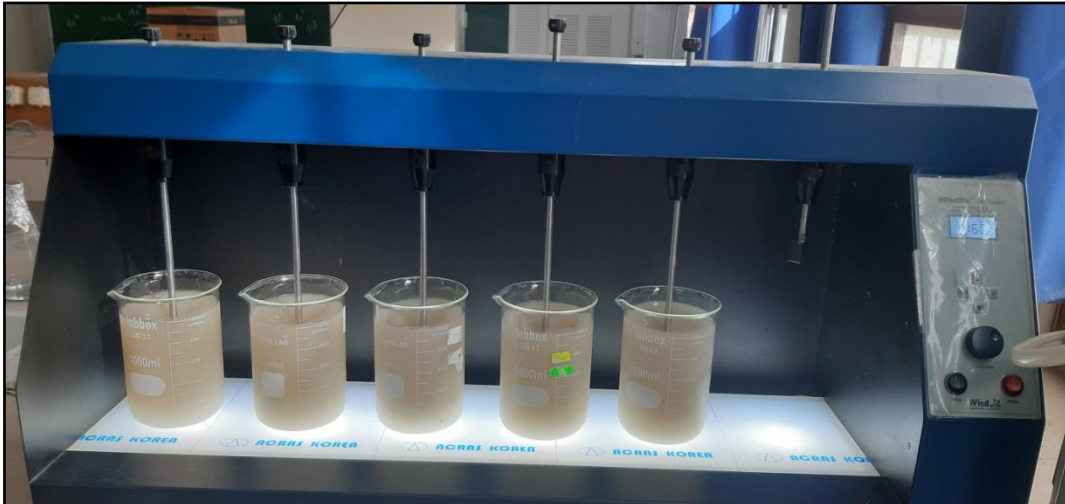


Figure 3: Jar Test JT-M6C Digital

5.1.1. Quantité de la chaux

Pour déterminer avec précision la quantité idéale de chaux nécessaire pour la déphosphatation des eaux usées, nous avons mené une série d'essais expérimentaux. Ces essais ont été effectués en utilisant la même quantité d'eau pour chaque test, et ont consisté à appliquer des doses croissantes de chaux dans le processus, variant de 5 à 9g par un litre d'eau. Il convient de noter que la quantité de coagulant est un paramètre important dans ce processus, car elle peut influencer considérablement l'efficacité de la chaux. De ce fait, cette méthodologie nous a permis d'évaluer d'une manière détaillée la réponse de la chaux à différentes concentrations de coagulant, et de déterminer la quantité optimale pour obtenir une efficacité maximale de déphosphatation tout en minimisant les coûts d'exploitation.

5.1.2. Vitesse rapide

Pour obtenir une vitesse d'agitation rapide idéale, nous avons conduit une série d'essais en faisant varier la vitesse du mélangeur dans une plage allant de 160 à 300 tr/min. Cette gamme de vitesses a été choisie afin d'explorer l'effet de différentes intensités d'agitation sur le processus de coagulation-floculation. En augmentant progressivement la vitesse, nous avons pu observer comment cela influençait la dispersion du coagulant dans l'eau et la formation de floccs. Cette approche nous a permis d'identifier la vitesse optimale qui favorise une interaction efficace entre la chaux et les particules en suspension, conduisant ainsi à une précipitation efficace du phosphore dans les eaux usées.

5.1.3. Temps d'agitation rapide

Après avoir ajusté la vitesse d'agitation rapide, il est crucial de trouver la durée d'agitation pour maximiser l'efficacité du processus de coagulation. Pour cette étape, nous avons réalisé des essais en faisant varier le temps d'agitation dans une plage de 2 à 5 minutes, tout en maintenant une vitesse de 200 tr/min. Cette plage de temps a été sélectionnée pour permettre une exploration détaillée des effets de différentes durées d'agitation sur la formation et la maturation des floes. La durée d'agitation influence la qualité des précipités et la clarification de l'eau.

5.2.Floculation

La floculation a été faite naturelle donc sans l'ajout d'un adjuvant. De plus, nous avons testé plusieurs vitesses d'agitation lentes afin d'évaluer leur impact sur le processus de floculation. Par ailleurs, nous avons également étudié la durée d'agitation lente nécessaire pour favoriser une bonne décantation des floes.

5.2.1. Vitesse lente

Pour obtenir une vitesse d'agitation lente idéale, nous avons effectué des tests en faisant varier la vitesse dans une plage allant de 30 à 100 tr/min.

5.2.2. Temps d'agitation lente

L'importance du temps de mélange lent dans la formation des floes lors de l'étape de floculation est indéniable. Pour explorer cette relation, nous avons mené des essais sur une plage de temps allant de 20 à 28 minutes, avec une vitesse constante de 30 tours par minute.

6. Filtration

Après avoir ajusté la quantité de coagulant, la vitesse et la durée de l'agitation à la fois lente et rapide pour obtenir les meilleurs résultats, nous passons à l'étape suivante de l'expérience : la filtration. Cette étape est cruciale pour séparer les particules floculées de la solution. Pour ce faire, nous utilisons un erlenmeyer pour recueillir la solution, un entonnoir pour diriger le liquide et un papier à filtre de séparation solide-liquide placé dans l'entonnoir. Ce papier à filtre est choisi pour ses propriétés de rétention des particules solides tout en permettant le passage du liquide filtré. Cette configuration est essentielle pour obtenir une séparation efficace et propre des particules floculées de la solution liquide.



Figure 4 : Séparation solide-liquide par filtration

1. Courbe d'étalonnage

La figure ci-après illustre la courbe d'étalonnage du phosphore, elle représente la relation entre l'absorbance et la concentration finale mesurée en mg/l à l'aide d'un spectrophotomètre.

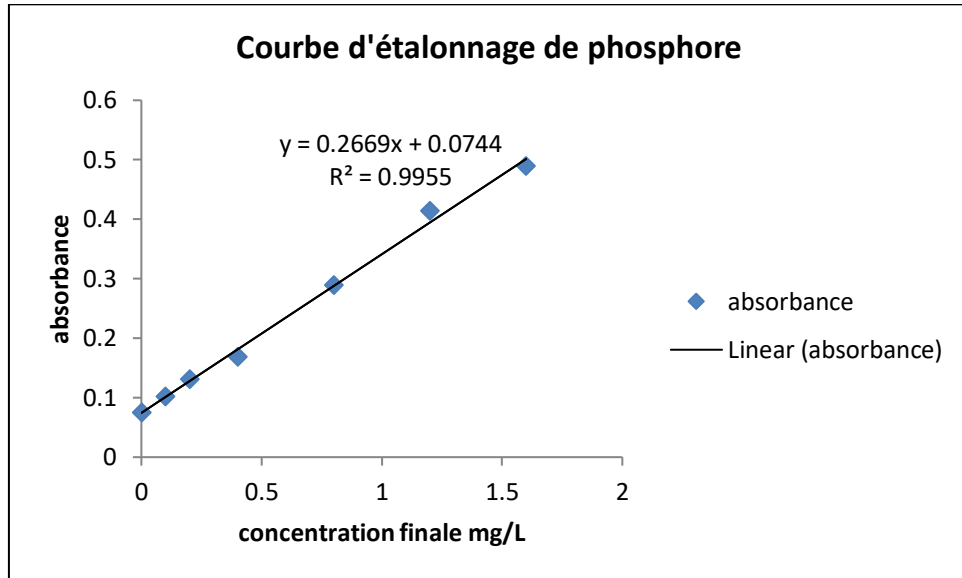


Figure 5 : Relation entre l'absorbance et la concentration en phosphore

L'axe horizontal représente la concentration finale en phosphore (mg/l), tandis que l'axe des verticaux représente l'absorbance. L'absorbance est une mesure de la quantité de lumière absorbée par l'échantillon. La courbe suit une tendance linéaire ascendante, ce qui signifie que plus la concentration en phosphore augmente en parallèle avec l'absorbance. En effet, plus l'absorbance est élevée, plus la concentration en phosphore dans l'échantillon est élevée. La relation entre ces deux variables est décrite par l'équation de la droite :

$$\text{Absorbance} = 0,2669 \times \text{concentration} + 0,0744$$

Le coefficient de détermination R^2 est de 0,9955, indiquant une forte corrélation entre l'absorbance mesurée et les concentrations en phosphore connues.

2. Tests d'élimination

2.1. Quantité de coagulant

Pour étudier l'effet de la quantité de chaux sur le taux d'élimination des phosphates par précipitation chimique, une série d'expériences a été réalisée en introduisant des quantités variables de chaux dans des échantillons contenant une concentration initiale en orthophosphate de 0,767mg/L. Les quantités de chaux ajoutées ont été méthodiquement augmentées de 5 à 9 grammes avec un intervalle d'un pour chaque essai. Les résultats obtenus

illustrant l'effet de la quantité de coagulant sur l'élimination des phosphates, ils sont représentés de manière détaillée dans l'histogramme ci-dessous.

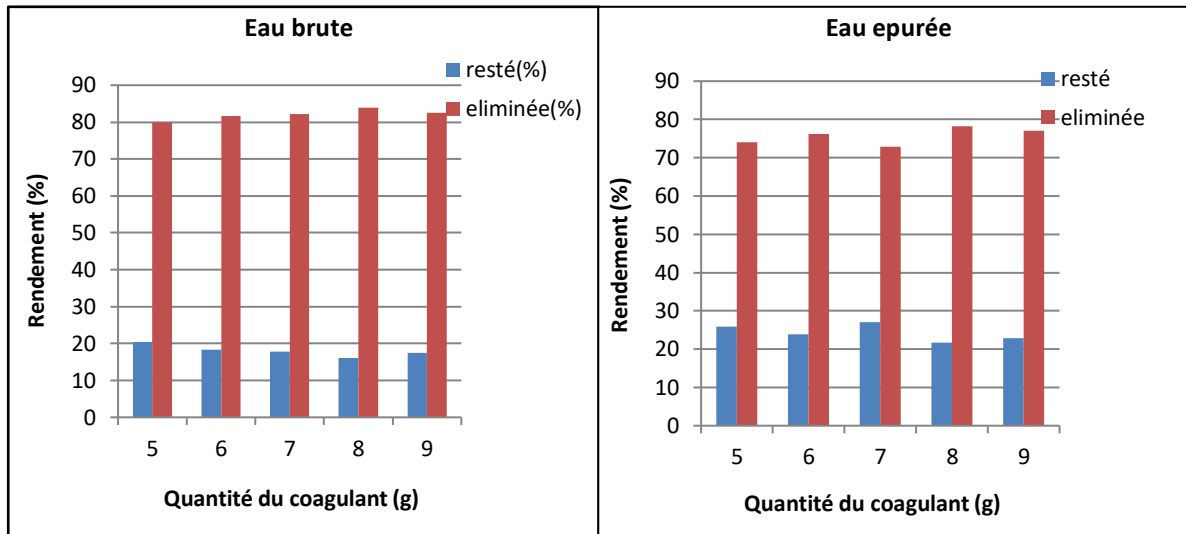


Figure 6 : Variation du rendement d'élimination de phosphore en fonction de la quantité du coagulant.

D'après l'analyse des deux graphiques, nous avons observé que le sens d'élimination de phosphore dans l'eau brute est variable en fonction de la quantité de chaux ajoutée. Par contre, le sens d'élimination à une tendance régulière où le rendement d'élimination augmente progressivement avec l'augmentation de la quantité de chaux augmente de 5 à 8g, cependant, à 9g de la chaux, le rendement commence à diminuer. Les résultats indiquent que les pourcentages les plus élevés d'élimination sont fixés à une quantité de 8 g de chaux, il est de 78,22 % pour l'eau épurée et 83,83% pour l'eau brute. Ces chiffres montrent une efficacité maximale à cette dose de chaux pour réduire le phosphore dans les deux types d'eau étudiés.

2.1.1. Température

Les deux graphes ci-après illustrent l'effet de l'ajout de chaux sur les températures dans deux différents types de l'eau.

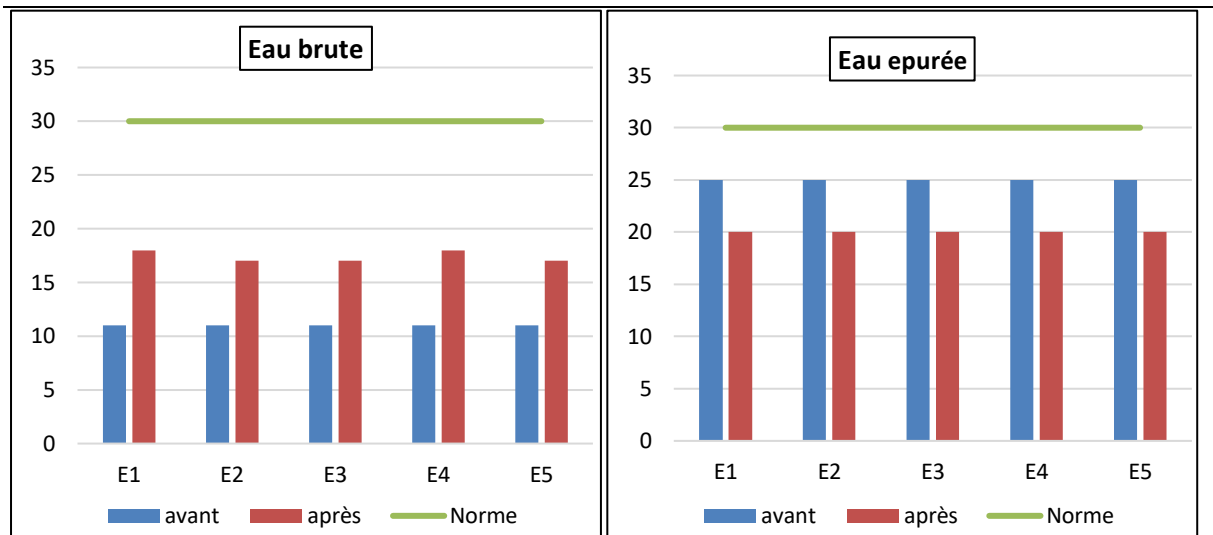


Figure 7 : Variation de la température en fonction de la quantité de la chaux.

Le premier graphe représente les variations de la température en fonction de la quantité de la chaux dans l'eau brute, avant et après l'ajout de chaux. Avant la déphosphatation, la température dans des différents essais est la même. Après la déphosphatation, la variation de la température va dans le sens d'augmentation, elle est de 18 °C à une quantité de 5 et 8 g de la chaux et elle est de 17 °C à une quantité de 6, 7 et 8 g de la chaux.

Le deuxième graphe concerne l'eau épurée avant et après l'ajout de chaux. Avant la déphosphatation, la température initiale est de 25 °C (histogramme bleu). Après des essais de déphosphatation, la température (histogramme rouge) diminue et ne maintenant une stabilité à 20 °C, indiquant un effet de refroidissement notable du processus. De plus, toutes les valeurs de températures obtenues restent au-dessous la norme de rejet vers le milieu naturel représentée par la ligne verte dans les deux graphes.

En effet, l'ajout de chaux influence de manière distincte sur la température des deux types d'eau, elle peut s'expliquer par les processus chimiques et les réactions complexes qui se produisent lors de ce processus. Lorsque la chaux est ajoutée aux eaux usées :

- a) **Réaction exothermique lors de l'extinction de la chaux :** Lorsque la chaux vive (CaO) est hydratée pour former de la chaux éteinte (Ca(OH)_2), une réaction exothermique se produit, libérant de la chaleur. Cependant, une fois mélangée aux eaux usées, la chaux éteinte peut absorber la chaleur de l'environnement, entraînant une diminution globale de la température.
- b) **Décarbonatation du minéral :** La chaux est souvent produite à partir de calcaire (CaCO_3) par un processus de décarbonatation. Ce processus peut réduire la

température lors de la formation de la chaux, contribuant ainsi à la baisse de la température dans le traitement des eaux.

- c) **Réactivité de la chaux** : La température à laquelle la chaux est calcinée affecte sa réactivité. Des températures de calcination plus élevées peuvent correspondre à des réactivités plus faibles. Ainsi, une chaux calcinée à haute température peut réagir moins vigoureusement avec les composants des eaux usées, contribuant à la diminution de la température après son utilisation dans le traitement (Deronzier et Choubert, 2004).

En résumé, la diminution de la température après l'utilisation de la chaux dans le traitement des eaux usées est le résultat de diverses réactions chimiques et physiques, y compris des réactions exothermiques lors de l'extinction de la chaux, des processus de décarbonatation et la réactivité variable de la chaux selon son processus de production. Ces processus sont essentiels pour éliminer les phosphates et d'autres contaminants, mais ils peuvent influencer la température globale du système.

D'autre part, l'augmentation de la température de l'eau brute après l'utilisation de la chaux pour la déphosphatation peut être expliquée par des réactions exothermiques lors de l'ajout de chaux, la neutralisation des acides, les effets de précipitation et les changements dans la distribution de chaleur dans le système. Ces interactions thermodynamiques sont influencées par les réactions complexes entre la chaux et les composés présents dans l'eau brute, contribuant ainsi à des variations locales de température après le traitement.

2.1.2. Potentiel hydrogène

Les graphes suivant illustrent les variations de pH avant et après l'utilisation de la chaux dans le processus de déphosphatation des eaux brutes et épurées.

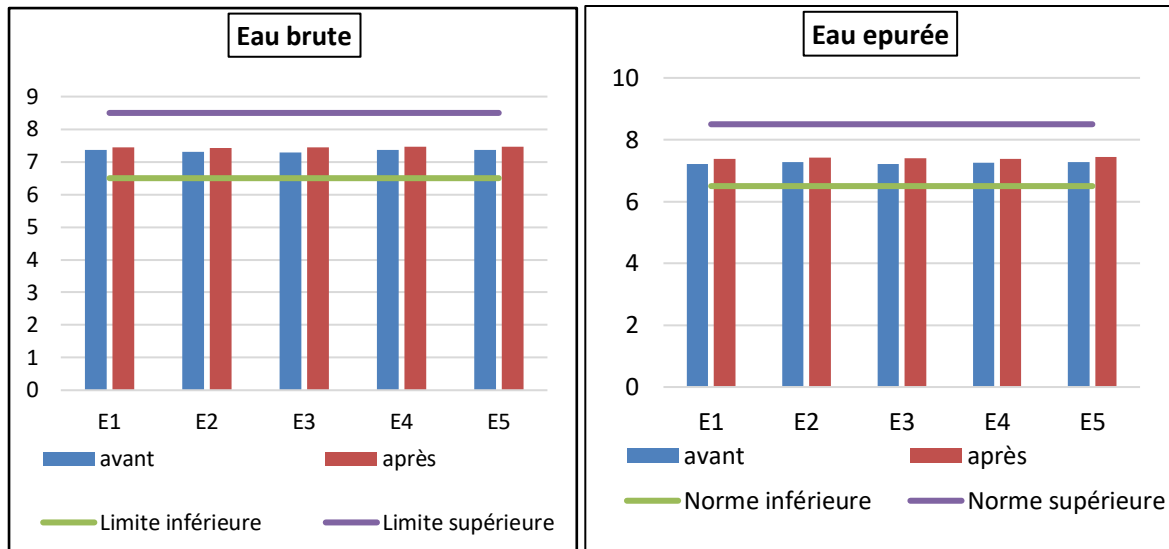


Figure 8 : Variation de potentiel Hydrogène en fonction de la quantité de la chaux.

Les valeurs de pH à l'état initial varient de 7,21 à 7,36. Après déphosphatation par l'ajout de la chaux, le pH augmente légèrement et varie de 7,31 à 7,46. Lors de la déphosphatation des eaux usées avec l'utilisation de la chaux, le pH augmente principalement en raison de la réaction chimique entre la chaux (l'hydroxyde de calcium, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) et les substances acides présentes dans l'eau (Molle *et al.*, 2020).

- a) **Réaction de neutralisation :** La chaux est une base forte. Lorsqu'elle est ajoutée à l'eau contenant des acides faibles ou des substances acides, elle réagit pour neutraliser ces acides. Par exemple, si des acides organiques ou des acides phosphoriques sont présents, la chaux va réagir avec eux pour former des sels, de l'eau et augmenter le pH de l'eau.
- b) **Formation de précipités :** Lorsque le pH augmente grâce à l'ajout de chaux, certains composés phosphatés présents dans l'eau peuvent précipiter sous forme de sels insolubles, tels que le phosphate de calcium. Ces précipités sont plus faciles à séparer de l'eau, ce qui contribue à la déphosphatation.
- c) **Amélioration des conditions de traitement :** Un pH plus élevé est souvent favorable aux processus de coagulation-floculation et de décantation utilisés dans le traitement des eaux usées. Cela aide à regrouper les particules en suspension et à faciliter leur séparation de l'eau.

En outre, les valeurs de pH à l'état final inclues dans la gamme de normes inférieure (6,5) et supérieure (8,5) représentées respectivement par les lignes verte et violette.

2.1.3. Turbidité

Les deux graphes suivants illustrent l'effet de l'ajout de chaux sur l'élimination de la turbidité dans des eaux brutes et épurées.

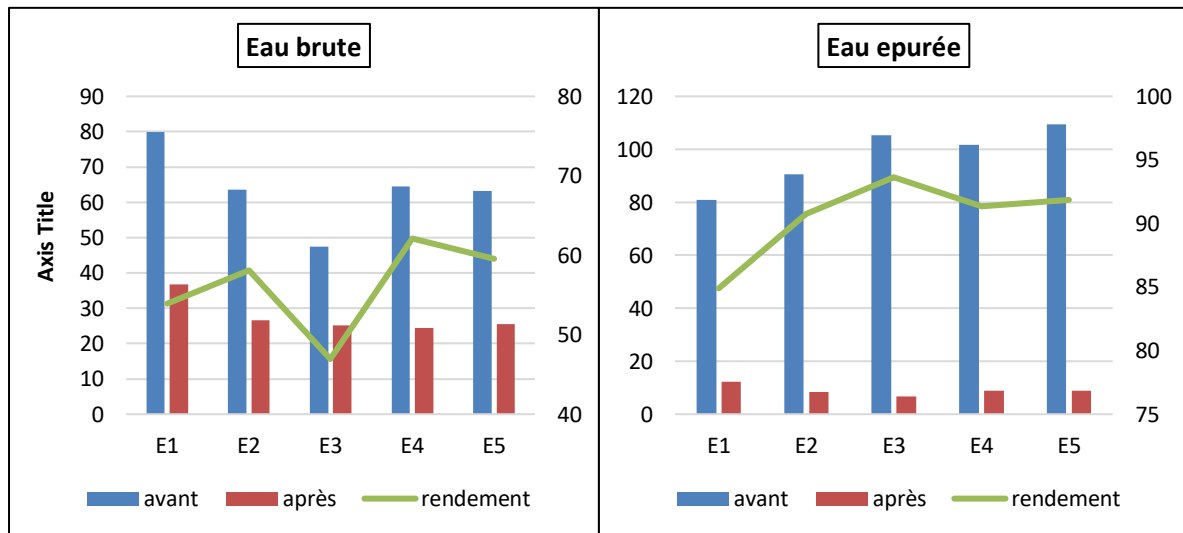


Figure 9 : Variations de la turbidité avant et après l'élimination de phosphore par la chaux.

Dans le premier graphe (l'eau brute) les valeurs de la turbidité à l'état initial varient de 47,50 et 79,90 unités. Après la déphosphatation par la chaux, la turbidité diminue et oscille entre 24,40 et 36,80 unités, dont le rendement d'élimination maximal de 62,11 % pour une quantité de 8 g de la chaux. Pour l'eau épurée (deuxième graphe), les barres bleues représentent les niveaux de turbidité avant l'ajout de chaux, variant généralement entre 80,80 et 109,50 unités. Après la déphosphatation par la chaux, les barres rouges indiquent une large diminution de la turbidité, elle oscillant entre 6,7 et 12,2 unités avec un taux d'élimination minimal de 84,90 % pour une quantité de 5 g de la chaux et un taux d'élimination maximal de 93,64 % pour une quantité de 7 g de la chaux.

En effet, La diminution de la turbidité après l'utilisation de la chaux pour la déphosphatation des eaux usées peut s'expliquer par plusieurs mécanismes physico-chimiques :

- a) **Coagulation :** La chaux agit comme un coagulant dans l'eau, favorisant la formation de floccs (agrégats) à partir des particules colloïdales. Ces floccs sont plus lourds et plus

gros que les particules individuelles, ce qui facilite leur décantation et leur élimination de l'eau.

- b) **Précipitation des phosphates** : Lorsque la chaux est ajoutée aux eaux usées, elle réagit avec les phosphates présents pour former des précipités insolubles de phosphate de calcium. Ces précipités contribuent à la réduction de la turbidité de l'eau.
- c) **Réduction de la charge colloïdale** : Les colloïdes présents dans l'eau contribuent à la turbidité en dispersant la lumière. La chaux peut neutraliser et agglomérer ces colloïdes, réduisant ainsi leur capacité à maintenir la turbidité de l'eau.
- d) **Sédimentation accrue** : Les floccs formés par la chaux sont plus susceptibles de se déposer au fond des bassins de traitement ou dans les systèmes de filtration, facilitant leur séparation de l'eau clarifiée réduisant ainsi la turbidité.

En résumé, l'ajout de chaux a significativement amélioré la qualité de l'eau en réduisant sa turbidité, un élément crucial pour le traitement efficace des eaux usées et la préservation de la santé des écosystèmes aquatiques.

2.2. Vitesse d'agitation rapide

2.2.1. Phosphore

Les variations de rendement d'élimination de phosphore en fonction de la vitesse d'agitation rapide sont présentées dans le graphe ci-dessous.

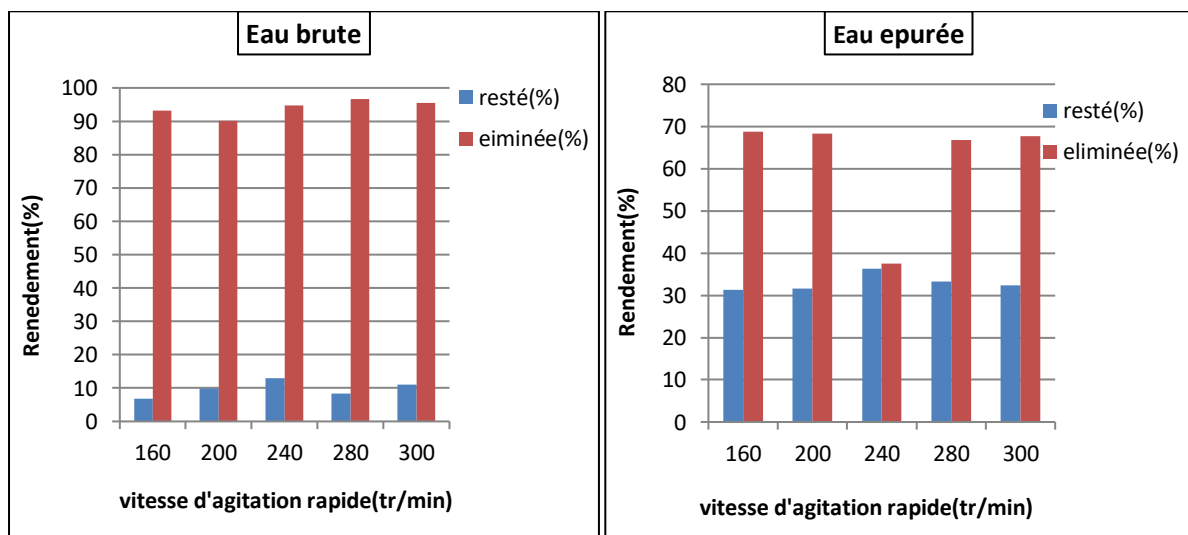


Figure 10 : Variations du rendement en fonction de la vitesse d'agitation rapide

Le rendement d'élimination des phosphates en fonction de la vitesse d'agitation varie dans des sens variables, la meilleure performance d'élimination des phosphates dans l'eau épurée est de

68,70 % obtenue à une vitesse d'agitation de 160 tr/min avec un taux résiduel de 31,29 %, dans l'eau brute est 96,61 % obtenue à une vitesse d'agitation de 280 tr/min avec un taux résiduel de 3,39%.

2.2.2. Turbidité

La turbidité est une mesure de la quantité de particules en suspension dans l'eau, influençant directement sa transparence. La figure ci-après représente les variations de la turbidité en fonction de la vitesse l'agitation.

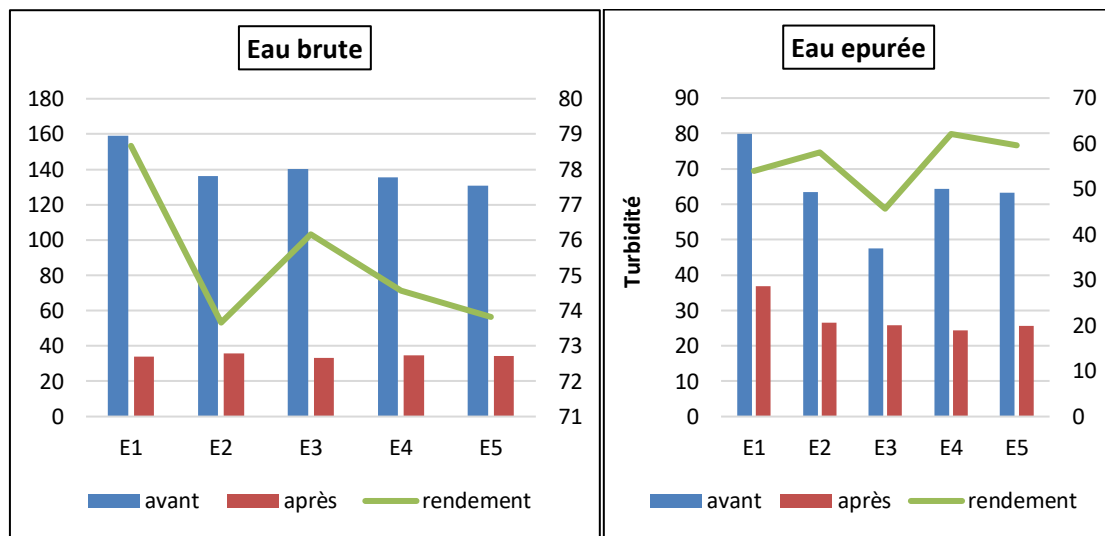


Figure 11 : Variations de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation rapide avant et après la déphosphatation

Initialement, la présence élevée de particules en suspension conduit à l'augmentation de la turbidité. Après la déphosphatation, nous avons observé une diminution considérablement de la turbidité. Le meilleur rendement d'élimination dans l'eau brute est 78,67 % obtenu à la vitesse de 160 tr/min, de même, Le meilleur rendement d'élimination est 62,11 % obtenu à la vitesse de 280 tr/min pour l'eau épurée.

2.3. Temps d'agitation rapide

2.3.1. Phosphore

La figure 12. Présente les résultats obtenus suite aux essais effectués du temps d'agitation tout en travaillant avec une vitesse d'agitation rapide fixée à 160 tr/min.

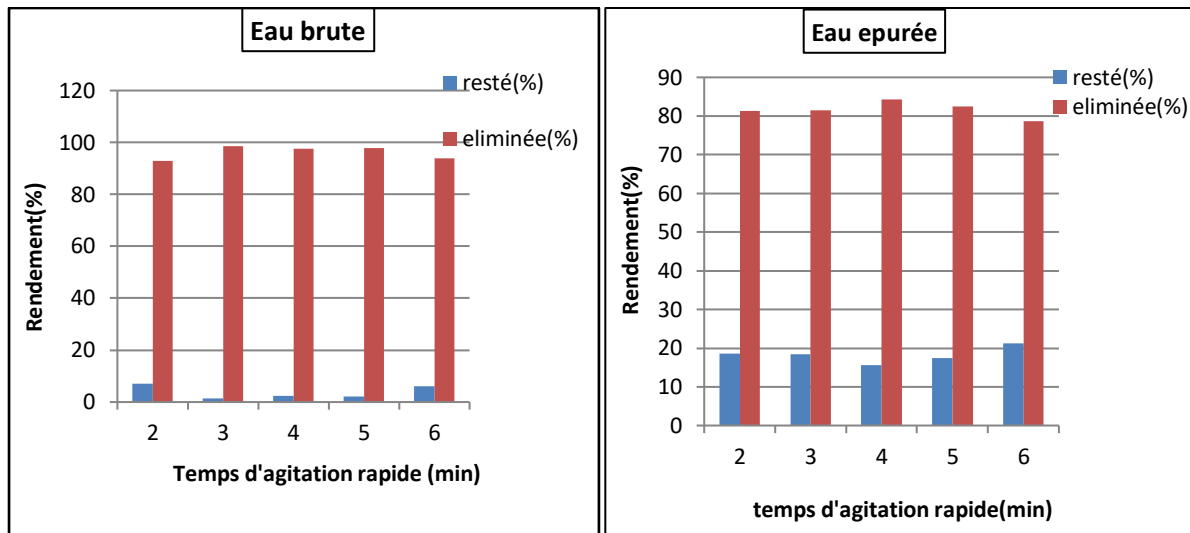


Figure 12 : Variation du rendement d'élimination de phosphore en fonction du temps d'agitation rapide.

La figure présente les résultats des essais effectués pour évaluer l'effet du temps d'agitation rapide à une vitesse fixe de 160 tr/min. Dans l'eau brute, les résultats indiquent que le taux d'élimination des ions phosphate pour toutes les durées testées est supérieur à 80%. En particulier, une durée de 3 minutes est identifiée comme étant optimale pour obtenir les meilleurs résultats.

Pour l'eau épurée, nous avons remarqué que le taux d'élimination des ions phosphate pour toutes les durées testées est supérieur à 78 %. Notamment, à une durée de 4 minutes, le taux d'élimination atteint le maximum à 84,35%, avec un taux résiduel de seulement 15,64%. Cette durée semble optimale pour favoriser une meilleure agglomération des particules fines et la formation de floccs entre la chaux (CaO) et les phosphates.

2.3.2. Turbidité

La figure ci-après représente les variations de la turbidité en fonction de temps de la vitesse l'agitation rapide.

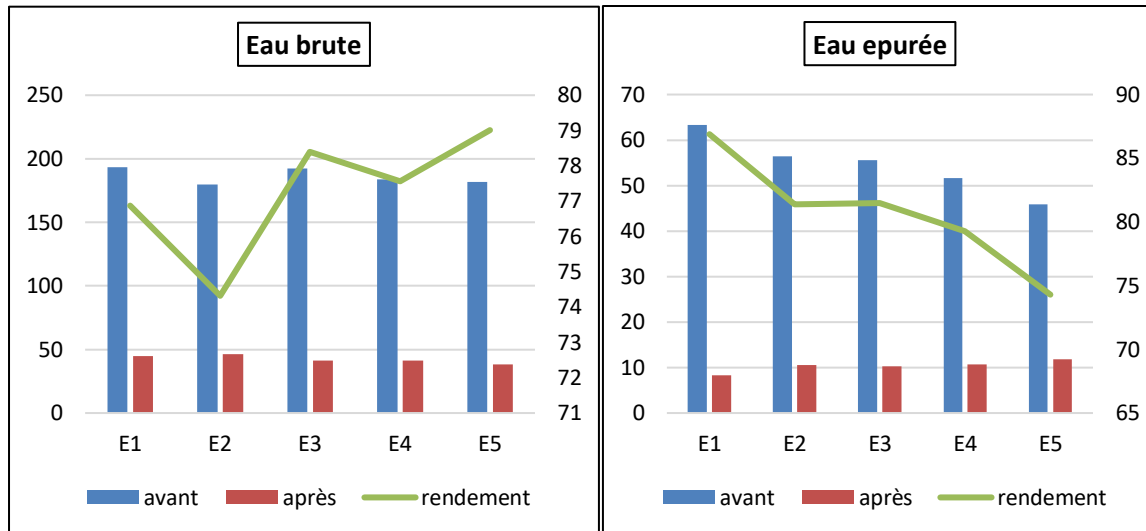


Figure 13 : Variations de la turbidité en fonction de temps d'agitation rapide

Selon les valeurs obtenues, la turbidité initialement est élevée, elle est due à la présence de particules en suspension dans les eaux usées. Cependant, après déphosphatation physico-chimique par la chaux, la turbidité diminuée. Le meilleur rendement est noté à 2 min où le taux d'élimination est de 86,98 % et le taux résiduel 8,2 % pour les eaux épurées. Par contre, un temps de 6 min est noté pour un meilleur rendement d'élimination de 79,01 pour les eaux brutes.

En effet, le temps d'agitation rapide dans l'eau brute est plus élevé par rapport à l'eau épurée, probablement due à la charge élevée dans l'eau brute. De fait, elle nécessite plus de temps d'agitation afin de mieux favorise la coagulation des particules, les regroupant en floccs plus gros qui sont plus faciles à éliminer par décantation.

2.4. Vitesse d'agitation lente

2.4.1. Phosphore

Les variations du rendement en fonction de la vitesse lente sont présentées dans la figure suivante.

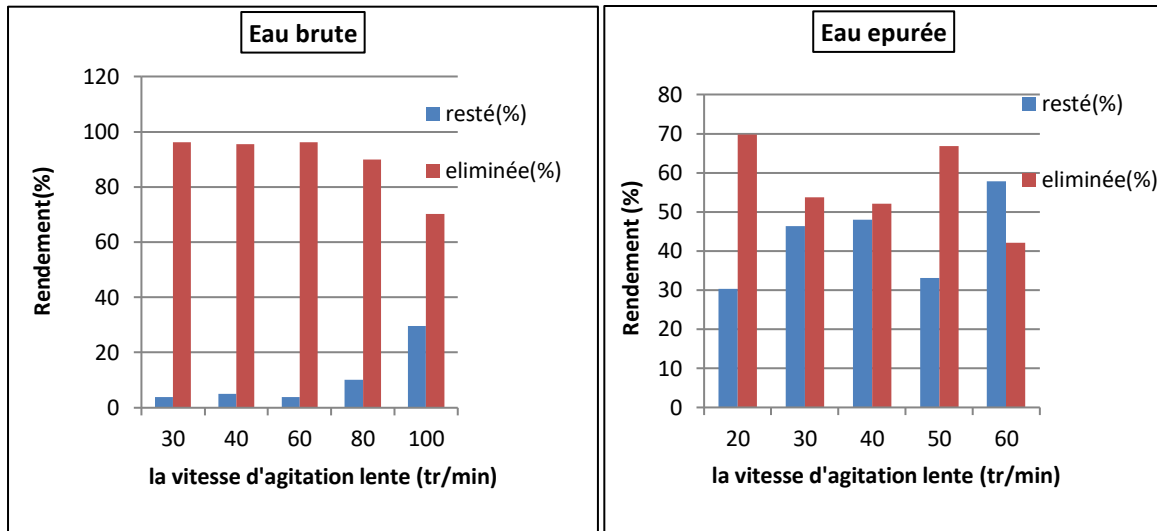


Figure 14 : Variation du rendement d'élimination de phosphore en fonction de la vitesse d'agitation lente.

Les données illustrées dans la figure indiquent que le meilleur rendement d'élimination dans l'eau brute, les résultats montrent que la vitesse d'agitation optimale pour le meilleur rendement d'élimination des phosphates est de 30 tr/min, avec un rendement de 96,21%.

En ce qui concerne l'eau épurée. Atteignant 69,75%, est obtenu à une vitesse d'agitation de 20 tr/min. Cette vitesse permet de maximiser l'efficacité du processus de déphosphatation dans des conditions contrôlées. Ces observations mettent en évidence l'importance critique de la vitesse d'agitation dans le processus de traitement des phosphates, où des ajustements précis peuvent optimiser les résultats en fonction des caractéristiques spécifiques de l'eau brute ou épurée.

2.4.2. Turbidité

Les deux graphiques montrent l'effet de l'ajout de chaux sur la turbidité dans l'eau épurée et eau brute.

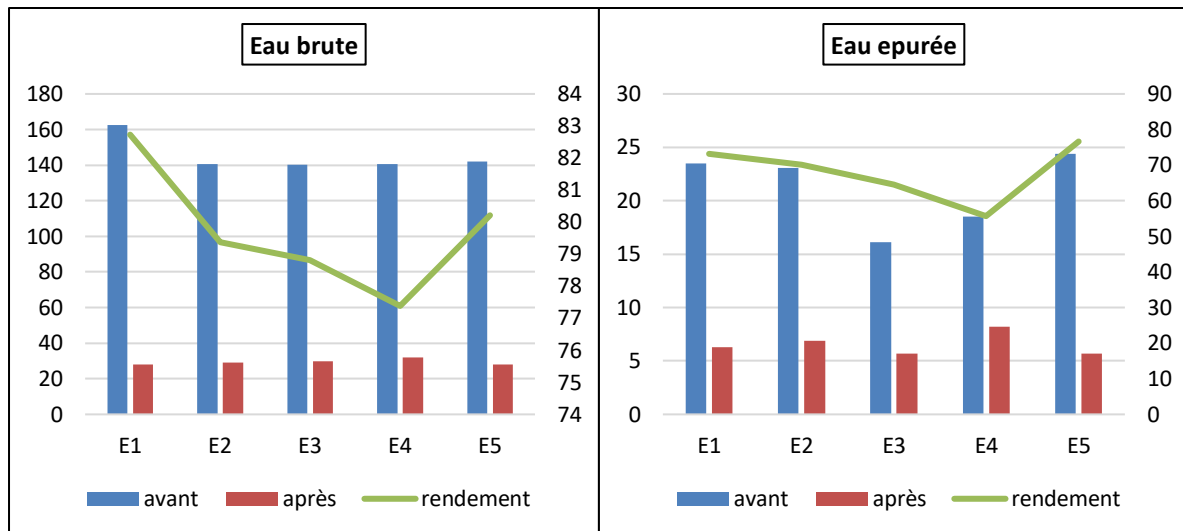


Figure 15 : Variations de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation lente

La turbidité initiale dans l'eau brute est élevée, ils varient de 140,6 et 162,7 NTU, indiquant une eau trouble. Après la déphosphatation, les niveaux de turbidité ont été chutés et elle varie entre 28,1 et 31,8 NTU, montrant une amélioration significative de la clarté de l'eau brute. Le rendement du processus a montré une efficacité accrue avec un taux d'élimination de 79,01 %, bien que variable selon les conditions spécifiques et la vitesse d'agitation lente utilisée.

Par contre, les niveaux de turbidité dans l'eau épurée varie de 16,1 à 24,4 NTU, après déphosphatation, elle diminué et varie entre 5,7 et 8,2 NTU. Le rendement d'élimination le plus élevé est 76,64 % observé à une vitesse de 60 tr/min.

2.5. Temps d'agitation lente

2.5.1. Phosphore

Le graphe ci-après figurer les variations du rendement d'élimination de phosphore en fonction du temps d'agitation lente.

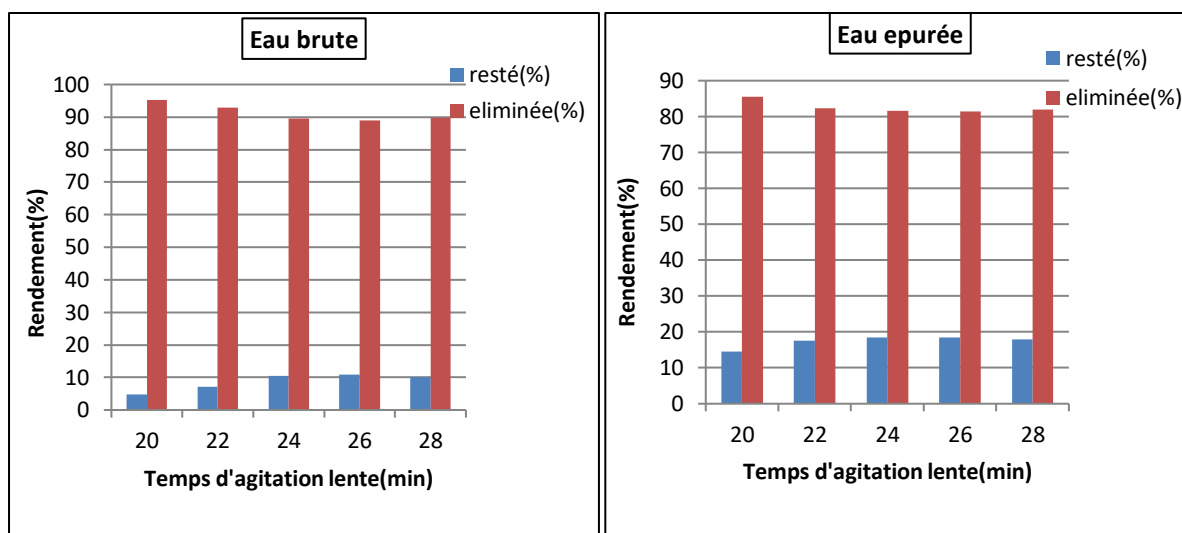


Figure 16 : Variation du rendement d'élimination de phosphore en fonction du temps d'agitation lente

Les résultats la figure montrent que le meilleur rendement est observé à 20 minutes d'agitation lente, avec un taux d'élimination des phosphates atteignant et 95, 17 pour l'eau brute et 85,52% pour l'eau épurée.

2.5.2. Turbidité

Le graphe ci-après illustre les variations de la turbidité en fonction de temps d'agitation lente.

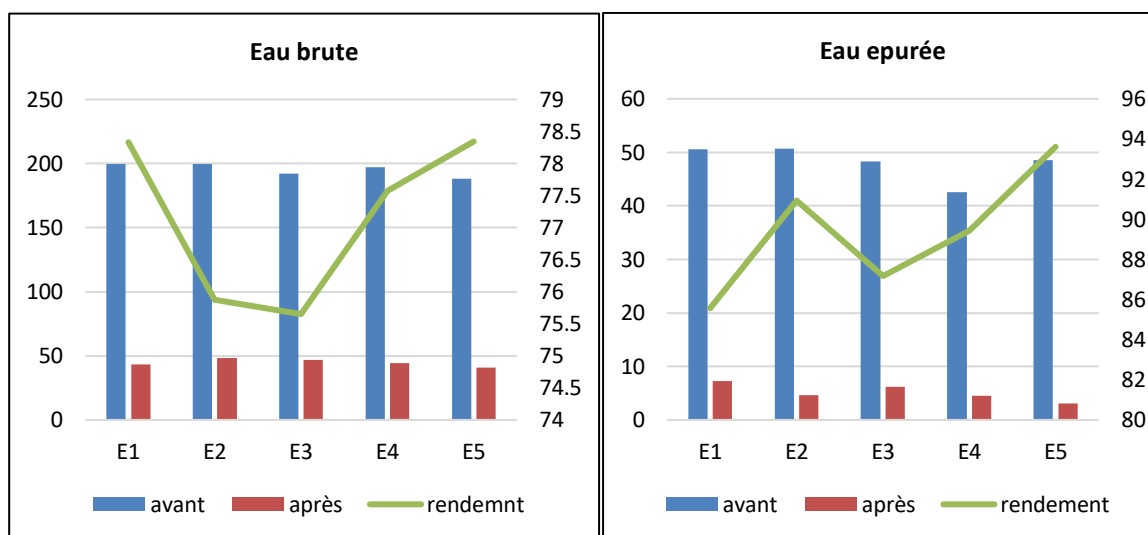


Figure 17 : Variations de la turbidité en fonction de temps d'agitation lente

Les valeurs de la turbidité initiale mesurées dans l'eau brute sont élevées, elles varient de 188,4 et 199,8 NTU, indiquant une eau trouble. Après la déphosphatation, les niveaux de

turbidité ont été diminués et elle varie entre 40,8 et 48,2 NTU, montrant une amélioration considérable de la clarté de l'eau brute avec un taux d'élimination de 78,34 %.

Par contre, les valeurs de la turbidité dans l'eau épurée varient de 42,6 à 50,7 NTU, après déphosphatation, elle diminué et varie entre 3,1 et 7,3 NTU. Le rendement d'élimination le plus élevé est 93,61 % observé à un temps de 28 min.

3. Paramètres physico-chimique

Le tableau ci-après illustre les variations des paramètres physico-chimiques des eaux brutes et traitées mesurés à la station d'épuration Est de la ville de Tizi Ouzou. Les valeurs obtenues en termes de concentration en phosphore, le pH, et DBO (Demande Biologique en Oxygène, température, matières en suspension, sont notablement supérieures à celles observées dans les eaux épurées, ce qui témoigne de l'efficacité du processus de traitement par boue à moyenne charge. Cette diminution substantielle indique que la station d'épuration parvient à réduire efficacement les niveaux de polluants et à améliorer la qualité des eaux traitées. En outre, les résultats confirment que les eaux épurées respectent les normes de rejet environnemental fixées par le Journal Officiel des Républiques Algériennes(2006).

Tableau 2 : Variations des paramètres physico-chimique mesurés dans la station d'épuration Est de la ville de Tizi Ouzou.

Paramètres	Valeurs		Norme de rejet
	Brutes	Epurées	
pH	7.20	6.94	6.5 – 8.5
°T	18.4	17.5	Moins de 30°C
MES	280	25	35 mg/l
DBO ₅	420	27	35 mg/l
P	1.5	0.03	2 mg/l

Les phosphates présents dans les rejets d'eaux usées domestiques et industriels sont responsables de sérieux problèmes environnementaux, tels que l'eutrophisation des milieux aquatiques et la prolifération excessive d'algues. L'eutrophisation entraîne une augmentation de la biomasse algale, qui peut conduire à la formation de blooms (floraisons algales) nuisibles pour l'équilibre écologique des écosystèmes aquatiques.

La déphosphatation des eaux chargées en phosphates est essentielle à la fois pour répondre aux normes réglementaires strictes et pour préserver la qualité environnementale des eaux de surface. En effet, les réglementations visent à limiter la quantité de phosphates rejetés dans les cours d'eau et les lacs afin de prévenir les effets néfastes sur la biodiversité aquatique et sur la santé humaine.

Dans ce contexte, notre travail vise à réduire la concentration en phosphates présents dans les eaux brutes (non traitées) et dans les eaux épurées (après traitement) en utilisant des techniques physico-chimiques adaptées. Ces méthodes incluent généralement des processus tels que la précipitation chimique, l'adsorption sur des supports spécifiques, ou encore des procédés de filtration avancée.

L'objectif final est de contribuer à la préservation des ressources en eau et à la santé des écosystèmes aquatiques en réduisant efficacement la charge de phosphates dans les eaux rejetées, tout en respectant les normes environnementales et en favorisant un développement durable.

Les résultats obtenus mettent en évidence la nécessité essentielle d'améliorer de manière significative les processus de traitement des eaux usées pour maximiser l'élimination des phosphates polluants. Cela est crucial pour préserver la qualité des milieux aquatiques et réduire l'eutrophisation. Nos résultats indiquent que la chaux est un coagulant efficace pour la déphosphatation dans le traitement des eaux usées. Les conditions optimales pour obtenir une élimination efficace sont les suivantes :

- La dose optimale de chaux est de 8 g/l pour les eaux brutes et épurées.
- La vitesse de coagulation recommandée est de 160 tr/min pendant 4 minutes pour l'eau épurée, et de 280 tr/min pendant 3 minutes pour l'eau brute.
- Pour la floculation, la vitesse recommandée est de 20 tr/min pendant 20 minutes pour les eaux épurées et de 30 tr/min pendant 20 minutes pour les eaux brutes.

De même, la chaux élimine la turbidité lors du traitement des eaux usées, il est crucial de déterminer précisément le dosage optimal en fonction de la composition et de la turbidité initiales des eaux. Un temps de contact suffisant entre la chaux et les particules en suspension est nécessaire pour permettre une floculation efficace et la formation de précipités. Assurer un bon mélange et une agitation adéquate favorise la dispersion uniforme de la chaux et améliore le processus de précipitation. Le contrôle rigoureux du pH est essentiel pour optimiser la capacité de la chaux à précipiter les particules et à éliminer les composés dissous. Enfin, surveiller les conditions environnementales comme la température et la qualité de l'eau est crucial pour maintenir une réaction chimique optimale et une efficacité globale du traitement améliorée.

Perspective

Afin de réduire les concentrations de phosphore dans les eaux usées traitées rejetées par la station EST de Tizi Ouzou et de résoudre les problèmes de préservation des milieux récepteurs, de diminution de la pollution des eaux de surface et de protection de l'environnement, nous avons opté pour les actions suivantes :

1. **Exploration de nouveaux coagulants et réactifs de précipitation** : poursuivre cette étude en évaluant l'utilisation d'autres coagulants et réactifs de précipitation. Cette approche vise à améliorer les processus de déphosphatation des eaux usées, permettant ainsi une réduction plus efficace des niveaux de phosphore avant le rejet dans les milieux naturels.
2. **Traitement par différents procédés d'épuration** : Nous reconnaissons l'importance cruciale d'un traitement adéquat pour lutter contre l'eutrophisation des milieux aquatiques. À cet effet, nous préconisons l'application de divers procédés d'épuration, notamment physico-chimiques et biologiques. Ces méthodes combinées permettent non seulement de traiter les eaux usées chargées en phosphore, mais également de garantir une meilleure réduction de cette charge polluante dans les milieux naturels.

1. Adour., Laribi-habachi H., ArbiaKhatraoui W.(2018). Traitement des eaux usées 63p.
2. Akinnawo, S.O., Ayadi, P.O., Oluwalope, M.T. (2023). Chemical coagulation and biological techniques for wastewater treatment. *OvidiusUniversityAnnals of Chemistry* 34 (1) ,14–21. Doi :10.2478/auoc-2023-0003.
3. Aleshinloye, A. O., Ngangsso, K., Adaramola, F. B., & Onigbinde, A. (2020). Treatment of Poultry Wastewater Using Shells from African Cherry Seeds, Egg and Crab. *Asian Journal of Applied Chemistry Research*, 7(1), 16-30.
4. Al-Qawati, M, Idrissi, Y.A., Alemad, A., Belhaili, I., Marc, I., Baichouti, F., & Belghyti, D. (2015). Analyse et Contrôle de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la région SIDI ALLAL TAZI-Gharb-MAROC [physico-chemical analysis and quality control of groundwater from the region SIDI Allal Tazi-Gharb-MOROCCO] .*International journal of innovation and Applied studies*,13(2),420.
5. Aoudj, A. (2012). Déphosphatation d'une eau usée par le chitosane, mémoire d'ingénieur, École Nationale Polytechnique d'Alger. 72p
6. Baumont, S., Camard, J.P., Lefranc, A., & Franconi, A. (2014). Réutilisation des eaux usées, risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. *Rapport ORS*, 220 p.
7. Baumont, S., Camard, J.P., Lefranc, A., Franconi, A. (2014). Observation régional de santé (Ile-de-France), & Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Ile-de-France (1976-2019). Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Ile-de-Franc. *ORS Ile-de-France*.
8. Belaid, N., (2010). « Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax : salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques ». Thèse de Doctorat d'Université de Sfax, 188 pages.
9. Boualem. R, (2009). Contribution à l'étude de la qualité des eaux des Barrages, Article de recherche. Mémoire de master. Centre universitaire de Khémis-Miliana. 100p
10. Boumalek, W. (2020). Etudes des possibilités de valorisation agricole des sous-produits d'épuration et l'amélioration de la gestion des processus épuratoires d'une station d'épuration. (Thèse de Doctorat. Ecole National polytechnique) 189 p.
11. Bounoua, C. Meziti K, Sahli R, (2017). Analyses physico-chimique des eaux usées au niveau de la station d'épuration de la wilaya de Bordj Bou Arreridj. Mémoire master Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A p39.
12. Bouziani, M. (2000). L'eau de la pénurie aux maladies. Ed. Ibn Khaldoun, p 130.

13. CABANES F. (2006). Déphosphatation des effluents : précipitation et valorisation du phosphore. Science Génie des matériaux : Toulouse.
14. Cieslik. B., Konieczka. P. (2017). A review of phosphorus recovery methods at various steps of wastewater treatment and sewage sludge management. The concept of “no solid waste generation” and analytical methods. *J Clean Prod* 142 :1728–1740.
15. Cornel. P., Schaum. C. (2009). Phosphorus recovery from wastewater: needs, technologies and costs. *Water SciTechnol* 59:1069–1076.
16. Dahmani S, Ait Si Amer H. (2017). Dynamique du phosphore dans une station d'épuration classique, cas de la STEP Est de la ville de Tizi Ouzou. Mémoire master, Université Mouloud Mammeri. Tizi Ouzou p 60.
17. Deronzier, G., &Choubert J. (2004). Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration en boues activées (Document technique FNDAE N° 29 ,1^{re} éd.). Ministère de l'Agriculture et de la pêche, Cemagref Edition. ISBN 2-11-092856-5, ISBN 2-85362-630-X.
18. Desmidt E, Ghyselbrecht K, Zhang Y et al. (2015). Global phosphorus scarcity and full-scale P-recovery techniques: a review. *CritRev Environ SciTechnol* 45 :336–384.
19. Durrant, A.E., Scrimshaw, M.D., Stratful, I., Lester, J.N., (1999). Review of the feasibility of recovering phosphate from wastewater for use as a raw material by the
20. Egle L, Rechberger H, Krampe J et al. (2016) .Phosphorus recovery from municipal wastewater: an integrated comparative technological, environmental and economic assessment of P recovery technologies. *Sci Total Environ* 571:522–542.
21. El Hachemi, O., El Halouani, H., Meziane, M., Torrens, A., Salgot, M., &Sbaa, M. (2012). Etude des performances épuratrices dans une station de traitement des eaux usées par lagunage en climat désertique (Oasis de Figuig-Maroc): Aspect bactérien et organique. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn*, 6(1), 84-97.
22. Google earth. (2024) <https://earth.google.com/web/@36.71773049,4.08298485,68.98204774a,706.4644464d,35>
23. Gromaire, M.C., (2001). « La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau d'assainissement unitaire, Caractéristiques et origines ». Thèse de Doctorat, Ecole des Ponts ParisTech, France, 506 pages.
24. Grosclaude G, (1999) : L'eau Usage et polluants. Edition INRA, 210p
25. Habi, T et Hamdoune, L (2018). Déphosphatation des eaux chargées en phosphate. Mémoire de Master, université UMMTO.

26. Hasan, M. K., Shahriar, A., & Jim, K. U. (2019). Water pollution in Bangladesh and its impact on public health. *Heliyon*, 5(8), e02145.
27. Idrissi, Y. A., Alemad, A., Aboubaker, S., Daifi, H., Elkharrim, K., & Belghyti, D. (2015). Caractérisation physico-chimique des eaux usées de la ville d'Azilal-Maroc-/[Physico-chemical characterization of wastewater from Azilal city-Morocco-]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 11(3), 556.
28. Idrissi, Y. A., Alemad, A., Aboubaker, S., Daifi, H., Elkharrim, K., & Belghyti, D. (2015). Caractérisation physico-chimique des eaux usées de la ville d'Azilal-Maroc-/[Physico-chemical characterization of wastewater from Azilal city-Morocco-]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 11(3), 556.
29. JORA. (2006). Journal Officiel de la République Algérienne .phosphate industry. *Environ. Technol.* 20, 749–758.
30. Joshiba, G. J., Kumar, P. S., Femina, C. C., Jayashree, E., Racchana, R., & Sivanesan, S. (2019). Critical review on biological treatment strategies of dairy wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 160, 94-109.
31. Karef, S. (2017). Etude des possibilités technico-économiques de la réutilisation des boues et des eaux usées urbaines traitées. (Thèse de Doctorat, Ecole Nationale polytechnique d'Alger).
32. Kaushik Venkiteshwaran, Patrick J. McNamara, Brooke K. Mayer. (2018). Review Meta-analysis of non-reactive phosphorus in water, wastewater, and sludge, and strategies to convert it for enhanced phosphorus removal and recovery Department of Civil, Construction and Environmental Engineering, Marquette University, 1637 West Wisconsin Avenue, Milwaukee, WI 53233, USA.
33. Li, Y. Nan, X. Li, D. Wang, L. Xu, R. Li, Q. (2021). Advances in the treatment of phosphorus-containing wastewater. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 647, 012163.
34. Ma, H.; Xue, Y.; Zhang, Y.; Kobayashi, T.; Kubota, K.; Li, Y. Y. (2020). Simultaneous nitrogen removal and phosphorus recovery using an anammox expanded reactor operated at 25 °C. *Water Res.*, 172, 115510.
35. Malik, SN, Ghosh, PC, Vaidya, AN et Mudliar, SN. (2020). Procédé d'ozonation hybride pour le traitement des eaux usées industrielles : principes et applications : un bilan. *Journal of Water Process Engineering*, 35, 101193.
36. Mara, D (2003). Domestic wastewater treatment in developing countries. Routledge.

37. Metahri, M.S. (2012). Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitée par des procédés mixtes cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. (Thèse de Doctorat. Université Mouloud Mammeri).
38. OboteyEzugbe, E., & Rathilal, S. (2020). Membrane technologies in wastewater treatment: a review. *Membranes*, 10(5), 89.
39. Pascal Molle, N. Harouiya, S. Prost Boucle, C. Morlay, D. Esser, S. Martin, S. Besnault. (2012). Déphosphatation des eaux usées par filtres plantés garnis de phosphorites. *Recommandations pour le développement de la filière. irstea*. 2012, pp.48.
40. PrachiVasistha, Rajiv Ganguly. (2020). Water quality assessment of natural lakes and its importance: An overview. Department of Civil Engineering, Jaypee University of Information Technology, Waknaghat, District Solan, Himachal Pradesh, 173234, India.
41. Rodier, J., Lègue, B., Merlet, N., & Brunet, R. (2009). *L'analyse de l'eau* (9ème edn, p. 1526). *Dunod*.
42. Uneja, T., & Chaudhary, A. (2013). Assessment of water quality and its effects on the health of residents of Jhunjhunu district, Rajasthan: A cross sectional study. *Journal of public health and epidemiology*, 5(4), 186-191.
43. Vidal, B.; Hedström, A.; Herrmann, I. (2018). Phosphorus reduction in filters for on-site wastewater treatment. *J. Water Process Eng.*, 22, 210–217.
44. Zeyneb Kılıç. (2021). *Water Pollution: Causes, Negative Effects and Prevention Methods* Adıyaman University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Adıyaman, Türkiye Istanbul SabahattinZaim University Journal of the Institute of Science and Technology (2021) 3 (1): 129-132.

Annexe 01

Analyse des eaux

- **Le pH :**
 - 1-Allumer le pH mètre.
 - 2-Verser une quantité suffisante (eau brute dans un bécher/épurée).
 - 3-Faire la lecture après stabilisation de la valeur.
- **MES :**
 - 1-Prélever 25ml de l'échantillon (entrée /sortie).
 - 2-Allumer le colorimètre.
 - 3-Etalonner le colorimètre avec 25ml d'eau distillée.
 - 4-Placer l'échantillon et faire la lecture sur l'écran.
- **Nitrate (NO_3^-) :**
 - 1-Prendre deux tubes et verser 10ml de l'eau épurée, pour le premier tube.
 - 2-Verser 10ml de l'eau épurée dans le deuxième tube et ajouter un réactif (pastille Nitra ver 5).
 - 3-Agiter pendant une minute et laisser réagir (tube N°2) pendant 5 minute (le temps de réaction).
 - 4-Utilise le colorimètre à numéro de programme « 355N Nitrate HRPP ».
 - 5-Mettre le premier tube (eau épurée) dans le spectrophotomètre et taper sur zéro et l'enlever (blanc).
 - 6-Mettre le deuxième tube (eau épurée + réactif) dans le colorimètre puis taper « Read » et lire la valeur.
- **Nitrite (NO_2^-) :**
 - 1-Prendre deux tubes.
 - 2-Verser 10ml de l'eau épurée dans le premier tube.
 - 3-Verser 10ml de l'eau brute dans le deuxième tube.
 - 4-Ajouter un réactif (Nitr ver 3) dans chaque tube.
 - 5-Laisser réagir pendant 15 minutes.
 - 6-Mettre un tube contenant de l'eau épurée dans le colorimètre programmé à 371 N Nitrite LRPP comme un témoin en clique sur 0.
 - 7-Mettre le première tube (eau épurée +réactif) dans le spectrophotomètre puis cliquer mesurer et lire la valeur.

8-Mettre un tube de l'eau brute dans le spectrophotomètre programmé à 371N Nitrite LRPP comme un témoin, en clique sur 0.

- **NH₄⁺ :**

1-Réaliser les dilutions suivantes :

1/100 pour l'eau d'entrée.

1/50 pour l'eau de sortie.

2-Prélever 10ml de chacune des deux échantillons mettre chacune dans un tube.

3-Ajouter à chaque tube un sachet de réactif Salicylate ammoniacal.

4-Agiter et laisser réagir 3minute.

5-Ajouter un sachet de Cyanurate ammoniacale dans chaque tube.

6-Agiter et laisser réagir 15 minutes, une coloration verte apparait dans les tubes.

7-Entrer numéro de programme.

8-Entrer le blanc, ajuster 0.

9-Entrer l'échantillon, effectuer la lecture.

- **DBO₅ :**

1-Remplir une bouteille la première avec 432ml d'eau épurée et la deuxième avec 164 ml d'eau brute.

2-Mettre les barreaux magnétiques.

3-Ajouter quelque pastille de KOH.

4-Mettre un oxytope sur chacune.

5-Mettre les bouteilles dans un DBO mètre pendant 5 jours.

6-Lire les valeurs de la DBO sur l'oxytope après 5 jours.

- **PO₄³⁻ : les ortho phosphate**

1-Réaliser une dilution 1/10 (brute et épurée).

2-Ajouter dans chacun le réactif « PHOS VER 3 ».

3-Agiter et laisser pendant 2 minutes.

4-Pour la lecture faut entrer numéro de programme 79.

5-Entrer le blanc, ajuster 0.

6-Enter l'échantillon et lire la valeur.

Annexe 02

-Préparation des solutions1. Solution de NaHCO_3

42g de bicarbonate de sodium dans 1L d'eau distillée à 0.5M et ajuster le pH à 8.5 avec la soude (NaOH) 1N.

2. Réactif chloromolibdique

25g de molybdate d'ammonium +200ml d'eau distillée chaude +275ml d'HCL dans 475ml d'eau distillée.

-Laisser refroidir puis ajuster à 1000ml avec l'eau distillée.

3. Acide ascorbique

1g d'acide ascorbique dans 100ml d'eau distillée.

4. La solution étalon d'orthophosphates.

Introduire 0.439g de phosphate monopotassique (KH_2PO_4) dans une fiole de 1000ml, on obtient une solution à 100mg de P/l.

Dans une fiole de 200ml, introduire 10ml de cette solution et compléter au volume à l'eau distillée pour obtenir une solution à 5mg P/l.

-Préparation de la gamme étalon

N° de la fiole	0	1	2	3	4	5	6
Volume de KH_2PO_4	0	0.5	1	2	4	6	8
Solution de NaHCO_3	5	5	5	5	5	5	5
Réactif chloromolibdique	5	5	5	5	5	5	5
Acide ascorbique	1	1	1	1	1	1	1
L'eau distillée	14	13.5	13	12	10	8	6
[] finale en mg de P/l	0	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.4

-Pour les échantillons

Dans une fiole jaugée de 25 ml on met

- ✓ 5ml de l'eau usée
- ✓ 5ml de réactifs chloromolibdique
- Laisser dégager le CO_2
 - ✓ 1ml de solution d'acide ascorbique
- Compléter le volume par l'eau distillée
- Les mettre 10 min au bain marie à 80 °C
- Passer à la colorimétrie à 660nm.