



Département des sciences de la terre

FSTG Marrakech

Université Cady Ayyad



**Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme sciences
et techniques option : eau et environnement (LST EE)**

Intitulé :

*Le phénol et son impact sur les bassins
biologiques au cours du traitement secondaire
dans la STEP de Marrakech (Maroc)*

Réalisé par :

- **TALEB Hasna**
- **ELATTAR Latifa**

Encadrées par :

- **CHAFIKI Driss** (FSTG, Marrakech)
- **BENAZOUZ Karima** (STEP, Marrakech)

Soutenu le 19 juin 2018 devant le jury composé de :

- **CHAFIKI D.** Professeur à la FSTG de Marrakech
- **AIT ADDI A.** Professeur à la FSTG de Marrakech

Année universitaire: 2017-2018

Remerciement :

A l'issue de ce travail, nous adressons nos vifs remerciements aux personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

-A monsieur **BENCHIKHI Rachid**, directeur général de la RADEEMA pour nous avoir offert cette opportunité de stage.

-A monsieur **KHIMANI Mohamed**, chef du Département QSE de la RADEEMA, d'avoir accepté de nous accueillir au sein de son département QSE.

- A monsieur **CHAFIKI Driss**, Professeur à la FSTG, pour son aide précieuse et son soutien permanent tout au long de la période de notre stage. Nous le remercions par ailleurs pour ses conseils, ses encouragements et pour sa disponibilité.

- A madame **BENAZOUZ Karima**, Responsable du laboratoire de contrôle des eaux usées de la ville de Marrakech(RADEEMA), qui nous a fait confiance en nous proposant cette thématique intéressante. Nous lui sommes très grés pour l'attention particulière qu'elle a porté à notre travail et pour les conseils qu'elle nous a prodigués.

-Nos sincères remerciements sont adressés à Madame **BOURGEOINI Yamina**, Responsable de la filière LST EE (FSTG, université Cady Ayyad).

En fin, un grand Merci à monsieur **ERRAYSSOUNI Karim**, technicien du laboratoire, pour son aide et sa contribution au bon déroulement des expérimentations.

Dédicasse :

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut. Tous les mots ne sauraient exprimer nos gratitude, notre amour, notre respect, et notre reconnaissance aussi, c'est tout simplement qu'on dédie ce projet de fin d'étude a nos chers parents, frères et sœurs.

Autant de phrases aussi expressives ne sont pas suffisantes pour montrer le degré d'amour et d'affection qu'on approuve pour vous .Vous nous avons comblé de votre tendresse et d'affection tout au long de notre parcours, vous n'avez jamais cessé de nous soutenir et nous encourager durant toutes les années de nos études.

On adresse notre dédicace,

A nos meilleurs amis TAJAA Meryem, SEGRANI Safaa, NOUMOUS Zahra.

A nos camarades rabiaa, Siham,

A tous ceux qui, par un mot, nous a donné la force de continuer...

Puisse le tout puissant vous donne santé, bonheur et longue vie afin que nous pouvons vous combler à nos tour.

Table de matière :

Remerciement :.....	
Dédicasse :.....	
Table de matière :.....	
Liste des photos :.....	
Liste des figures :	
Liste des tableaux :.....	
Liste des abréviations :.....	
Introduction générale :	1
Chapitre1 : cadre générale et organisme d'accueil	2
I. RADEEMA :.....	3
1. Historique :.....	3
2. Organigramme de la RADEEMA :.....	4
3. Les objectifs de la RADEEMA :.....	4
4. Les activités de la RADEEMA :.....	5
II. Département de qualité, sécurité et environnement :.....	5
III. Présentation et situation de la station d'épuration des eaux usées :.....	6
1. Localisation géographique :.....	6
2. Objectifs de la STEP :.....	6
Chapitre 2 : les phases de traitement et d'épuration des eaux usées dans la STEP de Marrakech	7
I. Filière eau :	9
1. Prétraitement :.....	9
2. Traitement primaire :	10
3. Traitement secondaire :.....	11
4. Traitement tertiaire :.....	12
4.1 .coagulation-floculation :	13
4.2. Filtre à sable :.....	13
4.3. Désinfection à l'ultra-violet :	13
4.5. Chloration :	13
II. Filière boue :	14
III. Filière biogaz:.....	15
IV. Filière désodorisation :.....	17
Chapitre 3 : épuration des eaux usées par les boues activées	18
1. Principe :	19
2. Les avantages de la technique de boues activées :.....	19
3. Les inconvénients des boues activées :.....	19

4.	: Les principales réactions mises en œuvre dans le procédé des boues activées : ..	19
4.1	: ammonification :	19
4.2	: nitrification :	20
4.2.1	: La nitrification :	20
4.2.2	: Nitrification :	20
4.3	: Dénitrification :	20
4.4	: Déphosphatation :	21
Chapitre4 : l'impact du phénol sur les bassins d'aération au niveau du traitement secondaire		22
Introduction :		23
I.	Généralités sur le phénol :	24
1.	Identification :	24
2.	Sources :	24
3.	Toxicité :	24
4.	Biodégradabilité :	24
II.	Méthodologie, résultats et interprétations:	25
1.	Analyses :	25
1.1	: paramètres analysés :	26
1.1.1	: Le phénol :	26
1.1.2	: l'ammonium :	27
1.1.3	: Nitrate :	27
1.1.4	: nitrite :	27
1.1.5	: l'azote totale(NGL):	27
1.1.6	: l'azote de kjeldahl(NTK) :	28
2.	Résultats et interprétation :	29
2.1	: comparaison entre bassin témoin et bassin avec phénol :	29
2.2	: Suivi de l'évolution des paramètres analysés pour différentes concentrations de phénol :	33
III.	Solutions pour l'extraction des phénols des eaux usées :	39
Conclusion générale:		40
Bibliographie:		

Liste des photos :

Photo 1: Pré-grille à l'entrée de la STEP	Photo 2: dégrillage grossier.....	9
Photo 3: dégrillage fin		9
Photo 4: photo montrant le dispositif dessableur-déshuileur		10
Photo 5: photo montrant un exemple de bassin biologique dans la STEP étudiée.		12
Photo 6: photo illustrant un exemple de clarificateur dans la STEP étudiée.		12
Photo 7: photo illustrant un exemple de filtre à sable dans la STEP étudiée.		13
Photo 8: photo illustrant un exemple de flotateur		14
Photo 9: photo illustrant un exemple de digesteur		15
Photo 10: photo montrant un exemple de dissulfureuse de la STEP de Marrakech.....		15
Photo 11: photo montrant un exemple de gazomètre de la STEP de Marrakech.		16
Photo 12: photo montrant un exemple de cogénération de la STEP de Marrakech étudiée....		16
Photo 13: exemple de torchères qui servent pour la combustion du gaz au niveau		17
Photo 14: bassin témoin et bassin avec phénol	photo 15: photo d'un pH-mètre.....	25
Photo 16: préleveur automatique dans la STEP		26
Photo 17: exemple des kites utilisés		26
Photo 18: a) spectrophotomètre b) filtration à pompe c)minéralisation		28

Liste des figures :

Figure 1: organigramme de la RADEEMA.....	4
Figure 2: organigramme du département QSE.....	5
Figure 3: les objectifs de la STEP	6
Figure 4: schéma générale du fonctionnement de la STEP	8
Figure 5: cycle de l'azote dans les bassins biologiques	21
Figure 6 : diagramme montrant la biodégradabilité du phénol en fonction du temps pour deux concentrations de phénol	30
Figure 7: diagramme présentant l'évolution de la concentration de l'ammonium en fonction du temps	31
Figure 8: diagramme illustrant l'évolution du nitrate dans les deux bassins en fonction du temps	31
Figure 9: diagramme illustrant l'évolution du nitrite pour les deux bassins en fonction du temps	32
Figure 10: diagramme montrant l'évolution de NTK pour les deux bassins en fonction du temps	32
Figure 11: variation de l'ammonium au cours du temps en fonction des différentes concentrations de phénol	34
Figure 12: figure illustrant l'évolution du nitrate en fonction de temps pour différentes concentrations de phénol	35
Figure 13: diagramme de l'évolution de nitrite en fonction de temps pour différentes concentrations de phénol	36
Figure 14: Evolution du NTK au cours du temps pour différentes concentrations de phénol .	37

Liste des tableaux :

Tableau 1: caractéristiques des dégrilleurs	10
Tableau 2: caractéristiques du décanteur	11
Tableau 3: caractéristiques des bassins biologiques	11
Tableau 4: les normes de rejet des eaux selon la loi n°10-95	2
Tableau 5: Rapport mensuel des analyses de traitement secondaire durant le mois mars	3
Tableau 6: Fluctuations de phénols pour deux concentrations initiales différentes.....	4
Tableau 7: Evolution de l'ammonium dans le bassin témoin et le bassin avec 7,6 mg/L du phénol.....	4
Tableau 8: Evolution du nitrate dans les deux bassins.....	4
Tableau 9: Evolution de nitrite dans les deux bassins.....	5
Tableau 10: Evolution de NTK dans les deux bassins.....	5
Tableau 11: résultats de suivi de l'ammonium pour différentes concentrations de phénol.....	6
Tableau 12: variation de nitrate pour différentes concentrations de phénol.....	6
Tableau 13: variation du nitrite en fonction des concentrations du phénols.....	7
Tableau 14: variation de NTK pour différentes concentrations de phénol	7

Liste des abréviations :

RADEEMA	: Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech.
STEP	: Station d'Épuration.
MES	: Matière En Suspension.
DBO₅	: Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours.
NH₄⁺	: Ammonium.
No₃⁻	: Nitrate.
NO₂⁻	: Nitrite
NTK	: Azote kjeldhal.
NGL	: Azote Totale.
[ph]	: Concentration du Phénol.
[NH₄⁺]	: Concentration de l'Ammonium.
[NO₃⁻]	: Concentration de Nitrate.
[NO₂⁻]	: Concentration de Nitrite.
[NTK]	: Concentration de l'Azote non oxydé.
UV	: Ultra-Violet.
H₂O₂	: Peroxyde d'Hydrogène
Nm³	: Normaux mètre cube.
Pt	: Phosphore totale.
DCO	: Demande Chimique en Oxygène.

Introduction générale :

Plusieurs pays, y compris le Maroc et plus précisément la ville de Marrakech sont soumis depuis quelques années à une sévère croissance démographique et touristique qui a une conséquence néfaste sur l'environnement et les ressources en eau (stress hydrique) ainsi que sur l'activité économique.

Dans ce contexte, la RADEEMA adopte la réutilisation des eaux usées pour répondre à la demande en eau et faire face à la rareté des ressources hydriques tout en fournissant des quantités importantes d'eau de bonne qualité et produisant l'énergie qui va couvrir les besoins de la station elle-même.

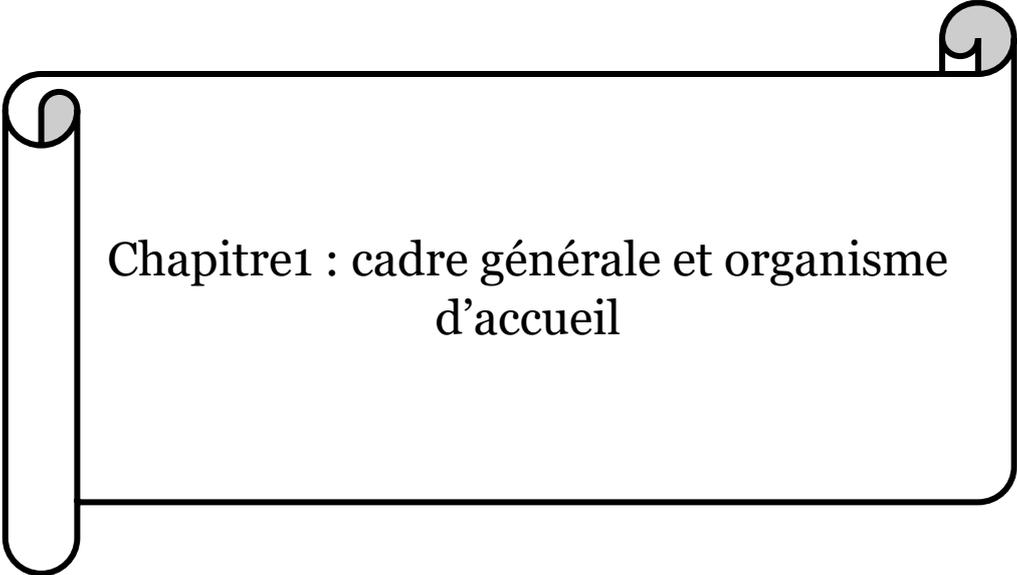
Par ailleurs la réutilisation des eaux usées n'est possible que si ses dernières sont traitées selon certaines normes de qualité.

La première partie de notre rapport est réservée à une présentation globale de la RADEEMA comme organisme d'accueil. Il est responsable de la gestion de l'eau et de l'assainissement de la ville de Marrakech, et celle de département QSE. Ainsi, la station d'épuration de Marrakech.

La deuxième partie portera sur les phases de traitement et d'épuration des eaux usées dans la STEP.

La troisième partie concerne l'épuration des eaux usées par le procédé de boues activées.

La quatrième et dernière partie traitera la problématique de l'impact du phénol sur les bassins aérés dans la station d'épuration, en se basant sur un travail de laboratoire .celui-ci nous conduira enfin à proposer des solutions pour lutter contre ces concentrations élevés contenues dans les eaux jetées dans les milieux naturel.



Chapitre1 : cadre générale et organisme
d'accueil

I. RADEEMA :

1. *Historique* :

Le 27 juin 1922 : La création de la Société d'Electricité de Marrakech (SEM) qui avait pour tâche d'assurer la distribution d'électricité au sein de la ville de Marrakech. L'eau potable était distribuée par la Municipalité.

Le 17 juillet 1964 : la ville de Marrakech a signé un protocole pour le rachat de la concession, laquelle fut confiée à la Société Marocaine de Distribution (SMD).

Le 26 Décembre 1970 : suite aux délibérations du conseil communal de la ville de Marrakech, il a été décidé de créer à partir du premier janvier 1971, la Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Marrakech, dénommée RADEEMA et ce en vertu du Décret n° 2-64-394 du 29 Septembre 1964 relatif aux Régies communales.

Le premier janvier 1998 : la RADEEMA a pris en charge la gestion du service de l'assainissement liquide suite aux délibérations de la communauté urbaine de Marrakech.

Le 09 Juillet 2010 : la RADEEMA est passée au contrôle d'accompagnement en substitution du contrôle préalable conformément aux dispositions de l'article 18 de la loi 69.00. Actuellement, la régie s'occupe de la distribution de l'énergie électrique, la distribution de l'eau potable notamment la gestion du réseau d'assainissement liquide dans le périmètre de la ville de Marrakech. (RADEEMA / histoire)

2. Organigramme de la RADEEMA :



Figure 1: organigramme de la RADEEMA

3. Les objectifs de la RADEEMA :

- Améliorer le système de distribution d'eau potable dans la ville de Marrakech, par la lutte contre son gaspillage pour réduire ses pertes ;
- La sécurisation de l'alimentation en eau et l'électricité ;
- La lutte contre la pollution du milieu récepteur.

4. Les activités de la RADEEMA :

Les activités de la RADEEMA consistent en :

- Distribution de l'eau et d'électricité ;
- La gestion du service d'assainissement liquide dans la ville de Marrakech ;
- L'accompagnement du développement important que connait la ville.

II. Département de la qualité, sécurité et environnement :

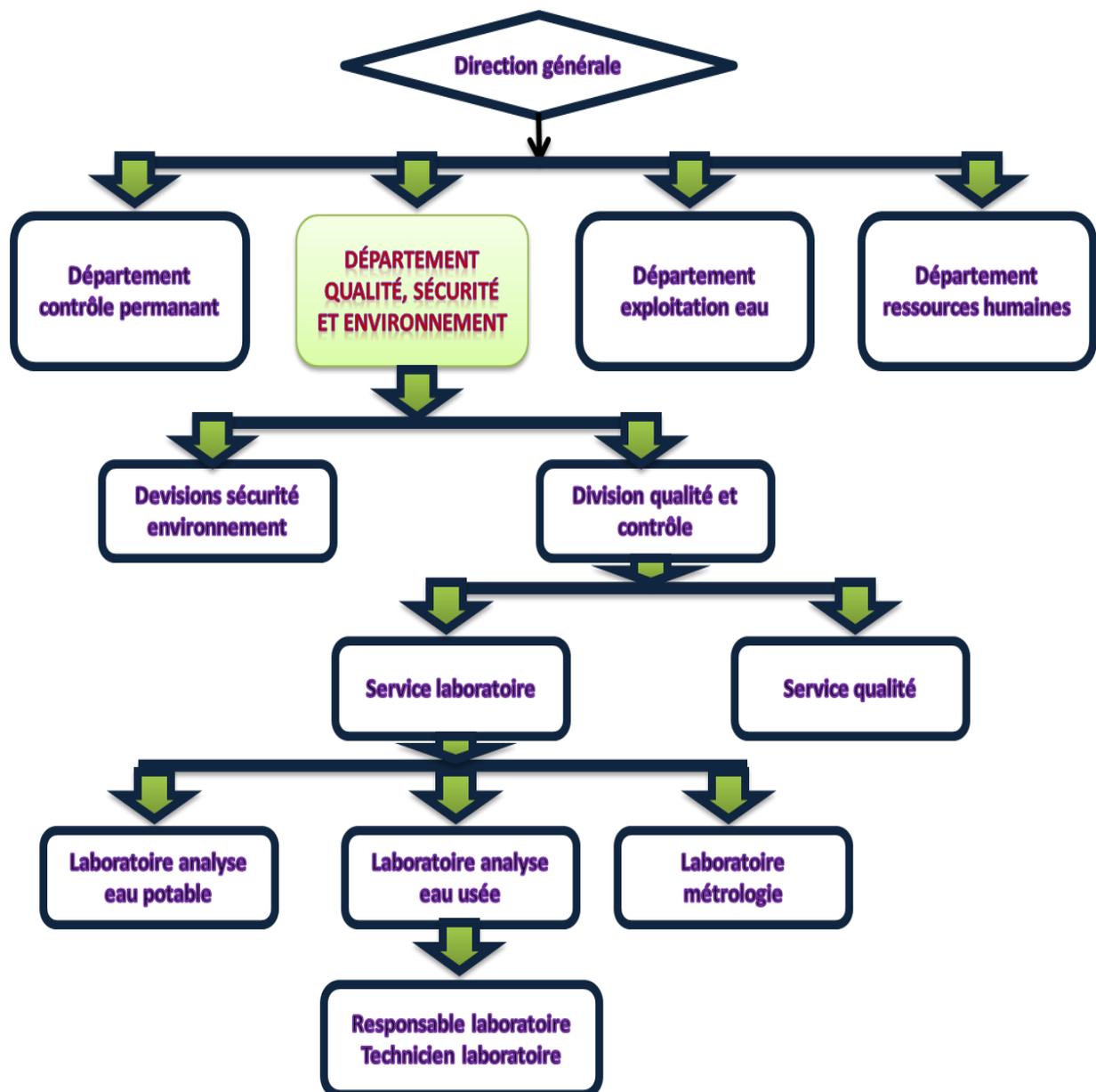


Figure 2: organigramme du département QSE

III. Présentation et situation de la station d'épuration des eaux usées :

En 2006, alors que le nombre de projets touristiques et golifiques augmentait, la problématique du stress hydrique fait surface. Et Marrakech qui comptait 7 terrains de golf avait en projet une quinzaine d'autres. Leurs besoins en eau ne pouvaient plus être prélevés de la nappe phréatique. Il fallait donc identifier au plus vite des solutions pour utiliser des eaux non conventionnelles. Les autorités locales ont alors décidé de pousser le traitement des eaux jusqu'au niveau secondaire et tertiaire afin de pouvoir les réutiliser. Grâce à son emplacement, la totalité des eaux de la ville arrivent par gravité à la STEP et sans avoir besoin de pompage.

1. Localisation géographique :

La station d'épuration se situe au nord de la ville de Marrakech, sur la route de Tamensourt, près du quartier El Azouzia sur la rive gauche de l'Oued Tensift. Elle occupe une superficie globale de 17 Hectares avec une capacité de traitement de 90720 m³/ jour, et de production de 20 000 Nm³/ jour de biogaz couvrant 45 % des besoins de la station.

2. Objectifs de la STEP :

Les objectifs visés par la STEP consistent à la fois en des objectifs environnementales et en la gestion des ressources en eau (fig.3)

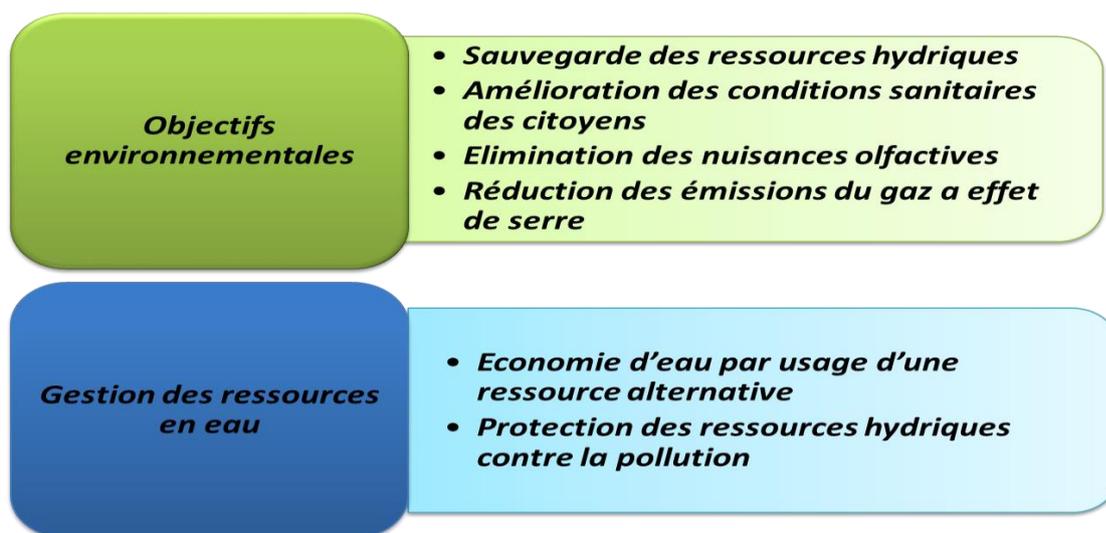
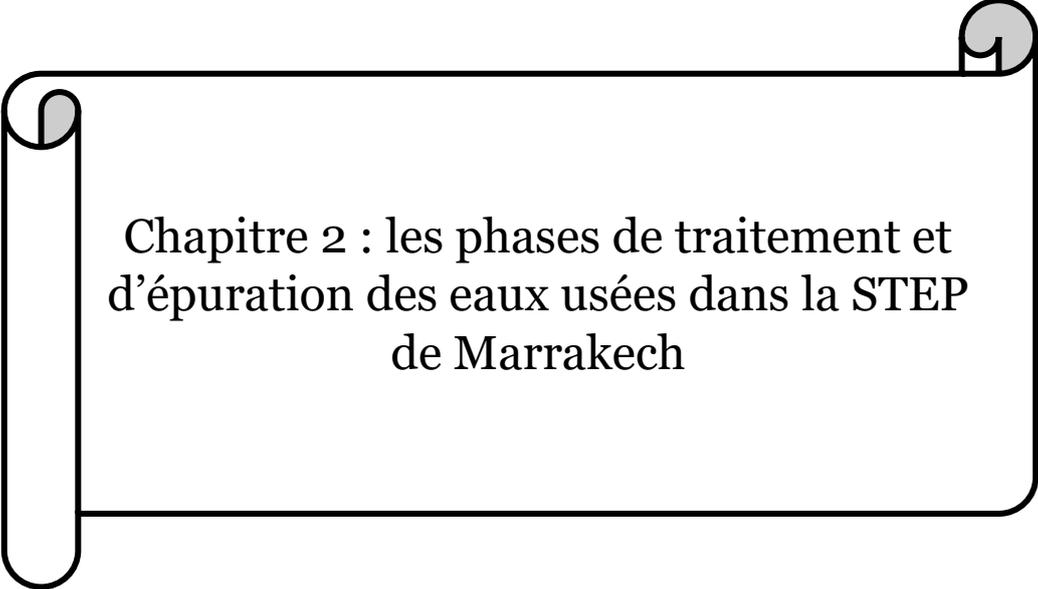


Figure 3: les objectifs de la STEP



Chapitre 2 : les phases de traitement et
d'épuration des eaux usées dans la STEP
de Marrakech

Les phases de traitement et d'épuration des eaux usées dans la STEP de Marrakech sont illustrées sur la figure 4 correspondant au schéma général du fonctionnement de la STEP.

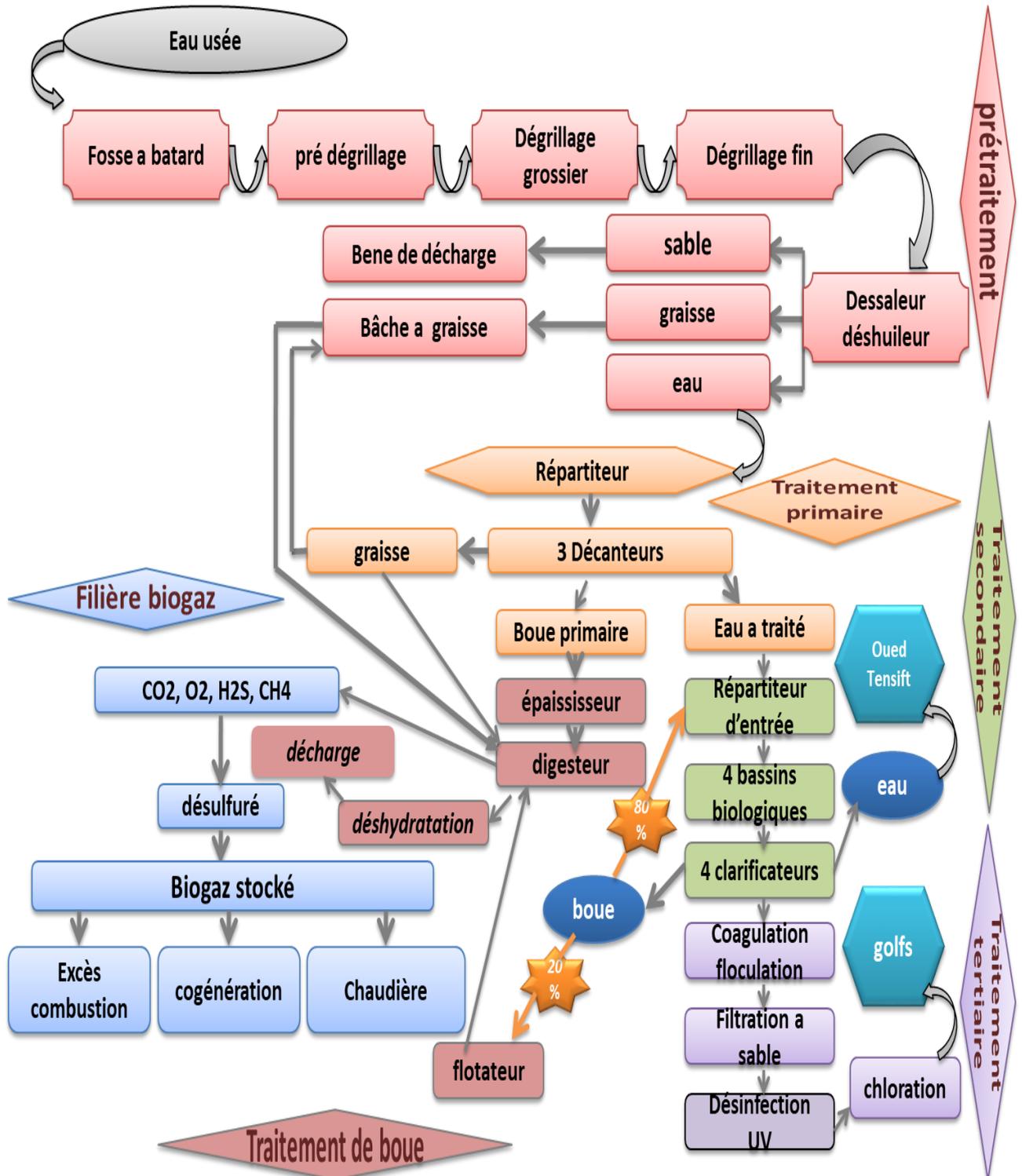


Figure 4: schéma générale du fonctionnement de la STEP

I. Filière eau :

1. *Prétraitement :*

Cette étape consiste à se débarrasser des débris les plus volumineux (sables, graisses, plastique...) grâce à une séparation physique ou mécanique selon les étapes suivantes : dégrillage, dessablage et déshuilage. (Tableau 1, photos 1,2 et 3)



Photo 1: Pré-grille à l'entrée de la STEP



Photo 2: dégrillage grossier



Photo 3: dégrillage fin

Le dégrillage des eaux usées consiste à les faire acheminer à travers trois dégrilleurs dont les espacements entre les barreaux sont respectivement de 200mm, 80mm et 10 mm (Tab. 1).

Tableau 1: caractéristiques des dégrilleurs

dégrilleur	Espacements entre barreaux (mm)	Caractéristiques	Caractéristiques communes
pré dégrilleur	200	Manuel. Incliné de 60	-Construction en acier inoxydable. - Construction simple et solide qui résiste dans le temps. -Installation rapide
Dégrilleur grossier	80	Automatique. Verticale	
Dégrilleur fin	10	Automatique. Verticale	

Après le dégrillage, les eaux sont transportées vers un dessableur-déshuileur (photo4) qui consiste à éliminer les graisses et les sables. Ces derniers sont retirés par sédimentation dans une zone calme non aérées afin de protéger les équipements. Les huiles Quant à elles, ont une tendance naturelle à remonter à la surface puis raclées dans une zone où on a injection de l'air au fond. Les sables produites sont jetés dans une benne de décharge alors que les graisses sont renvoyées vers la bache à graisse et l'eau retourne par un canal pour continuer sa circulation.



Photo 4: photo montrant le dispositif dessableur-déshuileur

2. *Traitement primaire :*

Les eaux prétraitées sont transportées vers le répartiteur afin de les distribuer d'une manière égale entre les trois décanteurs primaires qui sont de forme circulaire et conique au fond (Tableau 2).

La décantation primaire s'effectue au niveau de trois décanteurs de grandes dimensions, elle consiste d'isoler la matière en suspension qui se décante au fond du bassin en constituant une boue primaire. Celle-ci est récupérée ensuite par raclage puis acheminée vers les épaisseurs qui permettent d'augmenter la concentration de ces boues (on passe de 6g/L à 60g/L), ces dernières vont être utilisées comme alimentation de digesteurs.

Tableau 2: caractéristiques du décanteur

Surface totale	3000m ²
Nombre d'ouvrages	3
Temps de séjour moyen	2h
Diamètre	39m
MES	66%
DBO5	33%

A l'issu de l'unité de décantation primaire, on a trois produits : eau traitée, boue primaire et graisse.

3. Traitement secondaire :

Le traitement secondaire a pour objectif, l'élimination de la matière organique soluble (azote, phosphore et carbone) dans des bassins aérés par des surpresseurs. Premièrement les eaux sont envoyées vers un répartiteur d'entrée qui les distribue d'une manière égale sur les quatre bassins biologiques (Photo 5) dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 3. Au niveau d'une zone de contact, on a un brassage mécanique des eaux décantées avec 80% de boue secondaire. Celui-ci est favorisé par l'existence d'une pente qui permet aussi de régler le débit d'entrée pour garantir un temps de séjour suffisant au but de réaliser la nitrification et la dénitrification.

Tableau 3:caractéristiques des bassins biologiques

Nombre d'ouvrages	4
Surface unitaire	16250m ²
Volume surpressé	70Nm ³ /h

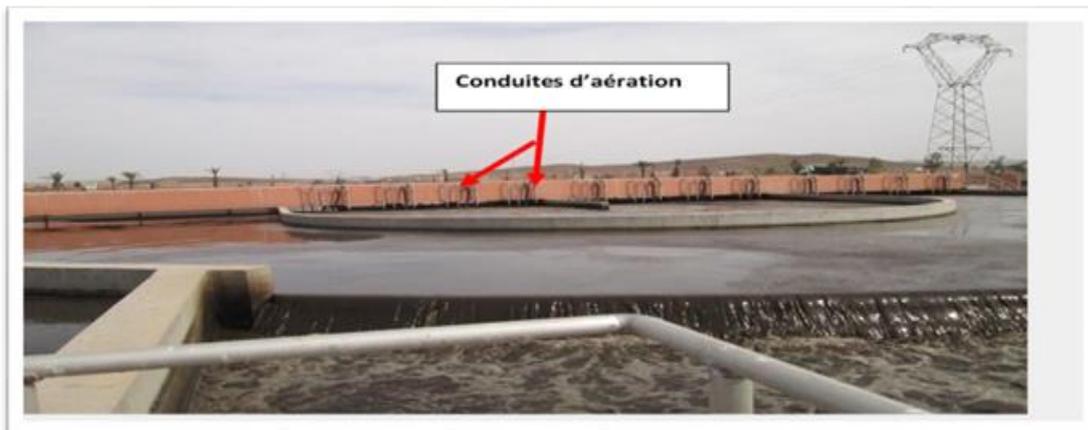


Photo 5: photo montrant un exemple de bassin biologique dans la STEP étudiée.

Les floccs qui proviennent des bassins biologiques sont décantés par sédimentation au niveau des clarificateurs (photo6) où on a une séparation entre les floccs et les eaux clarifiés. Ces dernières qui déversent à travers la goulotte ne sont plus nocives et peuvent être jetés sans aucun problème dans la nature car elles sont conformes aux normes de rejets (cf. Tab 4 et 5. Annexe A).



Photo 6: photo illustrant un exemple de clarificateur dans la STEP étudiée.

4. Traitement tertiaire :

La STEP de Marrakech ne procède à ce traitement qu'en cas de demande pour l'irrigation des complexes golfs vu aux dépenses supplémentaires qu'engendre.

Ce traitement consiste en une coagulation, floculation, filtration à sable, désinfection par ultraviolet et enfin la chloration pour s'assurer de la qualité des eaux livrées aux golfs.

4.1 .coagulation-floculation :

C'est un processus qui facilite l'élimination des particules solides en suspension, et des particules colloïdales par l'intervention d'un coagulant $FeCl_3$ et le réactif floculant (polymère). Il s'agit donc d'une séparation solide-liquide.

4.2. Filtre à sable : (photo7)



Photo 7: photo illustrant un exemple de filtre à sable dans la STEP étudiée.

Ce traitement permet d'éliminer la matière en suspension pour avoir une qualité d'eau améliorée, en se basant sur l'épuration biologique qui assure le passage de l'eau à traiter à travers des lits de sable de nombre de vingt.

4.3. Désinfection à l'ultra-violet :

Ce système comprend la circulation de l'eau à travers deux canaux contenant 256 lampes UV. Durant le passage de l'eau dans le récipient, les micro-organismes sont exposés à une énergie lumineuse ultraviolette dont la puissance est de 250W qui endommage les molécules génétiques, et empêchent la multiplication des micro-organismes.

4.5. Chloration :

Le chlore est un agent oxydant fort qui se caractérise par un potentiel d'oxydo-réduction qui est très important ce qui lui confère la facilité de réagir avec plusieurs substances organiques et inorganiques trouvées dans les eaux usées. Il est particulièrement efficace pour détruire le matériel génétique des bactéries.

II. Filière boue :

Il existe deux types de boues :

- **une boue primaire** issue de la décantation primaire qui se caractérise par une densité très importante, elle a donc tendance à se décanter. Cette dernière va être conduite vers les épaisseurs avant qu'elle soit renvoyée vers les digesteurs.
- **Une boue secondaire**, dite boue activée, qui provient des clarificateurs. Elle est caractérisée par une faible densité qui lui confère un pouvoir de flottation, elle est envoyée vers le flotateur. (photo8) .



Photo 8: photo illustrant un exemple de flotateur

La boue mixte (mélange de boue primaire et secondaire) est transmise vers des enceintes confinées appelées les digesteurs portés à une température de 37 °C et prévus d'Oxygène. Ces conditions d'anaérobiose favorisent la méthanisation, appelée aussi fermentation en anaérobiose. Celle-ci permet la transformation de déchets organiques par des bactéries en biogaz composé majoritairement de méthane.



Photo 9: photo illustrant un exemple de digesteur

III. Filière biogaz :

Le biogaz de la station d'épuration est récupéré au niveau des digesteurs (photo 9). Il est composé principalement de 70 % du méthane, de 25% en dioxyde de carbone, et de 5 % de l'hydrogène sulfuré H_2S . Ce dernier est généralement nocif pour les moteurs à gaz. Puisqu'il est saturé en eau, il va donc provoquer la corrosion et l'endommagement des installations. Une partie de ce biogaz provenant des digesteurs va être comprimée puis réinjectée dans ces derniers afin d'assurer le brassage des boues, alors que l'autre partie va subir une désulfuration au niveau d'une dissulfureuse (photo 10) en éliminant le soufre par lavage.



Photo 10: photo montrant un exemple de dissulfureuse de la STEP de Marrakech

Le biogaz désulfuré est stocké au niveau des gazomètres (photo11), il peut être utilisé pour la production de la chaleur qui sert à chauffer la boue au niveau des digesteurs et à la production de l'énergie électrique au niveau de cogénération (photo12) ce qui permet de produire 45 % de l'électricité utilisée au niveau de la STEP.



Photo 11: photo montrant un exemple de gazomètre de la STEP de Marrakech.



Photo 12: photo montrant un exemple de cogénération de la STEP de Marrakech étudiée.

Au cas où les gazomètres sont pleins, la combustion du gaz se fait au niveau des deux torchères présentées dans la photo 13 suivante.



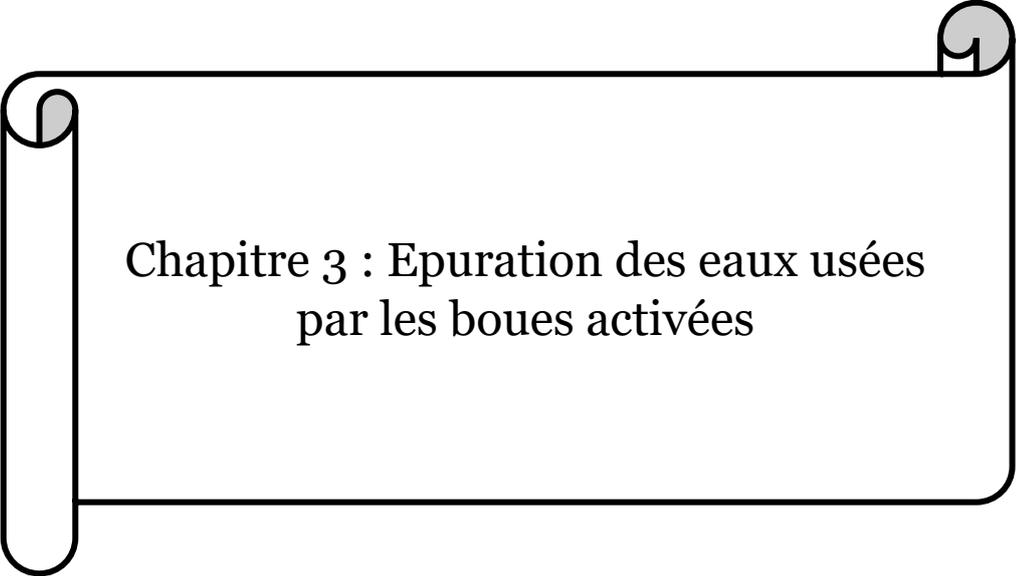
Photo 13: exemple de torchères qui servent pour la combustion du gaz au niveau de la STEP étudiée.

III. Filière désodorisation :

Le système de désodorisation comprend :

- Une désodorisation biologique.
- Une désodorisation physico-chimique.

L'air circulant dans la STEP chargé de biogaz à une mauvaise odeur, on doit alors l'éliminer pour améliorer la qualité de l'air ambiant. Ces deux systèmes ont le même but, d'expulser les odeurs produites par NH_4 et H_2S . Un grand pourcentage de ces odeurs est supprimé par la désodorisation physico-chimique qui utilise NaOH pour se débarrasser de H_2S de nature acide et H_2SO_4 pour chasser l'ammonium qui a un caractère basique.



Chapitre 3 : Epuration des eaux usées
par les boues activées

1. Principe :

Le procédé des boues activées est une technique biologique utilisée dans l'épuration des eaux polluées. Il représente une alternative efficace et relativement écologique, car il n'utilise pas les produits chimiques. Il est classé parmi les techniques d'épuration les plus couramment utilisées.

Son principe consiste à revaloriser les eaux usées en y introduisant un concentré de bactéries tout en créant des conditions pour leur prolifération. Pour s'assurer de bon fonctionnement de ces dernières, qui dégradent les substances polluantes (phosphore, azote et carbone.), et les transforment en boue, on y injecte de l'air de manière à obtenir une teneur en oxygène dissous suffisante pour l'activité biologique aérobie.

2. Les avantages de la technique de boues activées :

- Élimination de molécules de phosphore, d'azote et de carbone présentes dans les eaux résiduaires ;
- Plus sûr, du fait de contrôle de différents facteurs nécessaires à son fonctionnement ;
- Installation qui demande peu de place.

3. Les inconvénients des boues activées :

- Dispositif qui nécessite un entretien rigoureux pour éviter le dysfonctionnement ;
- Investissement de départ est élevé ;
- L'implantation de ce site dans un espace vert peut provoquer des nuisances telles que les mouches. (Futura science)

4. : Les principales réactions mises en œuvre dans le procédé des boues activées :

4.1 : ammonification :

C'est la réaction de dégradation de pollution organique azotée en NH_4^+ ou en NH_3 , la réaction de l'ammonification s'écrit comme suit :



4.2 : nitrification :

La nitrification est un processus contrôlé par l'action de certains microorganismes spécifiques en présence d'oxygène qui conduit à la transformation de la forme réduite NH_3 ou NH_4^+ en forme oxydée NO_3^- . Cette réaction se fait en deux étapes :

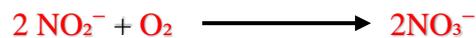
4.2.1 : La nitritation :

Réaction d'oxydation de l'ammonium réalisée par des bactéries nitritantes (Nitrosomonas), elle est décrite par l'équation suivante :



4.2.2 : Nitratation :

Réaction d'oxydation du nitrite effectuée par des bactéries nitratantes (Nitrobacters) selon la réaction suivante :



4.3 : Dénitrification :

Il s'agit d'un procédé biologique qui consiste en la réduction du nitrate en azote gazeux (dans des conditions anoxiques) via la formation des composés intermédiaires tel que le nitrite, l'oxyde nitrique et l'oxyde nitreux. Cette réaction s'effectue à l'aide des bactéries dénitrifiantes qui utilisent l'oxygène du nitrate pour oxyder la matière organique.

La réduction de nitrate se fait selon la réaction suivante :



Le schéma présenté par la figure 5 suivante résume l'ensemble de ces réactions :

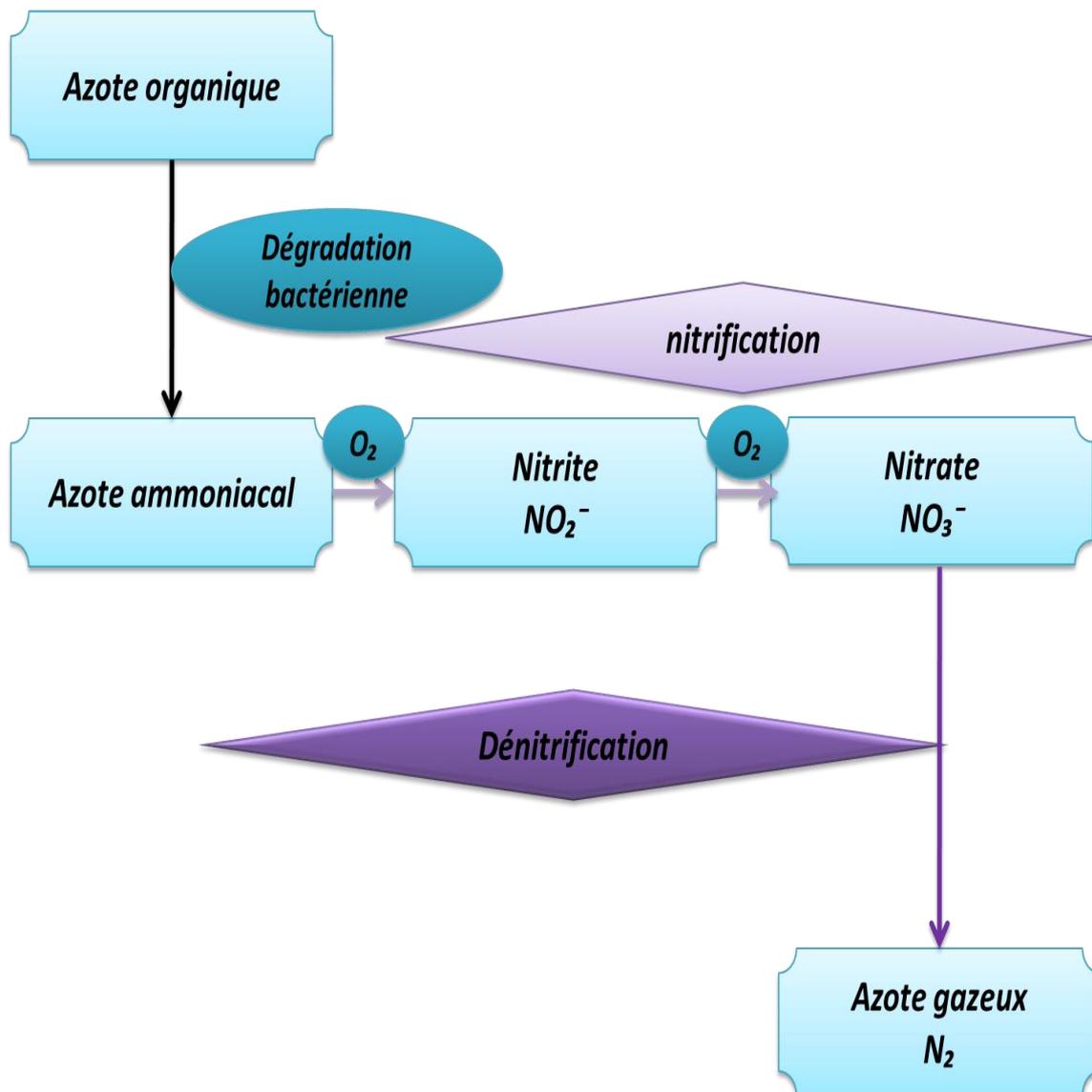
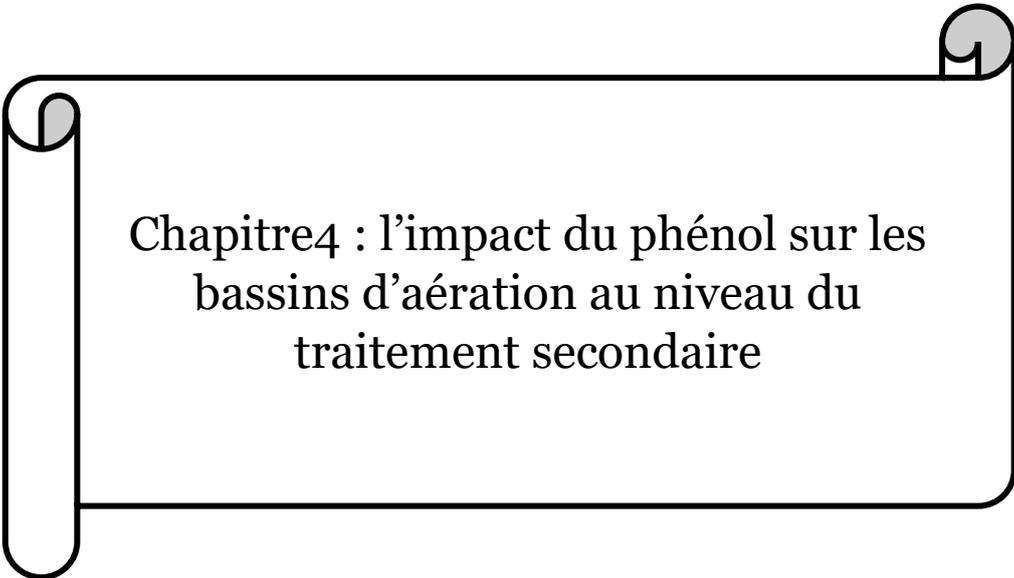


Figure 5: cycle de l'azote dans les bassins biologiques

4.4 : Déphosphatation :

La déphosphatation biologique est une technique qui permet l'élimination des concentrations élevées des phosphates par des bactéries qui les absorbent pour leur propre croissance cellulaire (Acinetobacter).



Chapitre4 : l'impact du phénol sur les
bassins d'aération au niveau du
traitement secondaire

Introduction :

De nombreux composés organiques polluants provenant des industries, des activités agricoles et urbaines se retrouvent dans les cours d'eau et les nappes souterraines, traversent même la station d'épuration. Ils résistent à l'autoépuration et représentent un risque pour le fonctionnement de différents ouvrages de la STEP.

Plusieurs études ont portées sur le phénol et sa toxicité sur l'homme, l'environnement et le sol. Dans la présente étude, on s'intéresse à l'effet du phénol sur les microorganismes et les réactions des bassins biologiques.

Généralement du mois Octobre au mois Mai (la période de production des huiles d'olive), les concentrations en phénol entrantes dans la STEP sont élevées. En conséquence, les bactéries biodégradables ne peuvent plus s'adapter avec ces concentrations inhibitrices de leur activité.

Dans le cadre d'une étude approfondie de l'incidence du phénol sur l'agissement des microorganismes dans les bassins d'aération, il est primordial de procéder à des suivies journalières durant une semaine pour mettre en évidence à la fois la biodégradabilité du phénol et le frein des réactions qui ont lieu dans ces bassins.

1. Généralités sur le phénol :

Le phénol se trouve dans la plupart des effluents industriels et se considère comme une source de toxicité pour la plupart des êtres vivants.

1. *Identification :*

Le phénol est un composé chimique aromatique portant une fonction hydroxyle OH, sa formule chimique est C₆H₅OH. Ces composés phénoliques sont hautement toxiques pour l'homme et d'autres espèces. Quand ils sont anormalement disséminés dans l'environnement, les phénols sont des polluants de l'air, du sol ou de l'eau. (Wikipédia)

2. *Sources :*

- Les phénols constituent un important sous-produit des industries des pâtes et papier, de transformation du charbon, des raffineries du pétrole, des usines de fabrication de résines, des textiles, des industries pharmaceutiques et des tanneries, on les trouve aussi en grande quantité dans les margines des olives.
- Les phénols peuvent exister à l'état naturel dans les milieux aquatiques, étant produits par la décomposition de la végétation aquatique.
- La principale source anthropique de ces produits est les eaux usées domestiques. (recommandation canadienne)

3. *Toxicité :*

Le phénol est un composé toxique qui est facilement absorbé par la peau, les voies respiratoires et digestives. Il affecte le système nerveux et provoque des dommages au foie et aux reins. Le contact avec la peau provoque des brûlures et même un empoisonnement pouvant mener à la mort. L'inhalation de vapeurs ou de poussières de phénol peut aussi entraîner un empoisonnement. (fiche de sécurité chimique)

4. *Biodégradabilité du phénol :*

Les phénols sont naturellement très biodégradables, La dégradation par des bactéries est intégrale jusqu'à la formation de dioxyde de carbone. Plusieurs expériences ont montré que le niveau de dégradation de phénol se situe entre 60 à 70% pour quatre jours, avec ces résultats le phénol peut être classé comme facilement biodégradable. (Muftah H EL-Naas et al)

La dégradation du phénol peut se faire soit dans des conditions aérobiques ou anaérobiques selon des conditions spécifiques, or la dégradation aérobique classique est préférée.

Un grand nombre de microorganismes comprenant les bactéries sont capables de dégrader les composés phénoliques, Pseudomonas est la biomasse la plus utilisée pour ce but.(Muftah H EL-Naas et al)

//• Méthodologie, résultats et interprétations:

Pour pouvoir évaluer l'effet du phénol sur les performances de traitement secondaire dans la STEP, spécifiquement la nitrification et la dénitrification qui ont lieu dans les bassins d'aération. On a préparées deux petits bassins : un bassin témoin (photo 14) dans lequel on a mis huit litres d'eau décantée prélevée au niveau du répartiteur d'entrée, plus une boue secondaire recirculée. Et l'autre où on a introduit aussi huit litres d'eau décantée avec la boue recirculée, plus une masse de phénol. Puisque le pH de ces eaux mesuré par un pH-mètre (photo 15) est généralement acide (pH=6,5), on est obligées d'ajouter l'hydroxyde de sodium pour le maintenir dans un intervalle compris entre 7,5 et 8,5 afin de favoriser l'activité des microorganismes. Après dix minutes de repos on connecte les deux bassins par des aérateurs mécaniques pour avoir une quantité suffisante d'oxygène dissout.



Photo 14: bassin témoin et bassin avec phénol



photo 15: photo d'un pH-mètre

1. Analyse :

Le laboratoire de la RADEEMA a pour objectif de contrôler la qualité des eaux usées dans la ville de Marrakech, que ça soit le réseau d'assainissement, la station d'épuration ainsi que les complexes golifiques. Pour ce but, le personnel du laboratoire de la RADEEMA collecte quotidiennement les échantillons d'eau brute à l'entrée de la STEP, eau décantée, eau clarifiée et eau épurée de quatre préleveurs automatiques(photo16) qui permettent la réalisation des bilans sur 24 heures, chacun est composé de 24 flacons où l'échantillon est réparti ,et un tuyau d'aspiration plongeant dans l'effluent à prélever .



Photo 16: préleveur automatique dans la STEP

Le laboratoire procède à la méthode alternative (ou méthode rapide) à l'aide des kits commercialisés (photo17) pour doser ces paramètres. Elle a comme principe d'utiliser des réactifs pré-dosés dans des cuves rondes en verre à optique spécial, l'échantillon est ajouté par pipetage puis dosé par spectrophotométrie.



Photo 17: exemple des kites utilisés

1.1 : paramètres analysés :

- Paramètres mesurés :

1.1.1 : Le phénol :

La méthode des kites est basée sur le développement d'une coloration entre les phénols et l' amino-4 antipyrine. Elle permet la détermination de l'indice de phénol des eaux exprimé en mg/L ($\geq 0,025$ mg/L).

➤ **Protocole :**

- On filtre l'échantillon sans vide sur un papier filtre en microfibre de verre de porosité 1,2µm.
- On prend le tube et on ajoute 2 ml de l'échantillon avec 0.2 ml du réactif A.
- On malaxe et on laisse reposer 2 min.
- On ajoute 0,2 ml du réactif B, on mélange encore une fois et on le laisse reposer 2 min.
- On mesure la concentration par spectrophotomètre. (photo 18 ; a)

1.1.2 : l'ammonium :

➤ **Protocole :**

- On ajoute 5ml de l'échantillon au réactif du kit.
- On inverse la position du bouchon de telle sorte que le réactif là-dessus soit à l'intérieur du kit.
- On mélange l'ensemble et on laisse reposer 15min.
- On lit la valeur dans le spectrophotomètre.

1.1.3 : Nitrate :

➤ **Protocole :**

- On travaille avec un échantillon filtré sur une filtration à pompe (photo 18 ; b).
- On ajoute 1 ml d'échantillon au réactif.
- On ajoute 0,2 ml du réactif A.
- On agite l'ensemble et on le laisse reposer 15 min.
- On mesure la concentration du nitrate par spectrophotomètre.

1.1.4 : nitrite :

➤ **Protocole :**

- On ajoute 2 ml de l'échantillon filtré au kit.
- On inverse la position du bouchon.
- On malaxe l'ensemble et on le laisse 10 min.
- On lit la valeur de la concentration sur le spectrophotomètre.

1.1.5 : l'Azote total (NGL) :

NGL représente la totalité d'azote dissous contenu dans les formes azotées minérales (NO_3^- et NO_2^- par exemple) et organiques (protéines et acides aminés) en solution dans l'eau. Sa mesure nécessite une minéralisation préalable à 100 °C. (Photo 18 ; c)

➤ Protocole :

- On réalise ce protocole sur un échantillon non filtré.
- On verse 0.2 ml d'échantillon dans une cuve en verre.
- On lui ajoute 2.3 ml du réactif A.
- On additionne le réactif B.
- Mettre le mélange dans la minéralisation à 100 °C pendant une heure.
- On le fait sortir et on le laisse refroidir pendant 15 min.
- On lui ajoute le réactif C et on l'agite.
- On pipette 0,5 ml de ce mélange, dans le réactif du kit.
- On additionne 0,2 ml du réactif D.
- On secoue le mixte et on le laisse 15 min
- On lit la concentration dans le spectrophotomètre.

• Paramètre à calculer :

1.1.6 : l'azote de kjeldahl(NTK) :

Les composés azotés mesurés par cette méthode sont de formes azotées non oxydées. Ils sont calculés à partir de NGL, des concentrations de nitrite et du nitrate selon la formule suivante :

$$\text{NTK} = \text{NGL} - (\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$$



a)



b)



c)

Photo 18: a) spectrophotomètre b) filtration à pompe c)minéralisation

2. Résultats et interprétations :

Au cours de cette période de stage on a travaillé avec cinq concentrations de phénols (en mg/L) qui sont respectivement : 1,83 ; 4,05 ; 5,93 ; 6,63 et 7,6 mg/L. Pour chacune d'elles, on a suivi l'évolution de quatre paramètres physico-chimiques ; l'ammonium, nitrate, nitrite et NTK afin de comparer ces évolutions et déterminer la concentration du phénol au-dessus duquel on aura l'inhibition de forte intensité des réactions ayant lieu dans les bassins biologiques.

Avant de réaliser cette comparaison, il faut tout d'abord balancer entre l'évolution de ces paramètres dans le bassin témoin et le bassin contenant le phénol. Pour ce but on prend par exemple leurs évolutions pour un [ph]= 7,6 mg/L.

2.1: comparaison entre bassin témoin et bassin avec phénol :

Avant de commencer cette comparaison on doit tout d'abord illustrer l'évolution de phénol pour deux concentrations initiales de phénol.

- **Résultats :**

A partir de tableau 6 présenté dans l'annexe B, on a pu réaliser le diagramme (fig.6) ci-dessus exposant la progression du phénol pour deux concentrations initiales différentes.

Les autres figures 8, 9,10 et 11 présentant l'évolution des paramètres concernés dans le bassin témoin sans phénol et le bassin contenant une concentration initiale du phénol égale à 7,6 mg/L.

En calculant la pente de différentes courbes, on a pu comparer entre la cinétique de réactions de nitrification et de dénitrification dans les deux bassins. Il est à noter que plus la pente est importante (forte) plus l'évolution se fait rapidement.

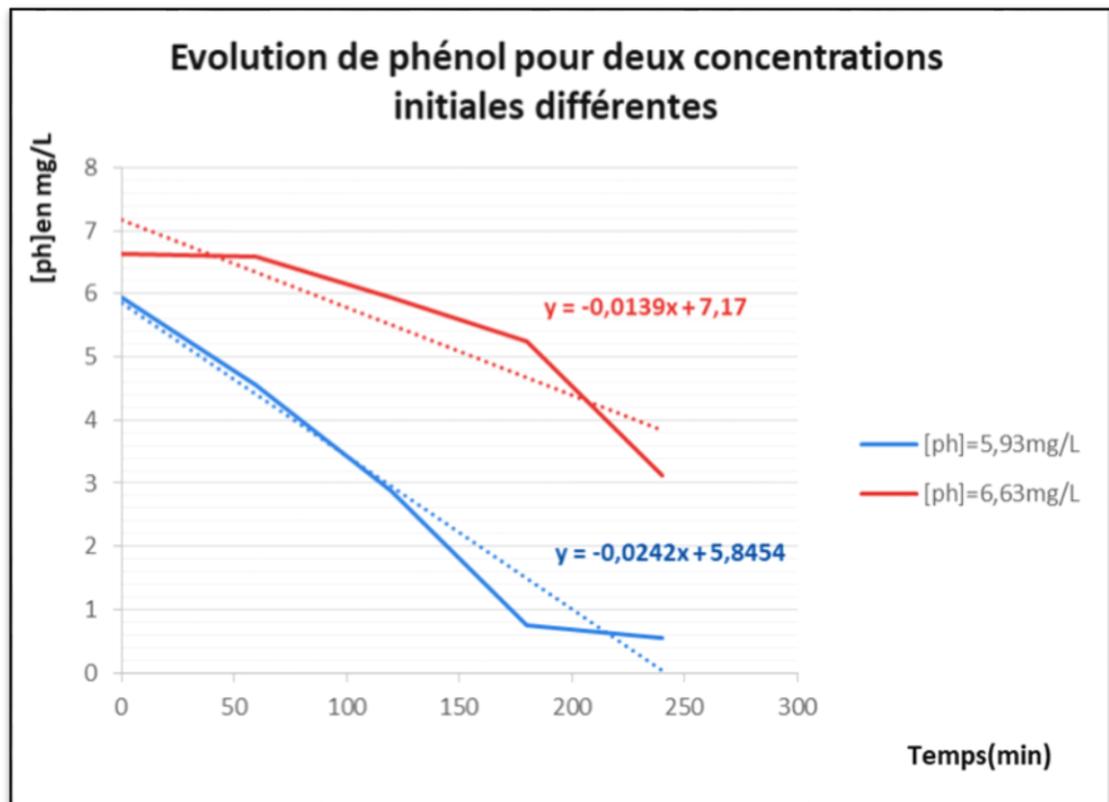


Figure 6 : diagramme montrant la biodégradabilité du phénol en fonction du temps pour deux concentrations de phénol

- Analyses et interprétations :

- Pour le diagramme présenté par la figure 6, on note que la concentration du phénol diminue au cours du temps. Il est clair que la pente de la courbe du 5,93 mg/L est plus importante que celle de 6,63 mg/L.
- On peut conclure donc que le phénol est **biodégradable** par les microorganismes (Nitrosomonas) présents dans les deux bassins. Or, cette dernière diminue lorsque le [ph] devient importante. Comme il est présenté sur la courbe, la biodégradabilité de phénol pour la concentration de phénol 6,63 mg/L devient faible ce qui explique le fait que les bactéries ne peuvent plus s'adapter avec les fortes concentrations de phénol. Par conséquent, on aura l'accumulation de phénol.

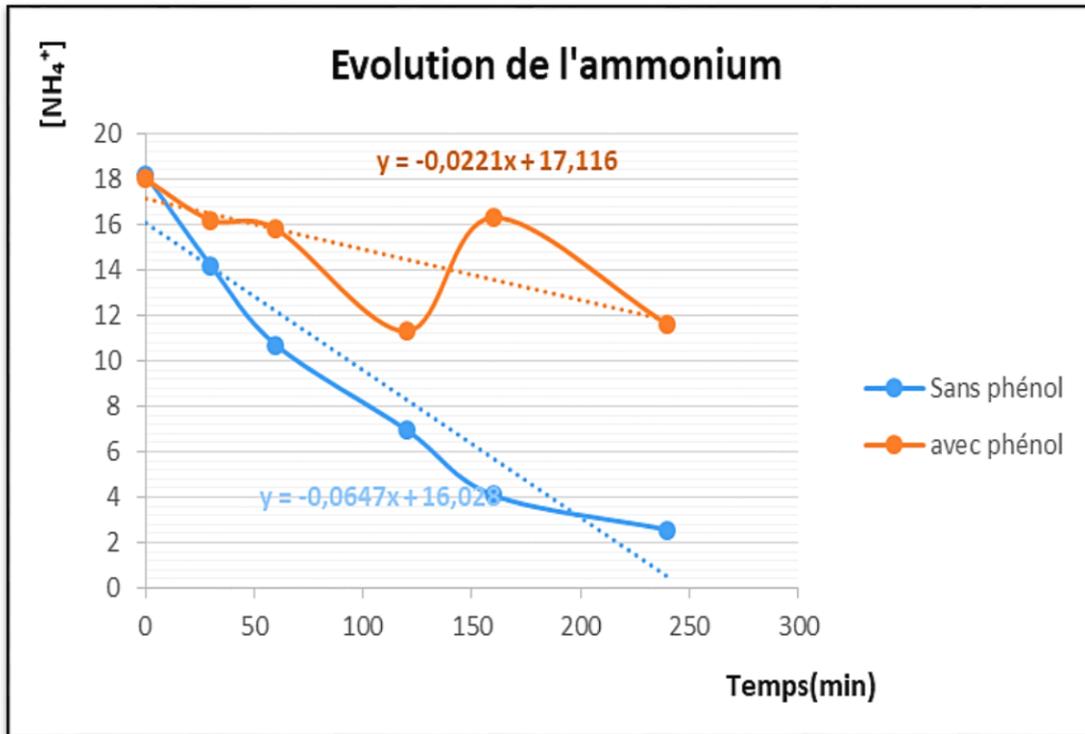


Figure 7:diagramme présentant l'évolution de la concentration de l'ammonium en fonction du temps

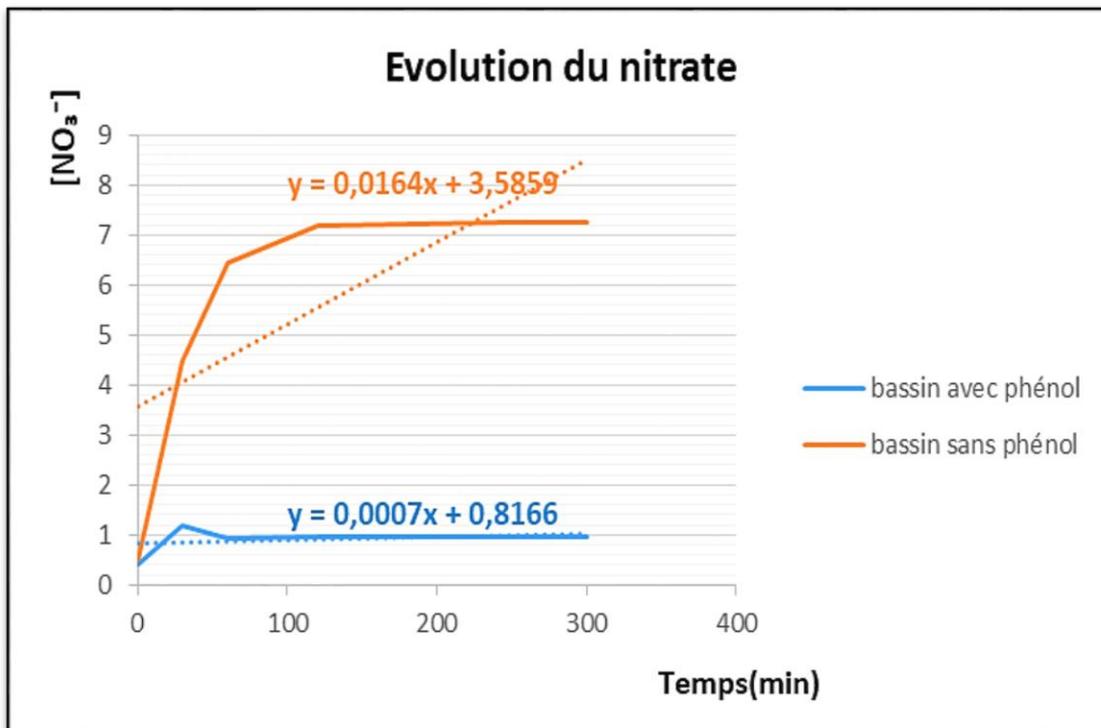


Figure 8:diagramme illustrant l'évolution du nitrate dans les deux bassins en fonction du temps

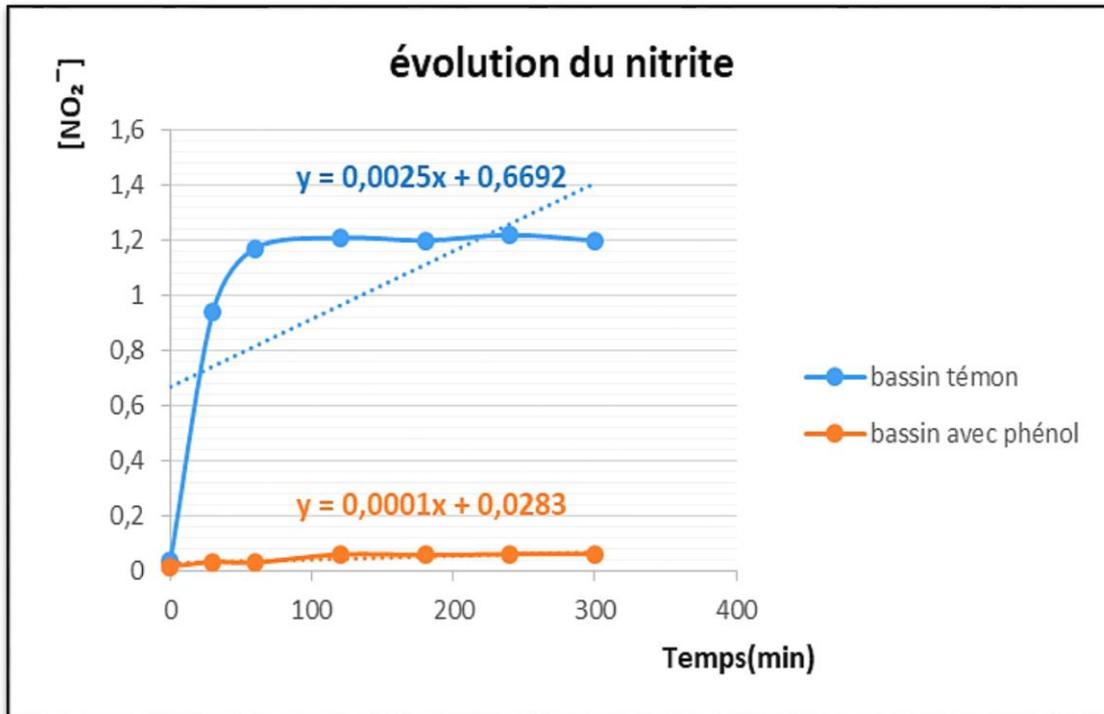


Figure 9:diagramme illustrant l'évolution du nitrite dans les deux bassins en fonction du temps

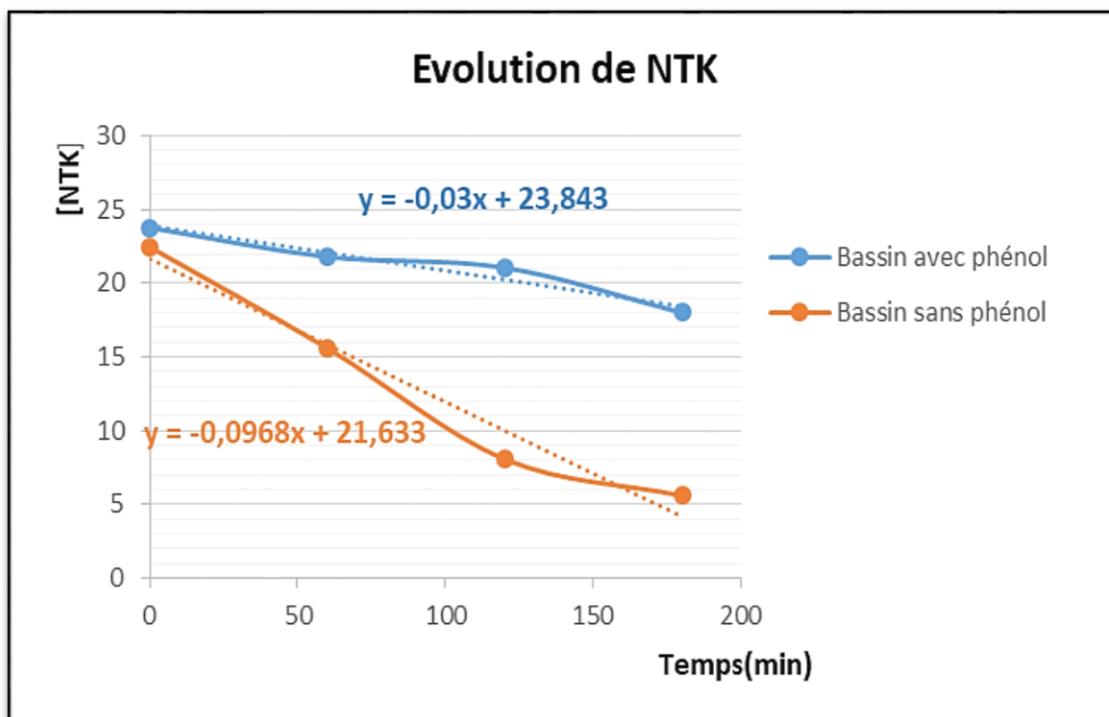


Figure 10:diagramme montrant l'évolution de NTK dans les deux bassins en fonction du temps

- **Analyses et interprétations :**

- Les diagrammes des figures 7,8,9 et 10 réalisés à partir des tableaux 7,8,9 et 10 de l'annexe B, présentent l'évolution de plusieurs paramètres physico-chimiques dans un bassin avec phénol et un autre sans phénol .On constate tout d'abord, que la courbe de NH_4^+ et celle de NTK sont décroissantes, alors que les deux autres (NO_3^- et NO_2^-) sont croissantes .On remarque, ensuite , que les valeurs des pentes sont plus importantes dans le bassin sans phénol, tandis qu'elles sont faibles dans les bassins avec phénol .Ceci implique que la cinétique des réactions ayant lieu dans le bassin témoin est très accélérée par rapport à celle dans le bassin avec phénol.
- On déduit donc que le ralentissement des réactions dans le bassin avec phénol est dû à la présence de ce composé organique biodégradable qui **entre en compétition pour l'oxygène dissout avec les bactéries nitrifiantes.**

2.2 : Suivi de l'évolution des paramètres pour différentes concentrations de phénol :

- ❖ L'ammonium :

L'ammonium est une molécule organique qui provient de la dégradation des déchets azotés organiques, elle résulte de la protonation de l'ammoniac(NH_3).Sa formule est : NH_4^+ .

- **Résultats :**

Les résultats de suivi de ce paramètre sont illustrées dans l'annexe C (cf. Tableau 11), ces résultats nous amènent à établir le diagramme suivant :

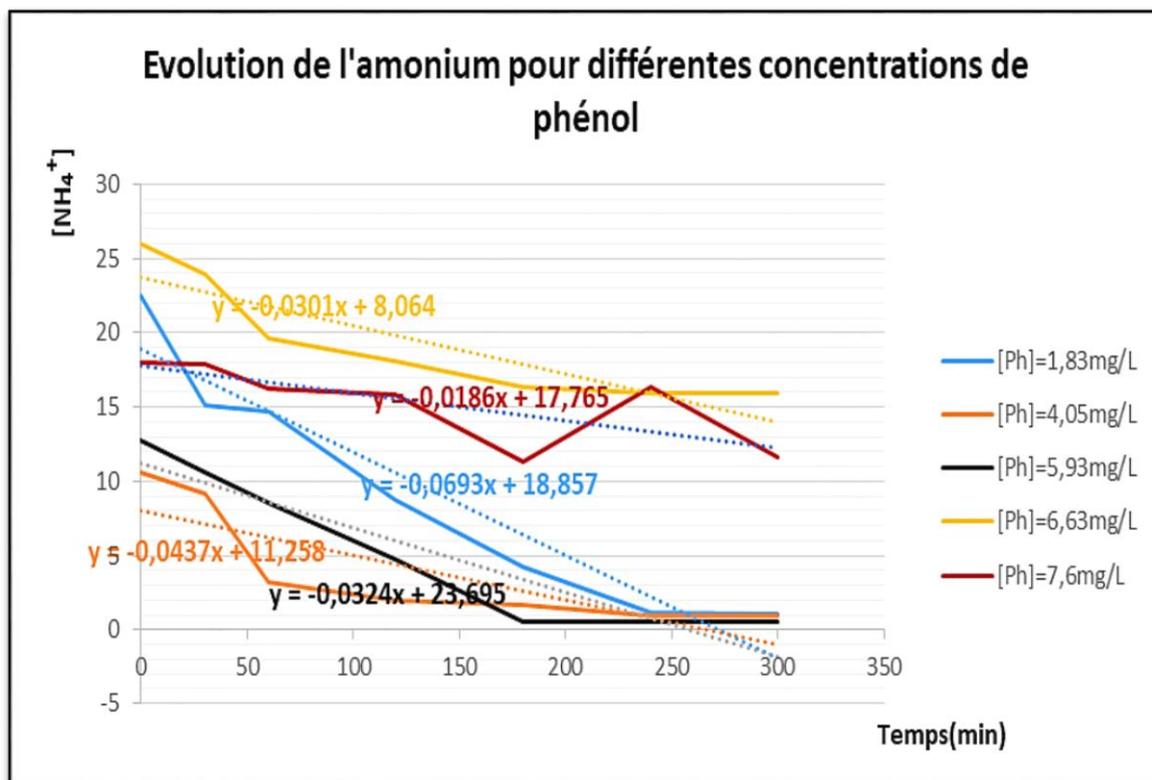


Figure 11:variation de l'ammonium au cours du temps en fonction des différentes concentrations de phénol

- **Analyses et interprétations :**

-L'examen du diagramme de la figure 11 montre que pour différentes concentrations de phénol, $[NH_4^+]$ décroît au cours du temps.

- Cette chute est traduite par la réaction de nitrification.

-la cinétique de nitrification diffère en passant d'une concentration à l'autre. En terme de chiffres, la pente calculée pour la faible concentration de phénol est de l'ordre de 0,07 alors qu'elle est estimée de 0,02 pour celle la plus élevée .Cela montre que plus le [ph] augmente, plus la cinétique diminue.

- On peut conclure donc que les bactéries peuvent s'adapter avec les faibles concentrations de phénol. Mais, à partir de la concentration 7,6 mg/l, on a plus cette adaptation. Par contre, leur activité est bloquée.

-Pour le [ph]= 6,63mg /l Après environ trois heures de suivi, le $[NH_4^+]$ demeure constant.

- Cet arrêt de l'évolution de NH_4^+ confirme l'interruption de l'activité bactérienne.

-Pour le [ph]=7,6 mg/L, on constate après quatre heures, que $[\text{NH}_4^+]$ passe de 11mg/L à 16mg/L.

- Cela peut être expliqué par le fait que la réaction de nitrification se fait dans le sens inverse (saturation en NO_3^-).



❖ Nitrate (NO_3^-) et nitrite (NO_2^-) :

NO_3^- et NO_2^- sont deux molécules organiques provenant de l'oxydation de NH_4^+ en présence d'oxygène, elles se réduisent dans des conditions anaérobiques pour produire l'azote gazeux N_2 .

- Résultats :

Les résultats de suivi de ces deux paramètres sont présentés dans l'annexe C (tab 12 et 13). Les diagrammes réalisés à partir de ces tableaux sont illustrés par les figures 12 et 13 ci-dessous :

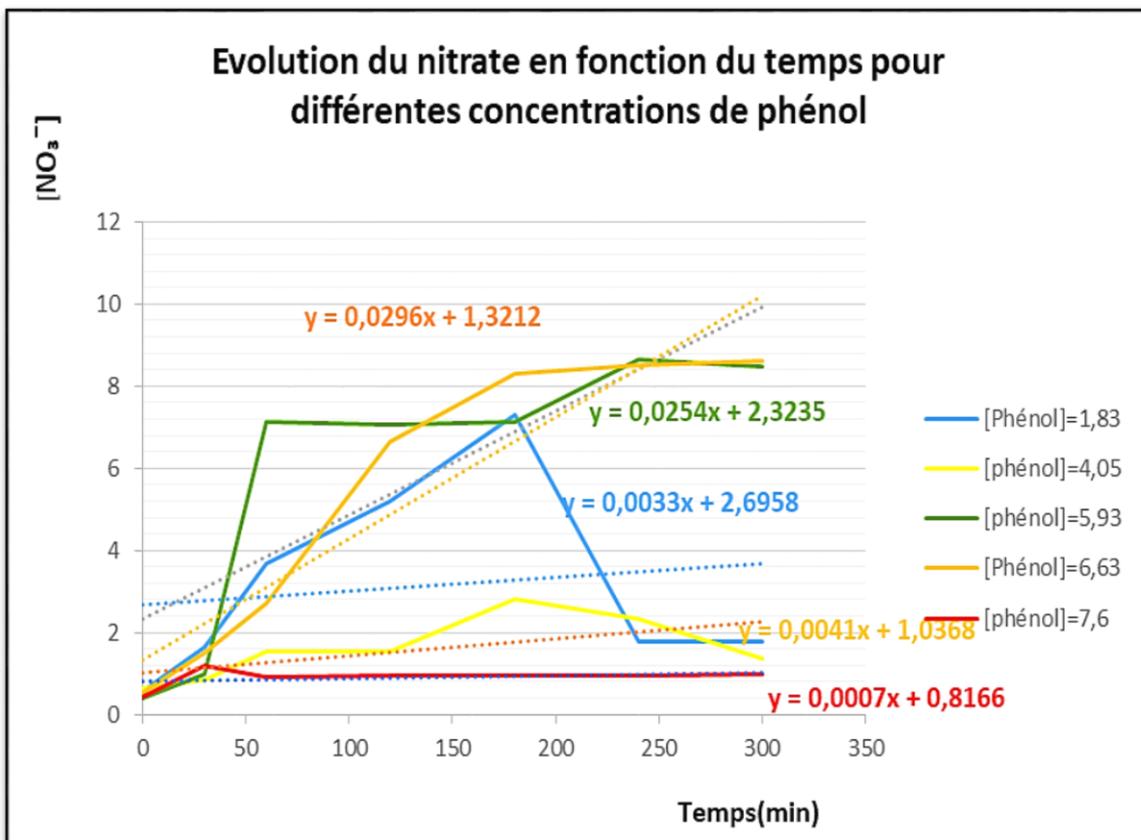


Figure 12: figure illustrant l'évolution du nitrate en fonction de temps pour différentes concentrations de phénol

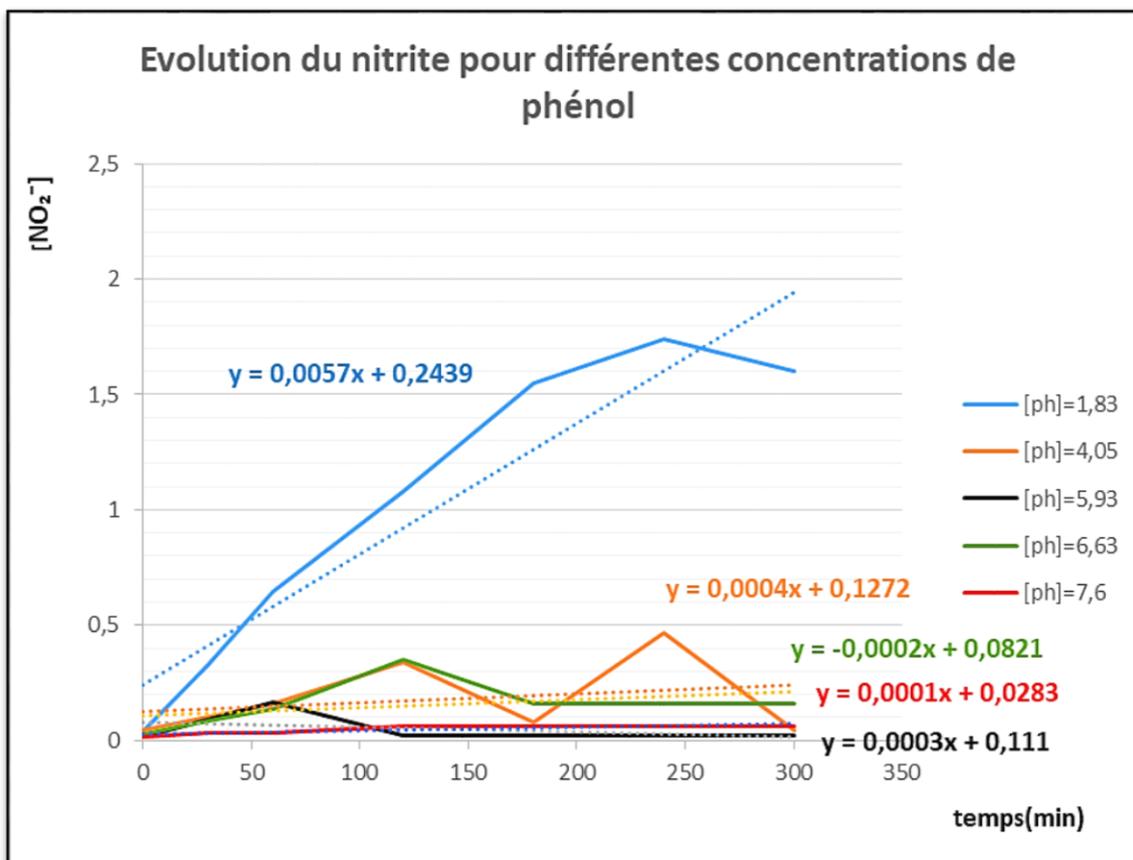


Figure 13: diagramme de l'évolution de nitrite en fonction du temps pour différentes concentrations de phénol

- **Analyses et interprétations :**

-Généralement, les courbes de ces deux paramètres, (nitrate et nitrite) ont tendance à augmenter.

- Cette augmentation est expliquée par le déroulement de la nitrification qui contribue à la production de ces composés.

-Plus le [ph] accroît, plus la pente diminue. Par conséquent, la cinétique de nitrification descend.

- Cela renseigne sur l'influence des concentrations élevées sur l'activité des bactéries, ce qui veut dire qu'elles ne peuvent plus supporter cette quantité élevée de phénol.

- pour certaines concentrations de phénol, par exemple 1,83 mg/L. On remarque qu'après quatre heures de suivi, $[\text{NO}_3^-]$ diminue alors que $[\text{NO}_2^-]$ augmente.

- Ce résultat peut être expliqué par le processus de dénitrification qui permet la réduction de nitrate en nitrite.

❖ Azote kjeldahl (NTK) :

L'azote kjeldahl est la forme d'azote non oxydé (principalement organique ou ammoniacal) qui se retrouve dans les bassins d'aération.

• Résultats :

Les résultats d'évolution de NTK pour différentes concentrations de phénol sont présentés dans l'annexe C, tableau 14.

Ce tableau nous permet de réaliser le diagramme suivant:

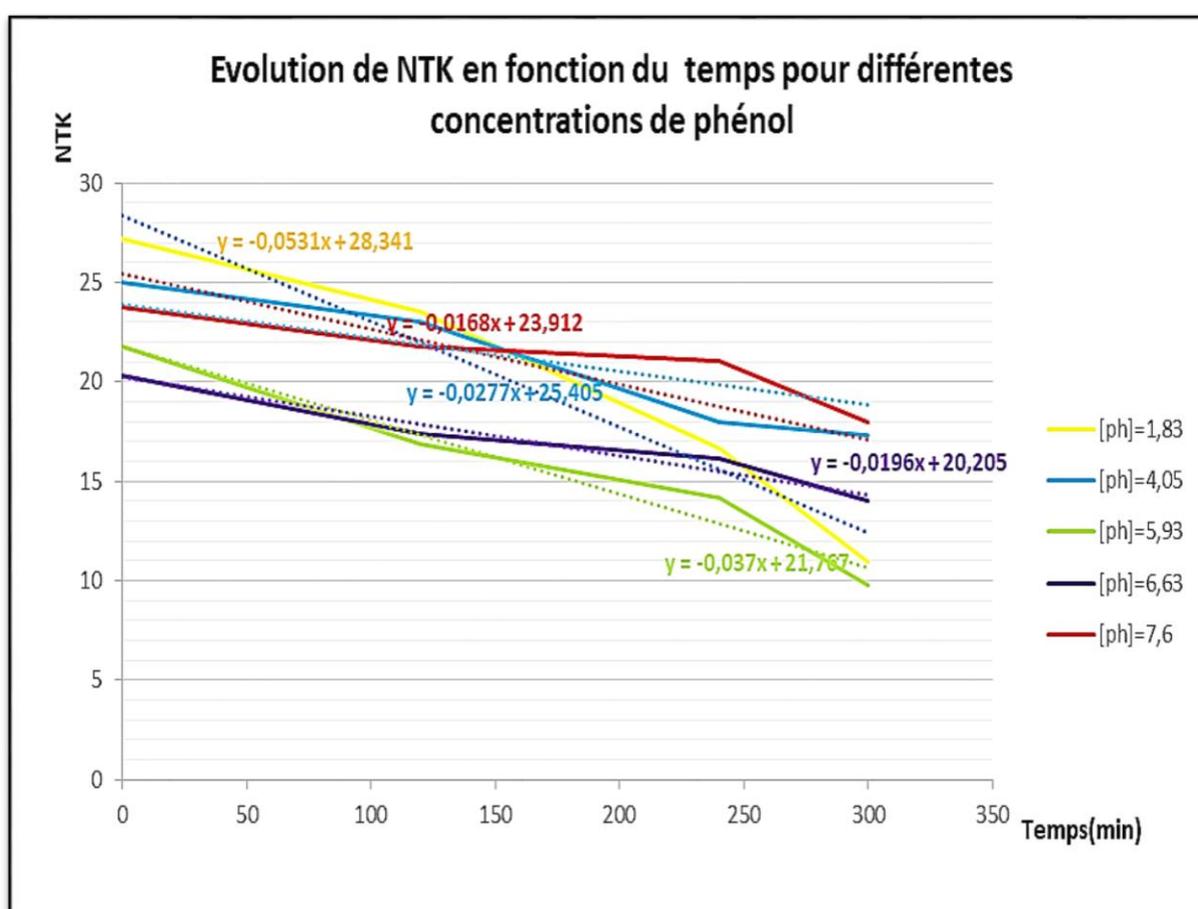


Figure 14: Evolution du NTK au cours du temps (min) pour différentes concentrations de phénol

• Analyses et interprétations :

- On remarque que l'évolution de NTK ressemble à celle de l'ammonium. Bien évidemment, ce parallélisme est normal puisque NTK représente la concentration en azote ammoniacal et organique.

- La diminution de la concentration en NTK est traduite par l'oxydation des formes azotées (le processus de nitrification a lieu).
- On observe que, plus la concentration du phénol augmente, plus la pente diminue (cinétique est faible).
- Ce ralentissement de nitrification est expliqué par l'asphyxie des bactéries qui n'assurent plus la réaction d'oxydation de l'ammonium (on n'a pas l'élimination d'azote). Cet empoisonnement est dû à l'épuisement de l'oxygène qui est utilisé pour la biodégradation des polyphénols existant.

III. Solutions pour l'extraction des phénols des eaux usées :

La présence des composés organiques toxiques tels que les phénols dans les eaux entrantes dans les STEP va contribuer à l'endommagement de ces processus de traitements. Pour éviter ce problème, on doit procéder à l'extraction du phénol dans les eaux usées par l'emploi des technologies innovatrices tel que :

❖ Traitement électrochimique :

Ce traitement consiste en une oxydation des composés phénoliques par électrolyse (décomposition chimique obtenue par le passage d'un courant électrique).

❖ Oxydation du phénol par le couplage H₂O₂/UV.

La photolyse du peroxyde d'hydrogène(H₂O₂), à des longueurs d'onde comprises entre 200 et 300 nm, provoque une coupure de la liaison O — O de la molécule de H₂O₂, et conduit à la formation de radicaux hydroxyles. Ces derniers sont des oxydants très efficaces pour éliminer la matière polluantes. (François Zaviska et al)

❖ Elimination du phénol par charbon actif :

Les filtres à charbon actif ont une construction similaire à celle des filtres à sable, on dispose le charbon actif en lit et on filtre l'eau polluée. Ceux-ci sont utilisés pour filtrer la matière organique ou les métaux lourds .Le charbon actif doit être nécessairement remplacé de façon régulière. (lennetech)

Conclusion générale:

Les stations d'épuration connaissent souvent des problèmes de dysfonctionnement et des difficultés de traitement par la biomasse au niveau des bassins d'aération. Les principaux dysfonctionnements rencontrés par la STEP sont liés à la présence des métaux lourds et aux composés toxiques tels que le phénol.

Ce stage de fin d'étude qu'on a effectué au sein de la STEP de Marrakech avait pour objectif d'étudier l'impact des phénols sur les réactions qui ont lieu au niveau des bassins biologiques. Vu que cette étape représente un traitement qui permet d'éliminer la pollution organique dissoute, il influence d'une manière déterminante la suite des étapes. D'où la nécessité d'une amélioration.

Pour atteindre cet objectif, nous avons commencé avec un diagnostic qui permet de bien visualiser et comprendre tout ce qui se passe au niveau de ces bassins biologiques.

Pour une analyse poussée visant à détecter les concentrations inhibitrices de phénol, on a procédé à des suivis journaliers de certains paramètres physico-chimiques.

Le résultat final atteint est : la concentration du phénol pour laquelle la majorité de la biomasse bactérienne est influencée se situe autour d'une valeur de 7 mg/L.

Pour se débarrasser de ces concentrations élevées en phénol on propose les solutions suivantes :

- l'utilisation du charbon actif ;
- Élimination des phénols par le traitement électrochimique, ou bien par l'oxydation par le couplage peroxyde/UV.

Même si, ces méthodes permettent d'éliminer le phénol, mais elles restent comme même limitées. Le charbon actif par exemple à un problème de suppression des molécules polaires qui sont solubles dans l'eau. Il fallait donc faire recours à des solutions de rechange plus vertueuses. Conséquemment, les équipements de la STEP sont protégés.

Ce stage a été pour nous un pourvoyeur de connaissances, tant au niveau technique qu'au niveau humain. Il nous a permis d'acquérir des compétences dans le travail du laboratoire. Ainsi, il a conforté nos objectifs pédagogiques et nos projets professionnels.

Bibliographie :

- <https://www.radeema.ma/histoire>.
- Futura science, sur : traitement des eaux par boues activées :<https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/eau-traiter-eaux-usees-procedé-boue-activee>.
- [3]: Wikipedia: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ph%C3%A9nol_\(groupe\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ph%C3%A9nol_(groupe)).
- [4] : Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique (phénols mono hydriques et di hydriques).pp1
- [5] : Fiche de sécurité chimique # 9, Fiche d'information sur le phénol, pp1.
- [6] :<https://www.lenntech.fr/phenol-environnement.htm>
- [7]: Muftah el-Naas, Taghreed Al-Khalid, 2012, Aerobic biodegradation of phenols: A comprehensive review, critical reviews in environment science and technology, pp1635.
- [8] :François Zaviska,Patrick Drougui,Guy Mercier et Jean-François,2009, procédé d'oxydation avancée dans le traitement des eaux et des effluents industriels : Application à la dégradation des polluants réfractaires, Revue des sciences de l'eau/journal of water science ,vol 22 n4,pp540 et 549.
- [9] :<https://www.lenntech.fr/adsorption.htm>

Annexe A:

paramètre	Valeurs limites générales de rejet dans les eaux superficielles ou souterraines
pH	5,5-9,5
MES(mg/L)	100
NGL(mg N/L)	40
Phosphore totale(mg P/L)	15
DCO(mg O ₂ /L)	500
DBO5(mg O ₂ /L)	100

Tableau 4: les normes de rejet des eaux selon la loi n°10-95

date	entrée de traitement secondaire= eau décantée					sortie de traitement secondaire= eau clarifiée				
	DCO	DBO5	MES	NGL	PT	DCO	DBO5	MES	NGL	PT
garantie						<100	<20	<20	<15	<17
exigence						<125	<30	<30	<20	<20
1	818	504	262	98,1	11,8	55,6	6,4	4,28	5,87	1,44
2	916	497	308	102	12,5	55,1	9,5	11,6	11,5	1,7
3	797	456	278	87,7	11,8	55,2	6,8	8,2	15,5	2,12
4	875	446	298	87,8	11,3	50	5,8	8,8	12,2	1,19
5	762	467	240	93,8	12	45,2	4,1	6	10,4	1,28
6	746	499	206	100	11,7	47	8,6	7	8,12	2,6
7	867	483	246	92,6	13,1	50,3	4,3	7,29	8,47	1,07
8	817	466	238	103	13	53,6	7,9	8,8	12,3	1,66
9	858	507	302	104	19,1	54	7,2	8,28	10,7	1,91
10	898	502	302	98,1	15	52,4	8,9	9,14	9,06	2,01
11	772	466	282	90	18,8	47,1	1,8	8,43	6,95	1,19
12	942	558	276	106	15,8	46,6	7,5	6,2	7,67	2,62
13	709	538	160	97	13,9	48	1,7	5,2	11,7	6,68
14	920	533	292	102	14,1	62	2	7,6	17,3	3,67
15	707	381	262	69,6	12,4	56,5	3,4	8,86	16,4	4,64
16	438	262	136	51,5	7,16	52	4,3	5,6	4,4	0,81
17	675	397	190	77,3	10,2	48,9	8,4	9	5,56	1,22
18	698	394	206	87,3	10,9	41,6	1,8	6,8	11,3	2,47
19	872	525	250	111	12,9	46	5,7	6,17	14,3	3,26
20	814	445	230	91,1	11,2	47,7	4,5	7	10,4	1,26
21	874	488	268	98,2	11,7	52,6	4,5	8,71	11,7	2,77
22	916	491	288	88,5	12,8	58,8	4,1	8,6	12,6	3,97
23	875	520	314	88,9	15,4	61,9	4,6	13,8	17,4	3,54
24	944	658	402	106	13,9	63,7	6,3	13,4	27,7	7,2
25	696	455	256	95,3	12,9	60,1	6,7	13,4	24,4	6,43
26	729	461	168	83,4	12,9	55,6	7,8	8,8	28,1	5,45
27	806	508	294	84,5	12,2	55,4	4,7	6,4	24,1	4,55
28	929	576	298	86,5	11,9	76,9	5,9	11	23,6	5,89
29	971	551	326	89	12,4	60,2	5,5	9,2	26,6	4,42
30	900	485	294	96,6	11,6	55,2	3,5	8,8	22,2	3,72
31	865	577	340	78	11	54,4	3,6	7,25	23,5	4,92
moyenne	820	487	265	91,77	12,82	53,9	5,4	8,37	14,58	3,15
Max	971	658	402	111	19,1	76,9	9,5	13,8	28,1	7,2
Min	438	262	136	51,5	7,16	41,6	1,7	4,3	4,4	0,8

Tableau 5: Rapport mensuel des analyses de traitement secondaire durant le mois mars 2017

Annexe B :

Temps	[ph] (mg/l)	
	Bassin contenant 6.63 mg/L de phénol	Bassin contenant 5.93 mg/L de phénol
0	6.63	5.93
60	6.58	4.56
120	5.93	2.88
180	5.25	0.751
240	3.13	0.563

Tableau 6: Fluctuations de phénols pour deux concentrations initiales différentes

Temps	[NH ₄ ⁺] (mg/l)	
	Bassin avec phénol	Bassin sans phénol
0	18	18.2
30	16.2	14.2
60	15.8	10.7
120	11.3	6.96
180	16.3	4.09
240	11.6	2.57

Tableau 7: Evolution de l'ammonium dans un bassin témoin et un bassin contenant 7,6 mg/L du phénol

Temps	[NO ₃ ⁻] (mg/l)	
	Bassin avec phénol	Bassin sans phénol
0	0.424	0.522
30	0.90	4.47
60	0.927	6.46
120	0.948	7.20
180	0.96	7.23
240	0.963	7.25
300	0.97	7.26

Tableau 8: Evolution du nitrate dans les deux bassins

	[NO₂⁻] (mg/l)	
Temps	Bassin avec phénol	Bassin sans phénol
0	0.036	0.018
30	0.938	0.035
60	1.172	0.033
120	1.21	0.062
180	1.2	0.06
240	1.22	0.063
300	1.2	0.064

Tableau 9: Evolution de nitrite dans les deux bassins

	[NTK] (mg/l)	
Temps	Bassin avec phénol	Bassin sans phénol
0	23.75	22.44
60	21.78	15.59
120	21.04	8.068
180	17.99	5.59

Tableau 10: Evolution de NTK dans les deux bassins

Annexe C :

Temps	[NH ₄ ⁺] (mg/l)				
	[ph]=1.83 mg/l	[ph]=4.05 mg/l	[ph]=5.93 mg/l	[ph]=6.63 mg/l	[ph]=7.6 mg/l
0	22.5	26	10.56	12.7	18
30	15.1	23.9	9.16	10.6	17.9
60	14.7	19.6	3.2	8.52	16.2
120	8.79	18.1	1.96	4.74	15.8
180	4.20	16.3	1.78	0.57	11.3
240	1.12	15.9	0.96	0.57	16.3
300	1.1	15.9	0.92	0.56	11.6

Tableau 11 : résultats de suivi de l'ammonium pour différentes concentrations de phénol

Temps	[NO ₃ ⁻] (mg/l)				
	[ph]=1.83 mg/l	[ph]=4.05 mg/l	[ph]=5.93 mg/l	[ph]=6.63 mg/l	[ph]=7.6 mg/l
0	0.558	0.636	0.412	0.535	0.424
30	1.06	0.846	0.994	1.49	1.18
60	3.69	1.53	7.14	2.72	0.917
120	5.19	1.53	7.06	6.64	0.948
180	7.32	2.83	7.12	8.32	0.96
240	1.77	2.35	8.66	8.5	0.963
300	1.77	1.36	8.47	8.6	0.97

Tableau 12: variation de nitrate pour différentes concentrations de phénol

Temps	[NO ₂ ⁻] (mg/l)				
	[ph]=1.83 mg/l	[ph]=4.05 mg/l	[ph]=5.93 mg/l	[ph]=6.63 mg/l	[ph]=7.6 mg/l
0	0.039	0.045	0.018	0.025	0.018
30	0.326	0.105	0.091	0.086	0.035
60	0.646	0.161	0.168	0.138	0.033
120	1.08	0.339	0.020	0.354	0.062
180	1.55	0.081	0.020	0.162	0.06
240	1.74	0.047	0.023	0.161	0.063
300	1.60	0.045	0.021	0.162	0.064

Tableau 13: variation du nitrite pour différentes concentrations de phénols

Temps	[NTK] (mg/l)				
	[ph]=1.83 mg/l	[ph]=4.05 mg/l	[ph]=5.93 mg/l	[ph]=6.63 mg/l	[ph]=7.6 mg/l
0	23.75	20.34	21.57	25	27.2
120	21.78	17.42	16.91	23	23.51
240	21.04	15.14	14.2	18	16.66
300	17.99	14	9.21	17.31	20.93

Tableau 14: variation de NTK pour différentes concentrations de phénol