

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أمحمد بوقرة بومرداس
Université M'hamed Bougara de Boumerdès



Faculté des Sciences - Département de Chimie

Domaine : Science de la matière

Filière : Chimie

Spécialité : chimie de l'eau

Mémoire de projet de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Présenté et soutenue par

M^{elle} : Sabah bencharef
(Licenciée en Chimie pharmaceutique)

28 octobre 2020

Thème

*Valorisation d'un déchet avicole appliquée
au traitement des eaux usées*

BENSAADI ZOHRA	Maitre de conférences B	FS-UMBB	Président
ATEK Dalila	Maitre de conférences B	FS-UMBB	Promoteur
DJELID Malya	Maitre assistante A	FS-UMBB	Examinateur

Remerciement

J'adresse mes infinis et sincères remerciements à l'éternel Dieu tout puissant, à qui je dois la vie et sans qui je ne serais parvenu à la réalisation de ce travail.

J'exprime également ma gratitude à **Mme Dalila ATEK** maître de conférences pour l'intérêt qu'elle a porté à mon travail, et de bien vouloir dirigé mes recherches. Merci pour votre disponibilité et vos orientations et votre patience qui ont guidés mon travail, sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Mes remerciements vont à **Mme BENSSADI Zohra** maître de conférences qui m'a fait l'honneur de présider le jury.

Que **Mme DJELID Malya** trouve ici ma gratitude d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous les professeurs qui m'ont enseigné et qui par leurs compétences m'ont soutenu dans la poursuite de mes études.

Enfin, je remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace

A mes parents

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point vous remercier comme il se doit. Votre affection me couvre, votre bienveillance me guide et votre présence à mes cotés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles

A ma chère sœur

Tu as toujours été là pour m'aider, m'encourager, que ce travail traduit ma gratitude

A mes tantes et mes cousines

Je vous remercie pour votre aide et votre générosité a mon égare puisse dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite

Et un dernier dédicace pour mon compagnon de toujours ma meilleure amie Pixou

Je suis arrivé là pour toi, pour te donner la vie que tu mérite. Je te remercie pour ses merveilles 10 ans à mes cotés dans les quelles tu été plus qu'un animal mais ma source de bonheur.

Liste des figures

Figure 1-1: Organigramme donnant les différents types des déchets.....	4
Figure 3-1: Les étapes du prétraitement.....	27
Figure 3-2: Réduction de la pollution azotée.....	32
Figure 3-3: Les étapes du traitement biologique des eaux usées	34
Figure 3-4: Relation entre la charge organique en DCO dans l'eau à traiter et le type de traitement.....	37
Figure 4-1: Mécanisme du transport d'un adsorbant au sein d'un grain du solide.....	41
Figure 4-2: Les différents types d'isotherme d'adsorption.....	41
Figure 5-1: Photographie au M.E.B des 3 charbons (A : charbon commercial ; B : charbon pyrolysé ; C : charbon activé).....	55
Figure 5-2: Adsorption d'ions Cu^{2+} et Ni^{2+} sur les différents charbons à différentes concentrations	58
Figure 5-3: Rendement d'ions Cu^{2+} et Ni^{2+} sur les différents charbons à différente.....	58
Figure 5-4: Organigramme qui illustre les différents procédés d'activation des charbons actifs.....	61
Figure 5-5: Spectres IR des matériaux bruts et des charbons actifs étudiés.....	64
Figure 5-6: Modélisation linéaire par le modèle de Langmuir de l'isotherme du BM sur NOA et NNA.	66
Figure 5-7: Modélisation linéaire par le modèle de Langmuir de l'isotherme du VB sur NOA et NNA	66
Figure 5-8: modélisation linéaire par le modèle de Freundlich de l'isotherme du BM et VB du sur NOA et NNA.....	66
Figure 5-9 : Schéma du protocole expérimental de la modification de la sciure.....	68
Figure 5-10: Représentation graphique de la cinétique d'adsorption du 4,4-DDT sur les 4 matériaux	70
Figure 5-11 : Isothermes d'adsorption du 4,4-DDT sur 4 matériaux selon le modèle de Langmuir à 21 C° et pH= 6,5ou 0,2.....	71
Figure 5-12 : Isothermes d'adsorption du 4,4-DDT sur 4 matériaux selon le modèle de Freundlich à 21 C° et pH= 6,5ou 0,2.....	72
Figure 5-13 : Isothermes d'adsorption du 4,4-DDT sur les différents adsorbants selon le modèle de Dubinin-Radushkevich à 21 C° et pH= 6,5ou 0,2.....	73

Liste des tableaux

Tableau 1-1: Composition des effluents avicoles.....	8
Tableau 2-1: Qualité d'eau selon la valeur de la turbidité	20
Tableau 2-2: Norme Algériennes des rejets industriels	24
Tableau 4-1: Comparaison des propriétés entre les types d'adsorption	40
Tableau 4-2: Différence entre le CAG et CAP.....	49
Tableau 5 -1 : Différents étapes de préparation de la matière à tester	53
Tableau 5-2 : Différentes méthodes de caractérisation des charbons actif.....	53
Tableau 5-3 : Attribution des bandes et pics des différents charbons	54
Tableau 5-4 : Résultats des essais d'adsorption du Bleu de Méthylène.....	56
Tableau 5-5 : Résultats d'optimisation du PH.....	57
Tableau 5-6 : Différentes méthodes de caractérisation des charbons actifs.....	62
Tableau 5-7 : Résultats d'optimisation des cinétiques d'adsorption.....	65
Tableau 5-8 : les résultats de la modélisation des isothermes des NOA et NNA.....	67
Tableau 5-9: de caractérisation des charbons actifs	69
Tableau 5-10 : Résultats du rendement massique des différentes sciures.....	69
Tableau 5-11 : Paramètres des isothermes de l'adsorption du 4,4-DDT sur les différents Adsorbants.....	73
Tableau 5-12: Paramètres des isothermes de l'adsorption du 4,4- DDT obtenus sur la sciure « fgr » et en présence d'acides selon les différents modèles utilisés.....	74

Liste des abréviations

- ABS** : Absorbance.
b₁ : Constante d'équilibre de Langmuir caractéristique de l'adsorbant.
BET: BRUNAUER-EMMET-TELLER.
BM : bleu de méthylènes
C : Concentration en ion métallique à l'instant t (mg/L).
C : Taux de cendres (%).
C₀:Concentration initiale (mg/l) à t=0.
C_{16H₁₈ClN₃S.3H₂O}: Bleu de Méthylène.
C_e: Concentration en ion métallique à l'équilibre (mg/L).
C_f: Concentration après adsorption (mg/l)
C_i: Concentration initiale en ion métallique à t=0 (mg/L).
C_t: Concentration après un temps de contact entre l'adsorbat et l'adsorbant (mg/l).
Cu²⁺: Ion du cuivre (cuivre bivalent).
DBO : Demande biologique en oxygène
DCO : Demande Chimique en Oxygène
H : Taux d'humidité (%).
H⁺ : Ion d'hydrogène.
H₃PO₄: Acide phosphorique.
HCl : acide chlorhydrique (chlorure d'hydrogène).
IR : Spectrométrie Infrarouge.
K, n : Constantes expérimentales de Freundlich.
m : Masse de l'adsorbant ou bien masse de fixateur (g).
m₀:Masse de l'adsorbant à t=0 (mg).
MEB : Microscopie électronique à balayage.
MES : Matière en suspension
NAA : noyaux d'abricots.
Ni²⁺ : Ion du nickel (Nickel bivalent).
NNA : noyaux de nèfles **NNABr** : noyaux de nèfles brutes
NOA : noyaux d'olives **NOABr** : noyaux d'olives brute
OH⁻ : Ion d'hydroxyde.
pH : Potentiel hydrogène.
POA : Les procédés d'oxydation avancée
Q : Capacité d'adsorption ou bien capacité de fixation par gramme d'adsorbant (mg/g).
Q_e: Capacité d'adsorption à l'équilibre (capacité de fixation par gramme d'adsorbant à l'équilibre) (mg/g).
Q_m : Capacité d'adsorption ultime (mg/g).
R : Rendement en pourcentage (%).
R₂: Coefficient de régression.
SM : Solution mère.
T : Taux d'élimination.
t : Temps (mn).
t₀: Temps à l'instant initial (min).
UV-Visible : Spectrophotomètre ultra violet visible.
VB: vert brillant
x : Quantité des ions métalliques fixés (adsorbés) (mg).
x/m : Quantité du soluté adsorbée par unité de masse d'adsorbat (mg/g).
X₀ : Masse d'impuretés adsorbées par la première couche par unité de charbon (mg).
ZnCl₂ : Chlorure de zinc.
λ : Longueur d'onde (nm).



Sommaire

Remerciement.....	i
Dédicace	ii
Liste des figures.....	iii
Liste des tableaux.....	v
Liste des abréviations.....	vi
Introduction générale.....	1

Chapitre 1 : Généralités sur les déchets avicoles

1.1. Introduction	3
1.2. Catégorisation des déchets en Algérie.....	3
1.2.1. Catégorisation des déchets suivant leur origine.....	4
1.2.1.1 Les déchets ménagers	4
1.2.1.2 Les déchets de marchés	5
1.2.1.3 Les déchets hospitaliers.....	5
1.2.1.4 Les déchets solides industriels	5
1.3. Définition d'un déchet avicole.....	5
1.4. Classement des déjections avicoles	6
1.4.1. Déjections liquides.....	6
1.4.1.1 Les lisiers	6
1.4.1.2 Les urines.....	6
1.4.1.3 Les jus d'ensilage.....	6
1.4.1.4 Les purins.....	7
1.4.2. Déjections pâteuses à sèches	7
1.4.3. Elimination gazeuses	7
1.5. Composition moyenne chimique des déchets avicoles.....	8
1.6 Facteurs de variation de la composition des déjections avicoles.....	8
1.7. Impact des déchets d'élevage sur l'environnement et la santé.....	9
1.7.1. Impacts sur l'environnement	9
1.7.1.1 L'espace physique.....	9
1.7.1.2 L'esthétique urbaine	9
1.7.1.3 La couche d'ozone.....	9
1.7.1.4 Pollution de l'air.....	9
1.7.1.5 Pollution de l'eau et du sol	10
1.7.2. Impacts sur la santé	10
1.7.2.1. Dégagement des gaz toxiques.....	10
1.7.2.2. Prolifération des vecteurs de maladies.....	10
1.7.2.3. Prolifération des rongeurs	10
1.8 Procédés de traitement des déjections avicoles.....	10
1.9 Références bibliographiques du chapitre 1	12

Sommaire

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

2.1. Introduction	13
2.2. Définition des eaux usées	13
2.3. Origine des eaux usées	14
2.3.1. Les eaux usées domestiques	14
2.3.2. Les eaux usées pluviales.....	14
2.3.3. Les eaux agricoles.....	14
2.3.4. Les eaux usées industrielles.....	15
2.3.3.1 Eaux résiduaires chimiques	15
2.3.3.1. a. Eaux résiduaires des industries pharmaceutiques.....	15
2.3.3.1. b. Eaux résiduaires des industries textiles	15
2.3.3.1. c. Eaux résiduaires des savonneries et des fabriques de détergents.....	15
2.3.3.2 Eaux résiduaires des industries pétrolières.....	16
2.3.3.2. a. Eaux résiduaires de forage	16
2.3.3.2. b. Eaux résiduaires des raffineries	16
2.3.3.2. c. Eaux résiduaires d'installation pétrochimiques.....	16
2.4. Types de pollution des eaux industriels.....	16
2.4.1. Pollution biologique	16
2.4.2. Pollution physique	16
2.4.2.1 Pollution mécanique.....	17
2.4.2.2 Pollution thermique	17
2.4.2.3 Pollution radioactive.....	17
2.4.3 Pollution chimique.....	17
2.4.3.1. Pollution organique.....	17
2.4.3.1. a. Hydrocarbures.....	18
2.4.3.1. b. Phénols.....	18
2.4.3.2. Pollution minérale.....	18
2.4.3.2. a. Métaux lourds.....	18
2.4.3.2. b. Cyanure	19
2.4.3.2. c. Pollution azoté	19
2.4.3.2. d. Pollution par le phosphore	19
2.5. Les paramètres caractérisant la pollution des eaux usées	19
2.5.1. Paramètres physiques.....	19
2.5.1.1. La turbidité.....	19
2.5.1.2. Odeur.....	20
2.5.1.3. Couleur.....	20
2.5.1.4. Le pH	20
2.5.1.5. Température.....	20
2.5.1.6. Conductivité électrique.....	21
2.5.1.7. Matières en suspension.....	21
2.5.2. Paramètres chimiques	21
2.5.2.1. Demande chimique en oxygène (DCO).....	21

Sommaire

2.5.2.2. Demande chimique en oxygène (DBO ₅).....	21
2.5.2.3. Carbone total organique COT.....	21
2.5.3. Paramètre de toxicité.....	22
2.5.3.1. Les micropolluants.....	22
2.5.3.1.1. Les micropolluants organiques	22
2.5.3.1.1. a. les paramètres biologiques.....	22
2.5.3.1.2. Les micropolluants inorganiques (minéraux).....	22
2.6 Biodégradabilité des effluents industriel.....	23
2.7 Références bibliographiques du chapitre 2.....	25

Chapitre 3 : Les différents types de traitement des eaux usées

3.1. Introduction	26
3.2. Prétraitement.....	26
3.2.1 Le dégrillage.....	26
3.2.2 Le dessablage.....	26
3.2.3 déshuilage/dégraissage.....	26
3.3. Traitement primaire	27
3.3.1. Coagulation / floculation	27
3.3.2 Flottation	27
3.3.3 Décantation primaire.....	28
3.4. Traitement secondaire (Le traitement biologique des eaux usées).....	28
3.4.1. Clarification.....	29
3.4.2. Le devenir des boues d'épurations.....	30
3.5. Traitement tertiaire	30
3.5.1 Réduction des matières en suspension et de la pollution organique biodégradable.....	31
3.5.2 Réduction de la pollution organique non biodégradable.....	31
3.5.3 Réduction de la pollution azotée.....	31
3.5.3.1 L'azote organique(N).....	31
3.5.3.2. L'azote ammoniacal (NH ₄ ⁺).....	31
3.5.4 Réduction de la pollution phosphorée : la désphosphatation.....	33
3.5.5 Élimination des germes pathogènes ou parasites.....	33
3.5.6 La chloration.....	35
3.5.7 Les rayons ultraviolets.....	35
3.5.8 L'ozonation.....	35
3.5.9 Les procédés d'oxydation avancée(AOP).....	36
3.7 Références bibliographiques du chapitre 3	38

Chapitre 4 : Phénomène d'adsorption - application au traitement des eaux usées

4.1. Introduction	39
-------------------------	----

Sommaire

4.2. Généralités sur l'adsorption	39
4.2.1. Les différents types d'adsorption	39
4.2.1.1 L'adsorption chimique: (Chimisorption).....	39
4.2.1.2 L'adsorption physique :(Physisorption).....	40
4.2.2 Principe.....	40
4.2.3. Les isothermes d'adsorption	41
4.2.3.1 Les différents types d'isotherme	41
4.2.3.2 Modélisation des isothermes d'adsorption	42
4.2.3.3 Cinétique d'adsorption.....	44
4.2.4 Facteur influençant l'adsorption.....	46
4.2.5 Différents types d'adsorbant	47
4.3 Application de l'adsorption.....	49
4.4 Application au traitement des eaux.....	49
4.5 Références bibliographiques du chapitre 4.....	51

Chapitre 5 : Travaux antérieurs

5.1. Introduction	52
5.2. Résultats de quelques travaux	52
5.2.1 Premier travail	52
5.2.1.1 But de l'étude.....	52
5.2.1.2 Préparation de la matière à tester	52
5.2.1.3 Les différentes méthodes utilisées pour la caractérisation de ce matériau.....	53
5.2.1.4 Les essais d'adsorption du bleu de méthylène sur les matériaux étudiés	56
5.2.1.5 Les essais d'adsorption des ions Cu^{2+} , Ni^{2+}	57
5.2.1.6 Optimisation du pH des métaux par les deux charbons choisis	57
5.2.1.7 Cinétique d'adsorption des ions Ni^{2+} et Cu^{2+} sur les deux charbons choisis.....	58
5.2.1.8 Conclusion.....	59
5.2.2 Second travail	60
5.2.2.1 But de l'étude.....	60
5.2.2.2 Préparation de la matière à tester	60
5.2.2.3 Les différentes méthodes utilisées pour la caractérisation	60
5.2.2.4 Etude de l'élimination des colorants par adsorption	64
5.2.2.5 Influence des paramètres suscités sur la capacité d'adsorption des deux colorants	68
5.2.2.6. Modélisation des isothermes d'adsorption	69
5.2.2.7 Conclusion	67
5.2.3 Troisième travail	68
5.2.3.1 But de l'article	68
5.2.3.2 Préparation de la matière à tester	68
5.2.3.3 Caractéristiques des matériaux utilisés et appareil utilisé.....	69
5.2.3.4 Les essais d'adsorption en réacteur discontinu	69
5.2.3.5 Cinétique d'adsorption.....	70

Sommaire

5.2.3.6 Déterminations des Isothermes d'adsorption	70
5.2.3.7 Influence de la présence de la matière organique naturelle.....	74
5.2.3.8 Conclusion.....	75
5.3 Références bibliographiques du chapitre 5.....	76
Conclusion générale	77

Introduction

L'eau c'est la vie, cependant cette richesse inestimable se fait de jour en jour plus rare à cause de l'augmentation mondiale de consommation. De ce fait, nous avons besoin de la protéger et la conserver pour sauver l'humanité et notre planète.

L'explosion démographique engendre une libération massive de déchets de tout sort, ce qui contamine les eaux de surface spécialement et l'environnement en général. Pendant longtemps, les effluents sont rejetés dans la nature sans de réelles précautions ou traitements.

En effet, la prévention durable de l'environnement et de l'eau nécessite une gestion des déchets et traitements de ces eaux rejetées. Pour cela, plusieurs techniques sont mises à l'emploi, cependant certaines d'entre elles sont excessivement chères et ne sont pas à la portée de tout les pays. On peut citer quelques unes : la coagulation, la floculation, la décantation, la biodégradation, la filtration, l'ozonation et l'adsorption qui est la technique la plus favorable pour l'élimination des micropolluants, elle consiste à les piéger dans le matériau qui s'appelle l'adsorbant. Le charbon actif est l'adsorbant le plus couramment utilisé, dont l'activation et la régénération sont deux étapes délicates et coûteuses. Dans ce contexte, l'intérêt de trouver des adsorbants renouvelables, non coûteux et facilement manipulables s'avère important.

Pour faire face à notre problématique, on a choisis le thème de la valorisation des déchets avicoles dans le traitement des eaux usées qui est la combinaison entre deux procédés différents qui reste relatifs et qui sont : traitement des eaux usées et la gestion des déchets. Nous nous sommes intéressés aux déjections avicoles car elles ont été utilisées traditionnellement comme engrais organiques fertilisants par l'épandage dans le sol. Leur potentiel autant qu'adsorbants n'a jamais été testé, exigeant toujours un traitement spécifique afin de mieux assurer leur valorisation.

Notre travail avait comme objectif l'estimation de ce potentiel mais, vue la situation sanitaire actuelle, du pays et du monde entier ; les conséquences de cette pandémie du COVID19 ne nous a pas permis d'arriver au bout de notre étude qui est la détermination du pouvoir adsorbant de ce matériau.

La démarche de notre étude néanmoins se subdivise en deux parties principales :

Introduction

Une partie théorique constituée de quatre chapitres. Dans le premier, on a parlé d'une manière générale sur les déchets avicoles, par la suite on a mis l'accent sur les eaux usées et les différents types de pollution apparue au deuxième chapitre.

Dans le troisième chapitre, l'intérêt s'est focalisé sur les différents types de traitement des eaux usées en mettant l'accent sur le traitement par adsorption.

Le dernier chapitre de la partie théorique se porte sur le phénomène d'adsorption appliqué au traitement des eaux usées qui se trouve être le traitement à suivre dans la pratique de ce mémoire s'il y n'avait pas le corona.

La deuxième partie de notre mémoire est consacré au résumé des travaux antérieurs se rapportant le même thème que le notre.

Une conclusion est donnée à la fin de ce travail

1.1. Introduction

La production animale fait partie intégrante de l'agriculture et du développement rural et durable. Elle joue un rôle fondamental dans la sécurité alimentaire, la conservation de la biodiversité et des ressources naturelles. L'élevage représente environ 40 % de la production agricole mondiale en 2008. L'aviculture quant à elle représente 30 % de la production animale. Ses produits assurent plus de 50% de la ration alimentaire moyenne d'origine animale en Algérie.[1]

L'aviculture en Algérie a connu au cours des vingt-cinq dernières années un essor considérable .La production de viande de volaille est passée à 5,3 millions de quintaux (Mqt) en 2017, contre 2,092 Mqt en 2009, soit une augmentation de 153%,; parallèlement, la consommation annuelle de viande de volaille par habitant a évolué de 10kg de viande blanche en l'an 2000, avec 30 millions d'habitants à 20kg/habitant avec une population de 42 millions, [2].

La viande blanche contribue actuellement à plus de 50 % de la consommation totale de viande en Algérie [2]; ce secteur génère donc une quantité importante de déchets. Les mesures de traitement sont peu développées et les déchets sont souvent déposés anarchiquement dans les décharges publiques avec des conséquences négatives sur la santé de la population limitrophe [2-4].

Certains sont aussi déversés dans le milieu naturel. Ces différentes destinations entraînent des situations à risque pour l'homme et les animaux, car elles contribuent à une pollution microbiologique de l'environnement (épandage et rejets dans le milieu naturel)[1].

Pendant des millénaires, culture et élevage ont été associés pour améliorer la fertilité des sols, grâce à l'utilisation des déjections animales comme fertilisant, et en particulier les fientes des volailles (canard, pigeons, poulet...). Ils permettent de réaliser des économies d'intrants en favorisant la vie et le maintien du taux de matière organique des sols (fumiers, composts) [1].

1.2. Catégorisation des déchets en Algérie

Plusieurs types de déchets sont communément produits dans les différentes localités du pays. Ceux-ci, peuvent être classés suivant leur origine ou suivant la nature du danger auquel ils exposent l'homme ou son environnement.

1.2.1 Catégorisation des déchets suivant leur origine

Suivant leur origine, on rencontre quatre classes de déchets en Algérie :

1.2.1.1 Les déchets ménagers :

Les déchets des ménages sont liés à l'activité domestique. Il s'agit notamment des déchets dégradables de l'alimentation. Ils comprennent les ordures ménagères au sens strict, les encombrants et les déchets de jardinage, ou déchets verts. Seuls les ordures ménagères et les déchets verts sont susceptibles d'être valorisés en agriculture après un traitement adéquat. La composition des ordures ménagères étant très hétérogène, il faut regrouper les constituants en catégories physiques homogènes. La classification détaillée comporte dix catégories, mais une classification simplifiée en cinq catégories peut être utilisée. Cette dernière comprend les matières fines inférieures à 20 mm, les matières combustibles (chiffons, plastiques, os, bois), les matières inertes (métaux, verres, porcelaine, faïence), les matières fermentescibles (restes de végétaux, viandes), les papiers et cartons (combustibles ou fermentescibles) [7].

L'organigramme suivant illustre clairement la classification de ce type de déchet [8].

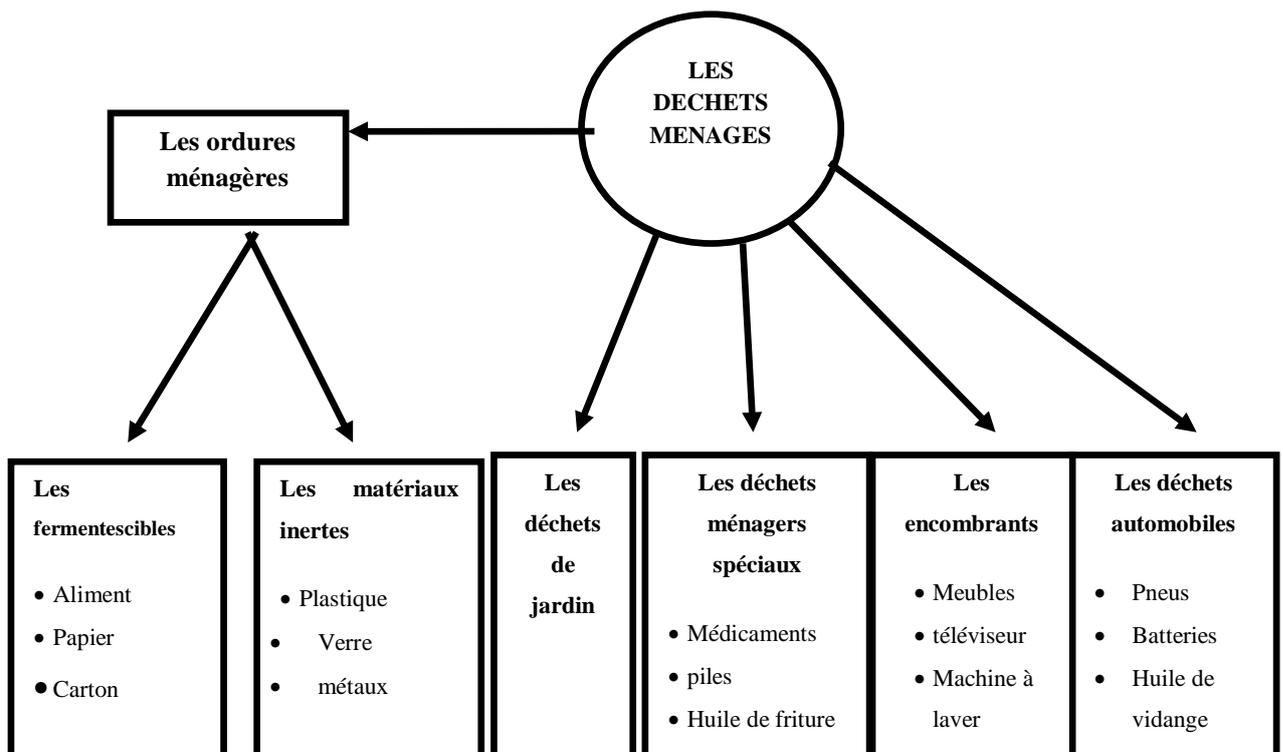


Figure 1-1: Organigramme donnant les différents types de déchet [8].

1.2.1.2 Les déchets de marchés :

Les déchets de marchés sont liés à l'activité commerciale. Ils comprennent les ordures issues du commerce des vivres, les emballages, les bouteilles, etc. [7].

1.2.1.3 Les déchets hospitaliers :

Les déchets médicaux désignent d'une manière générale les déchets issus d'une activité de soin à l'hôpital, dans des structures médicalisées. Ils sont souvent classés en deux catégories principales, selon leur degré de dangerosité : d'une part, les déchets médicaux assimilables aux déchets ménagers (comme les emballages), sans risque direct pour la santé des personnes ou pour l'environnement qui représentent environ 80 % de la production totale et d'autre part, les déchets médicaux présentant un risque infectieux ou sanitaire pour les 20 % restants [9]

1.2.1.4 Les déchets solides industriels :

Les déchets industriels proviennent des industries et des usines. Dans cette classe, entrent par exemple les déjections de poules pondeuses (Poulaillers des grandes fermes).

Les déchets industriels semi-solides tels que les déjections de poules pondeuses ont des compositions très variables. Cette variabilité est surtout liée à la teneur en matière sèche de l'effluent. Ces déjections présentent de grandes qualités de fertilisation et leurs caractéristiques physiques détermineront les modalités d'épandage [7].

1.3 Définition d'un déchet avicole

Le déchet de point de vue environnemental est le plus proche des problématiques de santé publique, par le lien qui rapproche les nuisances environnementales des problèmes sanitaires, il est comme une menace, un risque dès que l'on envisage son contact, direct ou après traitement, avec l'environnement. Cette approche a fortement influencé la réglementation relative aux déchets, le premier objectif de gestion étant de prévenir ou de réduire leur production et leur nocivité.

Dans l'approche économique, le déchet est de plus en plus considéré comme une richesse potentielle dont on peut, grâce à des techniques novatrices, extraire une nouvelle valeur apte à réintégrer le circuit économique.

Dans l'approche fonctionnelle, le déchet est comme un flux de matières issues d'une «unité fonctionnelle» représentée par une activité ou un ensemble d'activités. Cette unité a pour but de fabriquer un produit et fonctionne avec des flux d'entrée et de sortie. Parmi ces flux de sortie, non assimilables directement par le milieu naturel, on retrouve également les effluents. [5].

On appelle un effluents d'élevage tout déchet issu d'une activité d'élevage quelque soit sa nature. Les effluents d'élevage (fumiers et lisiers...) comportent des éléments fertilisants et de la matière organique nécessaires au sol et aux cultures. Bien les valoriser permet de faire des économies d'intrants tout en respectant l'environnement. [6].

1.4 Classement des déjections avicoles :

Les déjections avicoles peuvent se classer en trois grands types :

- Des produits liquides (lisiers) issus de l'élevage des poules pondeuses et des canards.
- Des produits pâteux à secs (fientes) issus de l'élevage des poules pondeuses.
- Elimination gazeuses issus de la méthanisation des fumiers ou les odeurs qui se dégagent des litières.

1.4.1 Déjections liquides :

Nous trouvons dans cette catégorie :

1.4.1.1 Les lisiers : On distingue ici les lisiers liquides qui sont un mélange liquide d'urines, d'eaux d'élevages avec quelques déchets de litière. C'est un mélange homogène. Sa teneur en matière sèche (MS) est inférieure à 13 %. De plus on a aussi des lisiers pailleux qui sont un mélange liquide et solide hétérogène, de même composition que le lisier liquide mais la paille est présente en grande quantité. Sa teneur en MS varie de 10 % à 20 % Les lisiers présentent différentes contraintes environnementales par leur richesse en nitrates et certains métaux tels que le cuivre et le zinc [9].

1.4.1.2 Les urines : Dans certains élevages pilotes, on pratique la séparation des urines et des fèces en mettant les animaux sur caillebotis. On récolte alors les urines indépendamment. Leur traitement et leurs utilisations en seront facilités : les urines sont épandues et les fèces séchées sont compostés

1.4.1.3 Les jus d'ensilage : ce sont des effluents de silo rejetés lors de la confection de ces derniers. La quantité produite est inversement proportionnelle à la matière sèche du fourrage à ensiler (les quantités de jus sont maximales pour des taux de matières sèches faibles) [10].

1.4.1.4 Les purins : Le purin est un déchet liquide produit par les élevages . Il est constitué principalement d'urines ; de la phase liquide s'écoulant d'un tas de fumier. Contrairement au lisier qui contient près de 10 % de matières sèches, le purin possède un maximum de 5% de matières solides, ce qui peut en faire un support adapté pour la macération de substances (plantes, algues) utilisées en agriculture biologique ou régénératrice. Il a cependant été régulièrement utilisé comme engrais et permet un apport de potassium non négligeable [10].

1.4.2 Déjections pâteuses à sèches :

Dans cette catégorie nous avons :

A. Les fumiers: Le fumier est une matière organique qui provient des excréments et d'urine mélangés à de la litière, il est utilisé comme fertilisant vu sa composition élevée de matière organique et nutriments et notamment l'azote [1]

B. Les fientes : elles sont constituées de fèces, d'urines, de plumes, d'œufs ou de coquilles d'œuf, et de litière. C'est un mélange hétérogène, l'aspect des fientes varie en fonction de leur humidité :

- de 15 à 20% d'humidité, elles sont sèches, poussiéreuses, gris clair, elles sont plus volontiers appelées " fumier", et concernent les volailles de chair.

- à 70% d'humidité, elles sont visqueuses, magmatiques, et très foncées, on parle alors de fientes de poules pondeuses.

1.4.3 Elimination gazeuses :

Les éliminations gazeuses sont loin d'être négligeables, parmi elles, on distingue [11] :

A. Méthane (CH₄) : Le méthane est produit lors de la méthanisation des fumiers .Cette méthanisation dégage aussi du dioxyde de carbone

B. Ammoniac (NH₃) : Du fait de son odeur nauséabonde, l'ammoniac est à l'origine de nombreux désagréments, comme la pollution de l'air. Ainsi l'ammoniac se dégage des litières avicoles, à l'origine de l'odeur acide dans les bâtiments d'élevage, mais aussi à partir du traitement des déjections animales (stockage, brassage, et épandage). L'utilisation de couvertures de fosses et l'enfouissement immédiat après épandage limitent considérablement les pertes Le NH₃ dans les bâtiments d'élevage peut être à l'origine de l'affaiblissement des mécanismes immunitaires des animaux

C. Hydrogène sulfureux (H₂S) : Il se dégage lors du mélange du lisier et des jus d'ensilage

1.5 Composition moyenne chimique des déchets avicoles :

La composition chimique des fientes est très variable. Cependant, on peut donner des valeurs moyennes (Tableau 1-1). Les facteurs de dilution peuvent aussi modifier la composition des fientes

Valeurs exprimées par kg de produit brut	Fientes sèches de poules pondeuses	Fumier frais de poulets et dindes	Fumier stocké de poulets et dindes	Compost de fumier de volailles
Matières sèche (%)	80	57	39	63
Matière organique (g/kg)	580	440	280	440
Azote total (g/kg)	40	25	16	23
N-NH ₄ (g/kg)	4	6	3	6
P ₂ O ₅ (g/kg)	36	16	16	28
K ₂ O	25	19	18	24
Cu (g/kg)	68	54	45	124
Zn (g/kg)	422	92	120	288

Tableau 1-1 : Composition des effluents avicoles [12]

Ils se distinguent globalement par des teneurs en matière sèche, azote et phosphore élevées

1.6 Facteurs de variation de la composition des déjections avicoles :

La composition des déjections avicoles dépend d'un grand nombre de facteurs de variation. On cite parmi eux :

- La qualité et la quantité de l'alimentation donnée
- La qualité de l'eau donnée
- Le poids de l'animal
- L'ajout des antibiotiques et vaccins
- L'entretien des bâtiments d'élevage
- L'aération des bâtiments d'élevages

Dans la plupart des cas, c'est le taux de matières sèches qui est affecté. Or, la teneur en matières sèches influence la concentration en éléments fertilisants. Elle joue également un rôle dans l'évolution de la teneur en azote, dans la mesure où elle est un facteur important de variation des fermentations. En effet, celles-ci conduisent à des pertes d'azote sous forme de dégagement d'ammoniac. La teneur en matières sèches dépend elle-même de nombreux

facteurs. Notamment, l'aménagement du bâtiment, la ventilation du poulailler, le matériel d'abreuvement. [13]

1.7. Impact des déchets d'élevage sur l'environnement et la santé:

Parmi les problèmes générés par l'intensification de l'aviculture, le problème des déjections est le plus crucial, car elles sont à l'origine de nuisances olfactives et de pollutions du sol et de l'eau.

La gestion des fientes de poules pondeuses est une préoccupation importante dans les grandes fermes de notre pays. L'ampleur des effets est liée aux propriétés physico-chimiques des polluants, aux quantités déversées, au mode de traitement affecté aux déchets et aux facteurs environnementaux [7].

C'est pourquoi il paraît désormais important de mieux connaître les déjections avicoles de façon à mieux les valoriser.

1.7.1 Impacts sur l'environnement :

1.7.1.1. L'espace physique :

L'entassement des fientes de poules provoque des encombrements, occasionne les embouteillages au niveau de la circulation du personnel. Il contribue à l'obstruction des voies de drainage des eaux pluviales et usées.

1.7.1.2. L'esthétique urbaine :

Les poulaillers en général posent la plupart du temps un problème de prolifération des mouches, provenant de la dégradation des sous-produits avicoles.

1.7.1.3. La couche d'ozone :

L'incinération des ordures provoque les dégagements de certains gaz comme le NO, NO₂, CO, CO₂, ... qui sont destructeurs de la couche d'ozone. L'entassement des fientes (sans retournement) sur place, provoque des réactions de fermentation anaérobique avec production de méthane qui est un gaz à effet de serre (GES) et destructeur de la couche d'ozone. . [7].

1.7.1.4. Pollution de l'air :

Les mauvaises odeurs pourraient être potentiellement véhiculées par les particules de poussières issues des poulaillers.

De manière générale, les polluants qui présentent des caractères de persistance et de bioaccumulation constituent une préoccupation particulière de santé publique [7], Inhalés ou ingérés à longueur de journée, ils peuvent contribuer à :

- l'augmentation du taux de maladies (leucémies) et des nuisances olfactives;
- altération des capacités psychiques (fatigue) et physiologiques (troubles de tension artérielle, lésions des cellules sanguines et leurs organes producteurs) [7].

1.7.1.5. Pollution de l'eau et du sol :

Les fientes de poulaillers sont souvent sources de pollutions des sols et de l'eau par des ruissellements. De plus celle-ci peuvent avoir un impact majeur sur la pollution de la nappe phréatique. Lors des déversements, d'égouttures et/ou de fuites de produits, les eaux usées peuvent aussi être chargées de polluants potentiels en quantités importantes à l'instar des nitrates, phosphores, et autres.

En général, ces substances favorisent la consommation en oxygène du milieu, diminuent l'efficacité des systèmes d'épuration biologiques et les échanges gazeux air/eau, s'accumulent et créent des dépôts pouvant entraîner un dysfonctionnement des systèmes d'assainissement. Leurs propriétés, souvent toxiques pour les organismes vivants peuvent détruire les écosystèmes et interdire l'utilisation de la ressource en eau pour de nombreuses générations [7].

1.7.2. Impacts sur la santé

1.7.2.1. Dégagement des gaz toxiques :

L'incinération des tas fientes de poules en plein air provoque le dégagement de certains gaz comme le CO₂ (Dioxyde de carbone), SO₂ (dioxyde de soufre), CH₄ (Méthane) et des poussières très nocifs pour les animaux et les êtres humains.

1.7.2.2. Prolifération des vecteurs de maladies :

L'entassement des fientes de poules sans retournement provoque les dégagements des odeurs nauséabondes, lesquelles attirent les mouches et les moustiques, vecteurs de multiples maladies.

1.7.2.3. Prolifération des rongeurs :

Les rats et les souris aiment fabriquer leurs refuges dans les sous-produits avicoles.

1.8 .Procédés de traitement des déjections avicoles

Différentes techniques de traitement des déjections avicoles sont actuellement rentables. L'objectif est de limiter leurs effets néfastes sur l'environnement et d'améliorer leur valorisation. Ces méthodes visent ainsi à optimiser la qualité chimique et microbiologique des fientes :

• **La méthanisation** : est un procédé de dégradation de la matière organique (MO) par des bactéries en absence d'oxygène, produisant du biogaz. Cette réaction se déroule naturellement dans certains milieux où les conditions sont réunies (sédiments marins, marais, tourbières, panse des ruminants, etc.). Ce processus est également appelé la digestion anaérobie. Les déjections avicoles sont particulièrement intéressantes à utiliser quand elles sont produites en quantités importantes et régulières. Les fumiers et fientes sont adaptées à la méthanisation, compte tenu de les états physique et chimique (matières fines, facilement hydrolysable et contenant des microorganismes) qui facilitent leur manipulation et qui permettent d'être en Co-digestion avec d'autres substrats [14].

• **Compostage** : procédé biologique de dégradation et de réorganisation de la matière organique. Cette biodégradation s'effectue généralement sous l'action de microorganismes aérobies décomposeurs, le compost est utilisé pour l'amendement des sols, la fertilisation des cultures sur sol y compris en culture hors sol [15].

• **Le vermicompostage (lombricompostage)** : est un procédé de bio oxydation et stabilisation de la matière organique grâce à l'action combinée des microorganismes et des lombriciens, il donne un compost qui ne requiert pas de phase thermophile caractéristique du compostage. Ce compost appelé lombricompost est de haute qualité notamment en raison de son excellente structure granulaire. (Ce procédé est plus rapide que le compostage, c'est le passage du substrat par les intestins des vers de terre qui sont riche en microorganismes et en régulateurs de croissance; il s'agit d'une différence de rapidité significative mais pas encore bien compris [11].

• **L'épandage du fumier** : une méthode pratiquée, qui utilise peu de fumier, et qui facilite l'absorption rapide des éléments nutritifs par les jeunes racines. Une fois le fumier épandu sur une planche, on observe un changement rapide dans l'aspect des plantes les jours qui suivent [16].

1.9. Bibliographie

- [1] cours Zootech l'école nationale vétérinaire EL Harrache 3em année
- [2] - A. El Moutawakil - Problèmes de la décharge de Kénitra. - Actes du Séminaire sur le Compostage et la Gestion des Décharges, Kénitra, Maroc, (1995) 103-112
- [3] S.Djamer «Contribution à la connaissance et à la gestion des déchets d'abattoir- Cas de l'abattoir de l'Office Régionale Avicole du Centre (ORAC) de TABoukirt, Wilaya de Tizi- Wilaya de Tizi-Ouzou» Master Université de Tizi-ouzou
- [4] - M. Benzakour, R. Saissi, G. Didier - Situation actuelle et évolution de la gestion des déchets solides au Maroc/Expérience pilote de la mise en place d'une décharge contrôlée à Essaouira. (2003), 3 p.
- [5] : METRAS R., - Utilisations et dangers sanitaires microbiologiques liés aux effluents d'élevage. Thèse de doctorat de l'école nationale vétérinaire de Lyon.150 pages. 2003
- [6] Jean-François Fortier , Arnaud Florentin, Denis Terver 24.04.2020 defintion d'effluent a consulté a l'adresse suivante <https://www.aquaportail.com/definition-4163-effluent.html>
- [7] : LEKEFACK Jean Paul « Evaluation de la gestion des fientes de poules pondeuses : cas de la grande ferme du GIC AECAM de MENDONG », Master Professionnel en Sciences de l'Environnement, UNIVERSITE DE YAOUNDE I, 2015
- [10] ITAVI et ITP 2005 - Institut Technique de l'AViculture et Institut Technique du Porc : étude du marché des fertilisants organique ; étude réalisée pour le compte de l'OFIVAL (Office Interprofessionnel de Viande France. 55 pages)
- [11] BECHE J M., 1991- L'élevage bovin et l'environnement: guide pratique ITEB, Paris, 250pages.
- [12] BOUGHABA Rokia theme ETUDE DE LA GESTION ET VALORISATION DES FIENTES PAR Le LOMBRICOMPOSTAGE DANS LA WILLAYA DE CONSTANTINE page 18 . 19
- [13] Techni Vol. 29, NO2 – 2006 Contexte, atouts et faiblesses des effluents porcins et avicoles destinés à être exportés
- [14] Itavi juin 2013 Estimation des rejets d'azote – phosphore - potassium calcium - cuivre – et zinc par les élevages avicoles page 11 et 12
- [15] Aboubakar , Z. Boli et C.M.F. Mbofung « Etude du potentiel biogaz des déjections animales: bouses de bovins et fientes de volailles d'un centre zootechnique à Maroua – Cameroun» Revue des Energies Renouvelables Vol. 19 N°3
- [16] Aké Hermann Thierry BIEKRE Bi Tra TIE et Denezon Odette DOGBO « Caractéristiques physico-chimiques des composts à base de sous-produits de ferme de Songon en Côte d'Ivoire » 2018 International Formulae Group
- [17] Luc Gérard ONANA ONANA « Fertilisation par le fumier de poule : l'expérience de Nkolondom » Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) et parallèlement membre du réseau AGRIDAPE Cameroun

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

2.1 Introduction

L'eau ne peut être considérée comme un simple produit commercial, elle doit être classée comme un patrimoine universel qui doit être protégée, défendue et traitée comme tel [1] L'eau est une denrée de plus en plus rare en Algérie et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, la qualité de l'eau constitue un enjeu environnemental primordial. Les polluants contenu dans les eaux usées ont des origines diverses.

Les cinq principales catégories de pollueurs sont : l'industrie, l'agriculture, les ménages, les transports et l'urbanisation.

Le rejet de ces eaux dans le milieu naturel est la principale pollution qui affecte nos cours d'eaux et plus généralement tout le milieu naturel. L'analyse de ces eaux résiduaires permet d'identifier la ou les substances indésirables qu'on doit éliminer à priori lors d'un traitement d'épuration.

2.2 Définition des eaux usées :

Il s'agit de toutes les eaux qui ont déjà servi, que ce soit à des fins domestiques (ménage, hygiène, etc.), industrielles ou autres. Elles sont collectées par les réseaux d'assainissement (égouts), les acheminent vers une station d'épuration collective, sauf quand l'habitation n'est pas reliée au réseau public, dans ce cas, elles sont reversées dans une fosse septique. En station d'épuration, elles passent par différentes étapes de dépollution avant d'être rejetées dans la nature, afin de réintégrer le cycle naturel de l'eau [1].

70 % des eaux usées sont traitées en moyenne dans les pays à revenu élevé, mais seulement 8 % dans les pays en développement. Dans le monde, 80 % environ des eaux usées sont rejetées sans traitement bien que les petites unités décentralisés de traitement se développent avec des coûts de 20 à 50 % moindres que ceux des unités dites conventionnelles. Un enjeu majeur de la gestion des eaux usées est selon l'ONU de combiner la réduction à la source de la pollution, l'élimination des contaminants et la réutilisation (sans danger) des eaux récupérées avec recyclage des sous-produits utiles, « composante essentielle d'une économie circulaire » car la « récupération des sous-produits peuvent générer de nouvelles opportunités d'affaires et permettre de récupérer de l'énergie, des nutriments, des métaux et d'autres sous-produits »[2].

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

2.3 Origine des eaux usées :

Ces eaux sont généralement formées de sous-produits d'une utilisation humaine (usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre), d'où l'usage de l'expression « *eaux usées* ». Elles ont au passage été altérées et sont considérées comme polluées et ils doivent être traitées avant le rejet dans le milieu nature. L'origine des eaux usées est diverse :

2.3.1 Les eaux usées domestiques :

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau (potable dans la majorité des cas) par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers.

Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans les égouts. Elles constituent l'essentiel de la pollution et se composent de :

- Eaux de cuisine, qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques, (glucides, lipides protides) et des produits détergents
- Eaux de buanderie, contenant principalement des détergents ;
- Eaux de salle de bains, chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement de matières grasses hydrocarbonées ;
- Eaux de vannes, qui proviennent des sanitaires (WC), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphorés et en microorganismes.[5]

2.3.2 Les eaux usées pluviales :

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulés des polluants atmosphériques, poussières détritiques, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluies, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique [6].

2.3.3 Les eaux agricoles

L'agriculture est une source de pollution non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrés et phosphatés, sous une forme ionique ou, en quantité telle, qu'il ne serait pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissèlement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues.[6]

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

2.3.3 Les eaux usées industrielles

Elles ont une composition très différente de celle des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Certaines d'entre elles nécessitent un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles se sont mêlées aux eaux domestiques que si elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution. [5]

2.3.3.1 Eaux résiduaires chimiques :

- Parmi ce type d'eau usée on distingue :

2.3.3.1. a. Eaux résiduaires des industries pharmaceutiques :

La composition des eaux de l'industrie pharmaceutique est très variable, celle-ci est dû à la diversité des matières premières employées, des procédés de production et des déchets. Les eaux résiduaires sont classées comme suit :

- Les eaux de lavage présentant une DBO₅ de 600mg/l et une forte charge en matières solides (8000mg/l), leur volume s'élève à environ 1.7 m³ de bouillon de culture traité.
- Les eaux de lavage polluées chimiquement par des acides, des bases et des solvants.
- Les décharges des condenseurs par injection.

2.3.3.1 b . Eaux résiduaires des industries textiles :

On distingue deux productions d'eaux résiduaires dans le processus d'affinage des textiles ; la première lors des opérations de cuisson et de lavage (lavage de laine, blanchiment du coton, rouissage du lin, dégomme de la soie) et la seconde lors des opérations de blanchiment de teinture.

2.3.3.1 c .Eaux résiduaires des savonneries et des fabriques de détergents :

Différentes eaux résiduaires provenant de l'épuration des graisses brutes :

- Des eaux sous- lessives résultats de la saponification
- Des eaux de lavage
- Des eaux de condensation, de rinçage et de refroidissement.

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

2.3.3.2 Eaux résiduaire des industries pétrolières : [7]

2.3.3.2 a. Eaux résiduaire de forage :

Elles sont de natures différentes : Des eaux salées, boues de forage, eaux de pluie, eaux de lavage contenant (d'huile...) et eaux provenant des installations sanitaires.

2.3.3.2 b. Eaux résiduaire des raffineries :

La nature des eaux de traitement dépend de la composition du pétrole brut, de type de produits élaborés et de mode opératoire, les eaux résiduaire produites dans les raffineries de pétrole sont : les eaux sanitaires, eau de pluie, eau de refroidissement, eau résiduaire directes, eaux résiduaire de traitement, contrôle, stockage, épuration.

2.3.3.2 c. Eaux résiduaire d'installation pétrochimiques :

Elles contiennent en générale de l'huile minérale devrait être, si possible épurées avant leur évacuation.

2.4 Types de pollution des eaux industriels

2.4.1 Pollution biologique :

La pollution biologique se traduit par une forte contamination bactériologique ce qui pose de graves problèmes d'hygiène publique. Plusieurs cas d'épidémie, notamment de choléra, de typhoïde et de dysenterie, sont directement liés à cette contamination.

La contamination des eaux par des matières organiques pose aussi de sérieux problèmes à la biocœnose aquatique. Les mollusques sont particulièrement sensible aux polluants biodégradables et sont d'ailleurs utilisés comme bio-indicateurs de pollution organiques .issus des rejets des égouts urbains ; mais proviennent aussi de certaines industries hautement polluantes : abattoirs, laiteries, fromageries, sucreries [2].

2.4.2. Pollution physique

C'est une pollution due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau), elle est d'origine domestique, essentiellement industrielle. On peut la répartir en trois classes: mécanique, thermique et radioactive [3,4].

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

2.4.2.1 Pollution mécanique

Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les eaux industriels, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension MES.

2.4.2.2 Pollution thermique

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries..); ont une température de l'ordre de (70 à 80) °C. Elle diminue jusqu' à (40 à 45) °C lorsqu'elle rentre en contact avec les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène.

En outre tout changement de température cause des effets significatifs sur la survie des organismes aquatiques. Un abaissement important de température ralentit la plupart des réactions chimiques vitales voire les arrêter. Au contraire, des augmentations de température peuvent tuer certaines espèces, mais également favoriser le développement d'autres organismes causant ainsi un déséquilibre écologique [3,5].

2.4.2.3 Pollution radioactive

C'est celle occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets qui trouvent leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ces formes (installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs). Les éléments radioactifs s'incorporent dans les molécules des organismes vivants. Plus on s'élève dans la chaîne alimentaire plus les organismes sont sensibles aux rayonnements [3 ,5].

2.4.3 Pollution chimique

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle. La pollution chimique des eaux est regroupée en deux catégories :

- Organiques (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols..) ;
- Minérales (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...)

2.4.3.1. Pollution organique

Ce sont des effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs,

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

sucrieries...). Ils provoquent une consommation d'oxygène dissous de ces eaux, en entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement (dépôts de matières organiques au fonds des rivières) de fermentation anaérobie (putréfaction) génératrices de nuisances olfactives [5 ,6].

2.4.3.1 a. Hydrocarbures

La pollution par les hydrocarbures résulte de plusieurs activités liées à l'extraction du pétrole, à son transport et en aval à l'utilisation de produits finis (carburants et lubrifiants), ainsi qu'aux rejets effectués par les navires (marées noires).

Les effets des hydrocarbures dans le milieu marin sont considérables. Ils dépendent largement de leur composition. En fait leurs activités peuvent s'exercer selon plusieurs modalités très différentes [4,7].

2.4.3.1 b. Phénols

Ils désignent un ensemble de composés hydroxylés du benzène. La présence du phénol dans l'eau a pour origine les polluants industriels (usine chimique, cokeries, industries pétrochimique, raffineries...), ainsi que les revêtements bitumeux des canalisations et des réservoirs, la décomposition des produits végétaux et la dégradation des pesticides. Ces produits s'oxydent faiblement, se fixent peu, se filtrent facilement et ils sont souvent biodégradables; alors ils ne se trouvent qu'en faible quantité. Leur inconvénient principal est qu'ils donnent à l'eau un goût extrêmement désagréable et très persistant marqué de chlorophénol lorsqu'ils sont en présence de chlore.

Les poissons, accumulent les phénols jusqu'à 30 mg/kg, ils sont alors impropres à la consommation. Les phénols peuvent être séparés des eaux résiduaires par extraction liquide-liquide, oxydé par le chlore ou l'ozone ou bien détruits par un traitement biologique [8].

2.4.3.2 Pollution minérale

Les minéraux présent dans l'eau on une certaine concentration à ne pas dépasser dès que la concentration est au delà de la norme, dans ce cas l'eau a un effet toxique et peut provoquer plusieurs maladies pour les êtres vivants.

2.4.3.2. a. Métaux lourds :

La présence des métaux lourds dans l'eau, l'atmosphère et par conséquent la chaîne alimentaire est le cas le plus intéressant parmi les problèmes posés à la pollution. Par ordre

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

décroissant de toxicité spécifique, les métaux sont classés comme suit: $\text{Hg} < \text{Cr} < \text{Ti} < \text{Cu} < \text{Co} < \text{Ni} < \text{Pb} < \text{Zn}$

Les métaux lourds sont susceptibles d'être métabolisés et concentrés par les organismes vivants et mis en circulation dans la chaîne alimentaire où leur toxicité augmente. L'irréversibilité de cette pollution est préoccupante du fait qu'il est impossible de les récupérer, une fois dissipé dans la nature [4,9].

2.4.2.2. b. Cyanure :

Le cyanure, est un poison à action rapide qui peut se rencontrer sous plusieurs formes, y compris les formes gazeuses, liquides et solides. L'industrie rejette d'autres composés cyanogènes (installation de cyanuration, galvanoplastie, traitement de minerais...). L'ion CN^- est toxique en raison de l'acide cyanhydrique qui se produit en présence d'eau selon l'équilibre:



2.4.2.2 c. Pollution azoté :

Les activités industrielles, peuvent être à l'origine des rejets plus ou moins riches en azote (élément nutritif) issu des fabrications d'engrais, des cokeries, et des industries chimiques et agroalimentaires [5]. L'azote existe sous deux formes: la forme réduite qui regroupe l'azote ammoniacal (NH_3 ou NH_4^+) et l'azote organique (protéine, créatine, acide urique). Plus une forme oxydée en ions nitrites (NO_2^-) est transformé en nitrates (NO_3^-).

2.4.2.2. d. Pollution par le phosphore :

Le phosphore a pour origine les industries du traitement de surfaces des métaux, les laveries industrielles des fabrications, d'engrais agroalimentaire [8].

Comme l'azote, le phosphore est un élément nutritif, il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques [5].

2.5 Les paramètres caractérisant la pollution des eaux usées :

Il existe deux catégories de paramètres à suivre pour caractériser l'eau usée : chimique et physique [10-15]

2.5.1. Paramètres physiques :

2.5.1.1. La turbidité

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau [10]

Le tableau 2.1 donne la qualité d'eau en fonction de la valeur de la turbidité (NTU)

Tableau 2.1 : Qualité d'eau selon la valeur de la turbidité.

Valeur de la Turbidité(NTU)	qualité de l'eau
NTU < 5	Eau clair
NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

Une importante turbidité de l'eau entraîne une réduction de sa transparence qui réduit la pénétration du rayonnement solaire utile à la vie aquatique (photosynthèse).

2.5.1.2. Odeur

Les eaux usées se caractérisent par une odeur de moisi. Toute odeur est signe de pollution qui est due à la présence de matières organiques en décomposition [3]

2.5.1.3. Couleur

La couleur des eaux industriels est en général grise, signe de présence de matières organiques dissoutes, de MES, du fer ferrique précipité à l'état d'hydroxyde colloïdale, du fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes [10]

2.5.1.4. Le pH :

Ce paramètre mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau et donc l'acidité ou l'alcalinité de l'eau sur une échelle logarithmique de 0 à 14. Ce paramètre influe sur la plupart des mécanismes chimiques et biologiques. Habituellement, les valeurs du pH se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles [12], il diminue en présence des teneurs élevées en matière organique et augmente en période d'étiage, lorsque l'évaporation est importante.[13]

2.5.1.5. Température.

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

C'est un paramètre important surtout pour les eaux usées industrielles (principalement les industries agro-alimentaires, les centrales nucléaires...) qui produisent des eaux chaudes. L'émission d'une eau propre mais chaude dans un milieu naturel peut créer une pollution [14]

2.5.1.6. Conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique entre deux électrodes, la plus part des matières dissoutes dans l'eau se trouve sous forme d'ion chargés électriquement, la mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de ses sels dissous dans l'eau. [14]

2.5.1.7. Matières en suspension

Ce paramètre exprimé en mg/l correspond à la pollution insoluble particulaire, c'est-à-dire la totalité des particules solides véhiculées par les eaux industrielles. Mesuré par peser après filtration ou centrifugation et séchage à 105°C.

La méthode par centrifugation est plus particulièrement réservée au cas où les méthodes par filtration ne sont pas applicables par suite d'un risque élevé de colmatage des filtres.[14]

2.5.2. Paramètres chimiques [14 , 15]

2.5.2.1. Demande chimique en oxygène (DCO)

Elle regroupe la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de l'ensemble des matières minérales et organiques biodégradables ou non, présentes dans un milieu. Soit donc à la fois les matières oxydables par les processus purement chimique et celles oxydables par les processus biochimiques.

2.5.2.2. Demande chimique en oxygène (DBO₅)

La DBO est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de l'oxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau (toute matière organique biodégradable polluante va entraîner une consommation d'O₂) au cours des procédés d'autoépuration. La DBO est mesurée au bout de 5 jours (DBO₅), à 20°C (température favorable à l'activité des micro-organismes consommateurs d'O₂) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasitaire).

2.5.2.3. Carbone total organique COT

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

Ce paramètre détermine des propriétés variables du carbone organique dissous et particulaire, du carbone organique provenant de substances volatils et du carbone minéral dissous. Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO₂ à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon.

Le rapport DCO/COT : renseigne sur l'état d'oxydation de l'effluent

Le rapport DCO/DBO₅ : renseigne sur la biodégradation.

2.5.3. Paramètre de toxicité [15 , 16]

2.5.3.1. Les micropolluants

Le terme « micropolluant » désigne un ensemble de substances qui, en raison de leur toxicité, de leur persistance et de leur bioaccumulation, sont de nature à engendrer des nuisances même lorsqu'elles sont rejetées en très faibles quantités

2.5.3.1.1. Les micropolluants organiques :

La concentration totale moyenne des micropolluants d'origine organique dans les eaux usées est de 1 à 10 µg/l. Une des principales caractéristiques qui influence les risques de contamination et d'impact des micropolluants organiques sur le milieu et leur persistance. On désigne sous ce terme la durée pendant laquelle une substance est décelable dans le milieu. Il ne faut pas confondre cette notion avec le terme de rémanence qui désigne la durée pendant laquelle les effets d'un traitement restent perceptibles sur une culture

La dégradation des contaminants est évaluée par deux paramètres: la demi-vie et le taux de dégradation. La demi-vie désigne le temps nécessaire pour que la moitié de la dose initiale soit dégradée. Les produits de dégradation ne sont pas forcément inoffensifs pour le milieu, ils peuvent être aussi voire plus toxiques que la molécule initiale.

2.5.3.1.1. a. les paramètres biologiques

Les micro-organismes comprennent, par ordre croissant de taille : les Virus, les Bactéries, les Protozoaires et les Helminthes. Ils proviennent dans leur immense majorité des matières fécales. Le pouvoir pathogène des micro-organismes (ou pathogénicité) dépend de plusieurs facteurs qui sont les facteurs concernant la physiologie du micro-organisme et ceux concernant la physiologie de l'hôte infectée.

2.5.3.1.2. Les micropolluants inorganiques (minéraux)

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

Ils constituent, le problème principal pour la réutilisation des eaux usées traitées. A faibles concentrations, les métaux sont des éléments essentiels et indispensables pour les êtres vivants comme constituant et cofacteur de différentes enzymes, ils interviennent également dans diverses voies métaboliques comme catalyseurs. Cependant, à des concentrations plus importantes que celles nécessaires à un développement optimal, les métaux inhibent la croissance et plusieurs processus cellulaires incluant la photosynthèse, la respiration, l'activité enzymatique mais également la synthèse de pigments et de protéines. La division cellulaire peut, également, être affectée. Les éléments métalliques surveillés sont le fer, le chrome, le zinc, le nickel, qui sont utiles au monde vivant en très faible quantité. Les métaux lourds ont un fort caractère bio accumulatif et ont la particularité de ne pouvoir être éliminés. Ils changent simplement de forme.

2.6. Biodégradabilité des effluents industriels

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux. La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que, $K = DCO / DBO_5$:

- _ Si $k < 1$: cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradables ;
- _ Si $1 < K < 2,5$: cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.
- _ Si $2 < K < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables.
- _ Si $K > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteur de la croissance bactérienne, tels que, les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures ... etc.

La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, si non on applique un traitement physico-chimique.

Le tableau (2-2) suivant résume la norme Algérienne des rejets industriels [16]

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

Tableau 2.2 : Norme Algériennes des rejets industriels

Paramètres	Unité	Valeur limite	Tolérances aux valeurs limite anciennes installation
Température	C °	30	30
Ph	-	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
MES	mg/l	35	40
Azote Kjeldahl	mg/l	30	40
Phosphore total	mg/l	10	15
DCO	mg/l	120	130
DBO ₅	mg/l	35	40
Aluminium	mg/l	3	5
Substances toxique bioaccumulables	mg/l	0.005	0.01
Cyanures	mg/l	0.1	0.15
Fluor et composés	mg/l	15	20
Indices de phénols	mg/l	0.3	0.5
Hydrocarbures totaux	mg/l	10	15
Huiles et graisses	mg/l	20	30
Cadmium	mg/l	0.2	0.25
Cuivre total	mg/l	0.5	1
Mercure total	mg/l	0.01	0.05
Plombe total	mg/l	0.5	0.75
Chrome totale	mg/l	0.5	0.75
Etain total	mg/l	2	2.5
Manganèse	mg/l	1	1.5
Nickel total	mg/l	0.5	0.75
Zinc total	mg/l	3	5
Fer	mg/l	3	5
Composé organique chlorés	mg/l	5	7

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

2.7 Bibliographie

- [1] :Ménana HADDOU Dégradation de dérivés de l'acide benzoïque par les procédés d'oxydation avancée en phase homogène et hétérogène : procédés Fenton, photo-Fenton et photocatalyse . These de doctorat de l'université de toulouse.05 février 2010
- [2] :Traitement et épuration des eaux industrielles polluées Par Grégorio Crini,Pierre-Marie Badot. pp 318.
- [2] [PDF]Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017 - Les eaux usées une ressource inexploitée. sur unesco.org, consulté le 26 mars 2017
- [3] : DAFRI Amel : Biodégradation des crésols par le microbiote des eaux usées de la ville de Constantine. Mémoire Magister 2008.
- [4] : Feteh TARMOUL : Détermination de la pollution résiduaire d'une station d'épuration par, LA GUNAGE naturelle juillet 2007.
- [5] : ATTAB Sarah : Amélioration de qualité microbiologique des eaux épurées par les boues activées de la station d'épuration HAOUD BERKAOUI par l'utilisation d'un filtre à sable local 28/11/2011
- [6] : M'METAHRI Mohamed Saïde : Elimination simultanées de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitée par des procédés mixtes, Thèses de doctorat ,02/07/2012.
- [7] : Eurshange institut firewassed RWTH acher B, BOHNKE PORPINGHAUS, Technologie des eaux résiduaires
- [8]:C.GONUMELLA : Traitement des eaux publique et privée 2^{ème} edition, 1978.
- [9] : A. MIZI. Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. ANNABA. 2006.
- [10] : F. GALAF et S. GHANNAM. Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin. Mémoire d'ingénieur d'état. Université HASSAN II. RABAT. ROYAUME du MAROC. 2003.
- [11] : BENFETTOUM Ryma, OUADOU Sara « Caractérisation des eaux usées issues de la tannerie de Rouïba et leurs traitements par couplage oxydation FENTON et adsorption sur charbon actif en grains» Mémoire de master, FS, Boumerdes, 2015
- [12] : LHARAIG Amina et BOUIZRI Nassima «Traitement des effluents issus de la tannerie de Rouïba par procédé Fenton chimique» mémoire de master, 2014, faculté des sciences, Boumerdes
- [13] : Gestion des ressources hydrolyse MANITOBA et santé MANITOBA,Mars 2011 « La Turbidité dans les sources d'approvisionnement en eau au MANITOBA»
- [14] : «Qualité physico-chimique des eaux de surface» cadre général, Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement, novembre 2005
- [15]: MAHDI Yasmina ,SAIB Imene «Optimisation du traitement par adsorption en batch sur charbon actif en grain des eaux de la tannerie de ROUIBA prétraitées par FENTON chimie dans l'élimination du chrome III» Mémoire de master, FS, Boumerdes, 2016
- [16] : loi n°83-17 DU 16Juillet 1983portant code des eaux, de l'ordonnance n°96 DU 15Juin 1996 modifiant et complétant la loi 83-17,du décret exécutif n°93-16 du 10 juillet réglementant les rejets d'effluents liquides des industriels et du décret exécutif n°64-141 du 19 Avril2011 de la république Algérienne démocratique(JORAD)

Chapitre 2 : Généralités sur les eaux usées et les types de pollution

3.1 Introduction

Les eaux usées urbaines contiennent de très nombreux composés organiques et inorganiques présents dans les eaux-vannes (chargées d'urine et de matières fécales), les eaux sales issues de la préparation des aliments, de la buanderie et des salles de bains et dans les eaux de ruissellement, renferment aussi de nombreux composés inorganiques et organiques à des niveaux de concentrations beaucoup plus faibles (de l'ordre du ng/l à quelques µg/l). Les principales familles de micropolluants sont des produits cosmétiques, des pesticides et résidus de pesticides, des solvants, des hormones naturelles et de synthèse, des résidus de médicaments, des métaux, Cette micropollution fait l'objet de campagnes de mesures réglementaires de rejets de substances dangereuses pour l'environnement. De la intervient les stations d'épurations des eaux usées par des procédés visant à dépolluer l'eau usée avant son retour dans le milieu naturel sans causer de danger ou on peut même la réutiliser [1]

3.2 Prétraitement :

Les eaux brutes doivent subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité d'éléments dont la nature ou les dimensions constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs.

3.2.1 Le dégrillage :

Le dégrillage est un traitement physique qui a pour rôle d'éliminer les déchets solides volumineux qui pourront endommager les équipements ou gêner le traitement ultérieur, Il ya deux types de dégrillage un grossier pour les objets volumineux (60 mm) et un plus fin de (10 mm à 20 mm).

Les déchets, appelés « refus de dégrillage » sont soit incinérés, soit envoyés en décharge.

3.2.2 Le dessablage :

Il permet d'éliminer des solides fins grâce à leur poids. On fait passer l'eau dans un canal à une vitesse modérée pour que le sable et les graviers tombent au fond. Ceux-ci peuvent être réutilisés ou mis en décharge selon la qualité du lavage auquel ils seront soumis [2]

3.2.3 déshuilage/dégraissage :

Il consiste à enlever les matières flottantes en surface. L'injection de bulles d'air pour séparer les matières grasses de l'eau. On parle de déshuilage pour une séparation liquide – liquide

Chapitre 3 : Différents types de traitement des eaux usées

et de dégraissage pour une séparation solide – liquide. Les matières ainsi recueillies seront incinérées ou mises en décharge, elles auraient nuit au traitement biologique [2]. .

La figure (3-1) suivante illustre les étapes du prétraitement :

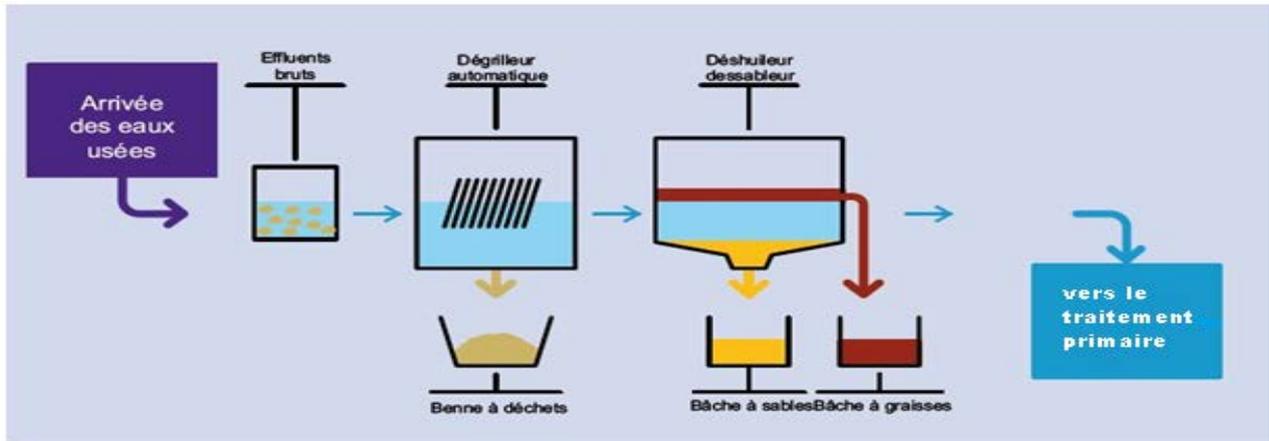


Figure 3-1 : les étapes du prétraitement

3.3 Traitement primaire

3.3.1 Coagulation / floculation :

La coagulation/floculation est un procédé de traitement physico-chimique. Les particules colloïdales ayant un diamètre très faible (les fines) et étant chargées électro négativement (ce qui engendre une répulsion inter colloïdale) ont une vitesse de sédimentation extrêmement faible : c'est à dire que les polluants contenus dans l'eau se repoussent et ne décantent pas naturellement. La coagulation/floculation permet donc de pallier à ce problème de la manière suivante :

- L'adjonction de coagulant ainsi qu'une agitation rapide du volume à traiter, suppriment les répulsions inter colloïdales et permet aux colloïdes de se rencontrer. C'est la coagulation.
- L'adjonction de floculant ainsi qu'une agitation lente du volume à traiter, provoquent l'agglomération des colloïdes se transformant dès lors en une masse suffisante appelé "floc" permettant la sédimentation nécessaire pour le traitement. C'est la floculation.

3.3.2 Flottation :

Le procédé de flottation, cette phase élimine les composants insolubles : les graisses (hydrophobes) et autres éléments légers contenue dans une eau résiduaire. Dans un premier temps la pollution non soluble contenue dans l'eau s'agglomère sous forme de floccs, précédé

Chapitre 3 : Différents types de traitement des eaux usées

de coagulation-floculation Les boues sont collectées en surface, et l'eau traitée sort à l'opposé de l'appareil.

Dans le cas du traitement des eaux domestiques, c'est la seconde phase du traitement après le dégrillage.

Diverses applications possibles [4] :

- Eaux huileuses : pétrochimie, atelier mécanique,...
- Eaux graisseuses : agro-alimentaire, conserverie,...
- Phase insoluble des eaux domestiques

3.3.3 Décantation primaire:

En épuration des eaux usées, le traitement primaire est une simple décantation précédé par Coagulation / floculation et Flottation , son objectif est d'éliminer 70 % de des matières en suspension et 30 % de demande biologique en oxygène (DBO) et de la demande chimique en oxygène (DCO). Ce sont ces matières qui sont à l'origine du trouble des eaux usées.

Elle s'effectue dans des bassins plus souvent cycloniques, les matières minérales et organiques se déposent au fond du bassin et elle constitue les boues primaires elles sont récupérées après recyclage. La performance de la décantation est améliorée par l'adjonction des produits chimiques (floculant) grâce à laquelle, on peut capter 90% des MES [3]

3.4 Traitement secondaire (Le traitement biologique des eaux usées)

Il est effectué grâce à une série de processus importants qui ont en commun l'utilisation de microorganismes (parmi lesquels signalons les bactéries) pour effectuer l'élimination des composants solubles dans l'eau. Ces processus mettent à profit la capacité des microorganismes à assimiler la matière organique et les nutriments (azote et phosphore) dissous dans l'eau usée pour leur propre croissance. Lorsqu'ils se reproduisent, ils s'agrègent entre eux et forment des floccules macroscopiques avec suffisamment de masse critique pour se décanter en un temps raisonnable.

L'application traditionnelle de ce type de traitement consiste en l'élimination de matière organique biodégradable, qu'elle soit soluble ou colloïdale, ainsi que l'élimination de composés contenant de l'azote et du phosphore. C'est l'un des traitements les plus répandus, non seulement dans le cas des eaux usées urbaines mais aussi en grande partie des eaux industrielles, de par sa simplicité et son faible coût économique d'exploitation.

Chapitre 3 : Différents types de traitement des eaux usées

Dans la plupart des cas, la matière organique constitue la source d'énergie de carbone dont ont besoin les microorganismes pour leur croissance. Il est également nécessaire de compter sur la présence de nutriments, contenus par les éléments essentiels pour la croissance, particulièrement de l'azote et du phosphore, l'oxygène n'est pas indispensable, car les microorganismes sont capables de dégrader la matière organique également en conditions anaérobiques. Cet aspect sera essentiel au moment de choisir le processus biologique le mieux adapté. [6]

Il existe trois systèmes de traitement biologique on site [5] :

❖ **Systèmes aérobies:** Les filières biologiques aérobies font appel aux microorganismes présents dans le milieu naturel pour dégrader la pollution. L'apport d'oxygène peut être naturel (le vent ou système de cascade)

❖ **Systèmes anaérobies:** Cette zone permet une auto oxydation. Cela oblige les microorganismes à puiser l'énergie dans leurs réserves pour leur activité et reproduction : c'est ce qu'on appelle la « respiration endogène ». On obtient ainsi la transformation des produits azotés (en azote ammoniacal) et carbonés.

❖ **Systèmes anoxiques:** C'est ainsi que l'on nomme les systèmes dont l'accepteur final d'électrons n'est ni l'oxygène, ni la matière organique. En conditions anoxiques, l'accepteur final d'électrons est généralement les azotes, les sulfates, l'hydrogène, etc. Lorsque l'accepteur final d'électrons est le -nitrate, en conséquence du processus métabolique, l'azote de la molécule de nitrate est transformé en azote gazeux. Ainsi, ce métabolisme permet l'élimination biologique de l'azote de l'eau usée (dénitrification).

3.4.1 Clarification :

C'est la dernière étape de l'épuration de l'eau par traitement biologique. Cette étape consiste à séparer l'eau des boues ou des résidus secondaires issus de la dégradation des matières organiques. Cette décantation est opérée dans des bassins spéciaux, les "clarificateurs". Après cette étape, L'eau débarrassée de 80 à 90 % de ses impuretés subit alors des analyses et des contrôles avant d'être rejetée dans le milieu naturel ; mais, elle n'est pas encore tout à fait claire et elle n'est pas bonne à la consommation. Elle est suffisamment propre pour être rejetée dans la nature sans danger pour les écosystèmes [7].

3.4.2 Le devenir des boues d'épurations :

Il existe trois principales destinations pour les boues de station d'épuration : [7]

- **Le recyclage** : principalement en agriculture, avec ou sans complémentation, mais aussi en réhabilitation de terrains dégradés (carrières, remblais routiers, revégétalisation de décharges...), en sylviculture, en paysagisme urbain. Le recyclage permet de réintégrer, via le sol, les principaux éléments constitutifs de la boue (carbone, azote, phosphore) dans les grands cycles géochimiques, en utilisant leur pouvoir fertilisant ;

- **L'élimination ou destruction de la MO avec revalorisation énergétique par des procédés thermiques (incinération dédiée ou Co-incinération, pyrolyse/gazéification, oxydation par voie humide, voir traitement des boues déshydratées)** : on cherche à oxyder le plus complètement et le plus économiquement possible la matière organique constitutive de la boue pour ne récupérer qu'un résidu minéral ultime. Ce dernier pourra, selon les réglementations en vigueur, être valorisé en génie des matériaux ou être mis en décharge avec ou sans obligation d'inertage selon les résultats de tests de lixiviation ;

- **La mise en décharge** : aussi appelée en France « centre d'enfouissement technique » (CET) ou plus récemment, « centre de stockage de déchets » (CSD). Les décharges en Europe sont de trois types : de classe 1 pour les déchets dangereux (ou « industriels spéciaux »), de classe 2 pour les déchets ménagers et assimilés et de classe 3 pour les déchets inertes.

3.5 Traitement tertiaire :

Le traitement tertiaire, parfois décrit comme un traitement avancé, est généralement effectué après un traitement biologique suivi d'une étape de séparation « solide-liquide ». Le traitement tertiaire peut être de différente nature, tel que la déphosphatation, la désinfection, la réduction de l'azote ammoniacal ou encore la réduction de l'azote total. Ces traitements sont à la fois physico-chimiques et biologiques. On les réalise après les traitements primaires et secondaires afin d'éliminer des éléments nutritifs résiduels, des polluants organiques résistants, des métaux, des pigments

Selon le type d'utilisation, la gamme des traitements mis en œuvre sera plus ou moins étendue avec pour objectifs :

- la réduction des matières en suspension et de la pollution organique biodégradable,
- la réduction de la pollution azotée ou phosphorée,

- la réduction de la pollution organique non biodégradable,
- l'élimination plus ou moins poussée de certains germes pathogènes ou parasites, etc...

Cependant ces traitements de finition ne peuvent être envisagés qu'à la seule condition que l'ensemble de l'assainissement, et en particulier la collecte des eaux usées, ait été maîtrisé. De même, les traitements situés en amont doivent être fiables sous peine de nuire à la qualité de cette finition. [6]

3.5.1 Réduction des matières en suspension et de la pollution organique biodégradable

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux. Les solides en suspension ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent, la filtration sur sable permet d'atteindre des rendements d'élimination des matières en suspension proches de 80% et réduit la pollution organique carbonée de 30 à 40% [9]

3.5.2 Réduction de la pollution organique non biodégradable :

Pour fixer les matières carbonées dissoutes non biodégradables (par exemple les détergents), le moyen le plus sûr est l'adsorption sur charbon actif.

L'adsorption qui sera détaillé dans le chapitre suivant est le plus souvent utilisé pour éliminer de faibles concentrations de composés organiques non dégradables dans les eaux souterraines, la préparation d'eau potable, les eaux de procès ou comme purification tertiaire par exemple, une purification biologique de l'eau.

L'adsorption se produit lorsque les molécules d'un fluide se fixent à la surface d'un solide. Les adsorbants ont une surface interne très élevée sur laquelle une adsorption peut avoir lieu. Le charbon actif est de loin le plus utilisé comme adsorbant et convient particulièrement à l'élimination des composés non polaires. [10]

3.5.3 Réduction de la pollution azotée :

La pollution azotée qui est essentiellement sous forme soluble se trouve sous les différentes formes ci-après :

3.5.3.1 L'azote organique (N) : provenant surtout des déjections animales et humaines et des rejets d'industries agro-alimentaires,

3.5.3.2. L'azote ammoniacal (NH_4^+) : qui peut provenir de rejets industriels (chimie en particulier) ou de la transformation par des processus biochimiques naturels de l'azote organique des eaux usées domestiques. [8]

L'élimination de ce type d'azote se fait par :

Chapitre 3 : Différents types de traitement des eaux usées

- **Assimilation** : utilisation d'une partie de l'azote ammoniacal et éventuellement organique pour la synthèse bactérienne [11]

- **Nitrification** : Il s'agit du cycle biologique de transformation des azotes réduits dans la forme oxydée nitrate (NO_3^-). Les micro-organismes jouent un rôle majeur dans ce procédé. La nitrification se fait en deux étapes, la transformation de l'ammoniac en nitrite par oxydation. Puis l'évolution du nitrite (NO_2^-) en nitrate (NO_3^-). On parle de nitrification puis de nitratation. Les micro-organismes responsables de la nitrification sont les Nitrosomonas et Nitrobacter. [12]

- **Dénitrification** : Le but de la dénitrification biologique est d'éliminer complètement l'azote contenu dans l'eau usée. Lors de cette étape de traitement, l'azote s'évapore dans l'atmosphère sous sa forme moléculaire N_2 c'est un mécanisme anaérobie qui permet à un grand nombre de bactéries hétérotrophes de couvrir leurs besoins énergétiques à partir des nitrates lorsque l'oxygène dissous fait défaut. [12]

La figure (3-2) suivante schématise la réduction de la pollution azotée :

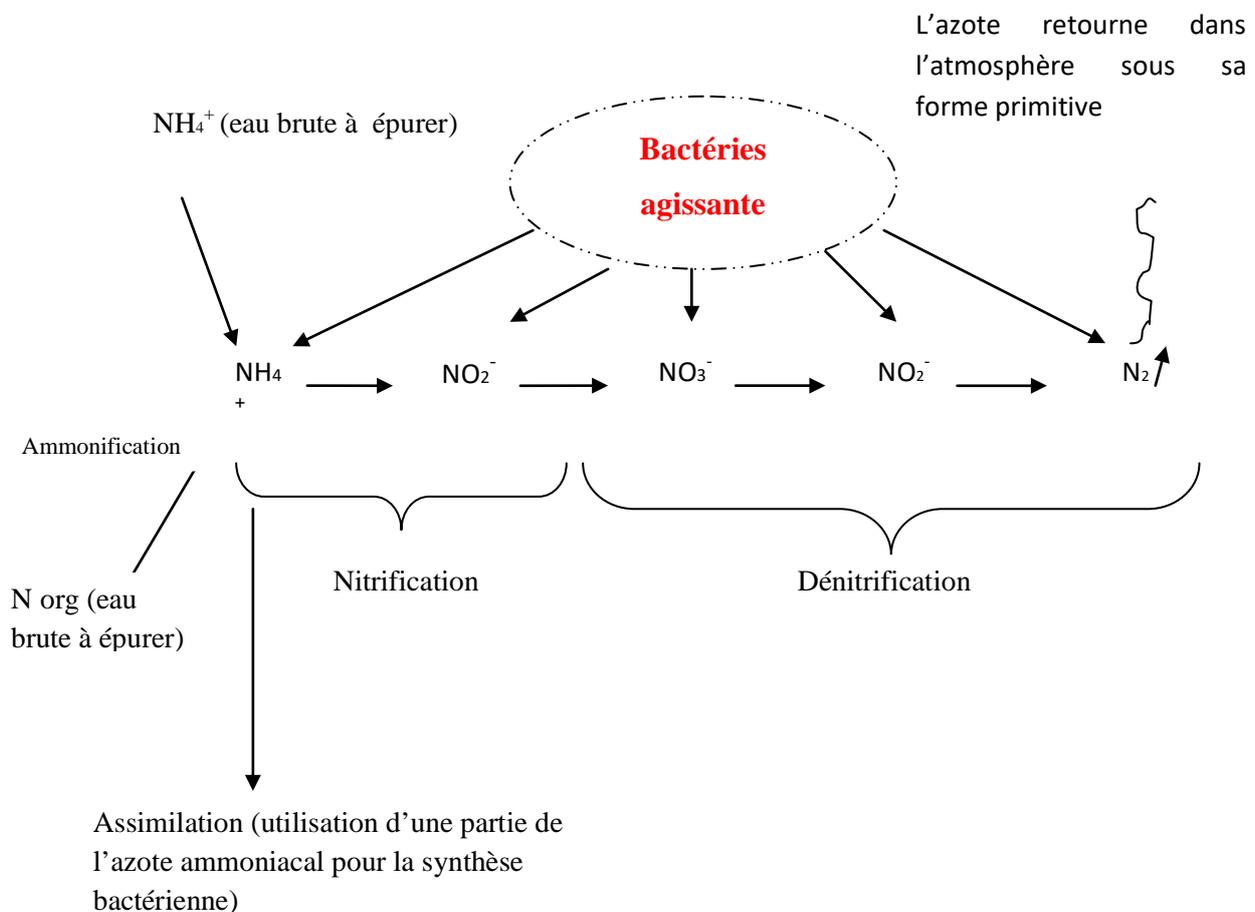


Figure 3-2 : réduction de la pollution azotée

3.5.4 Réduction de la pollution phosphorée : la désphosphatation :

Le phosphore, généralement sous forme de phosphate, joue un rôle important dans l'eutrophisation des eaux de surface, entraînant une croissance excessive des algues, une faible teneur en oxygène et la mortalité des poissons. Afin de limiter l'eutrophisation, Le phosphate peut être éliminé de façon chimique ou biologique.

❖ La désphosphatation chimique :

Le principe de ce traitement repose sur une précipitation du phosphore soluble par ajout d'un sel métallique (sel de fer, d'aluminium, ou de calcium). On obtient alors des précipités insolubles de phosphates métalliques séparés de l'eau par décantation. [13]

❖ La désphosphatation biologique :

Le traitement biologique, au sens large, englobe d'une part l'assimilation du phosphore par la biomasse pour ses besoins métaboliques minimaux, et d'autre part la suraccumulation du phosphore par des bactéries déphosphatantes au-delà de leurs besoins métaboliques. Cette accumulation réalisée par des micro-organismes particuliers, conduit à la formation de granules de polyphosphates (poly-P) ou grains de vultine. Ainsi, la boue s'enrichit progressivement en phosphore jusqu'à des teneurs très importantes. Il est alors très aisé d'assurer l'élimination du phosphore par simple soutirage des boues en excès. [14]

3.5.5 Élimination des germes pathogènes ou parasites :

Les eaux épurées contiennent plus d'un million de micro-organismes par litre dont certains sont néfastes pour l'homme. Lorsque l'eau épurée est rejetée en zone de captage pour l'alimentation en eau potable ou de baignade, la réduction des micro-organismes s'impose alors.

La désinfection de l'eau signifie l'élimination ou la désactivation des microorganismes pathogènes. Les microorganismes sont détruits ou désactivés, entraînant la fin de leur développement et de leur reproduction. Quand les microorganismes ne sont pas éliminés de l'eau potable, l'utilisation de cette dernière provoquera des maladies. La stérilisation est un procédé relatif à la désinfection. Cependant, lors du procédé de stérilisation, tous les microorganismes présents sont tués (les microorganismes nocifs et non nocifs) [15]

La figure suivante montre les différentes étapes du traitement biologique des eaux usées [16] :

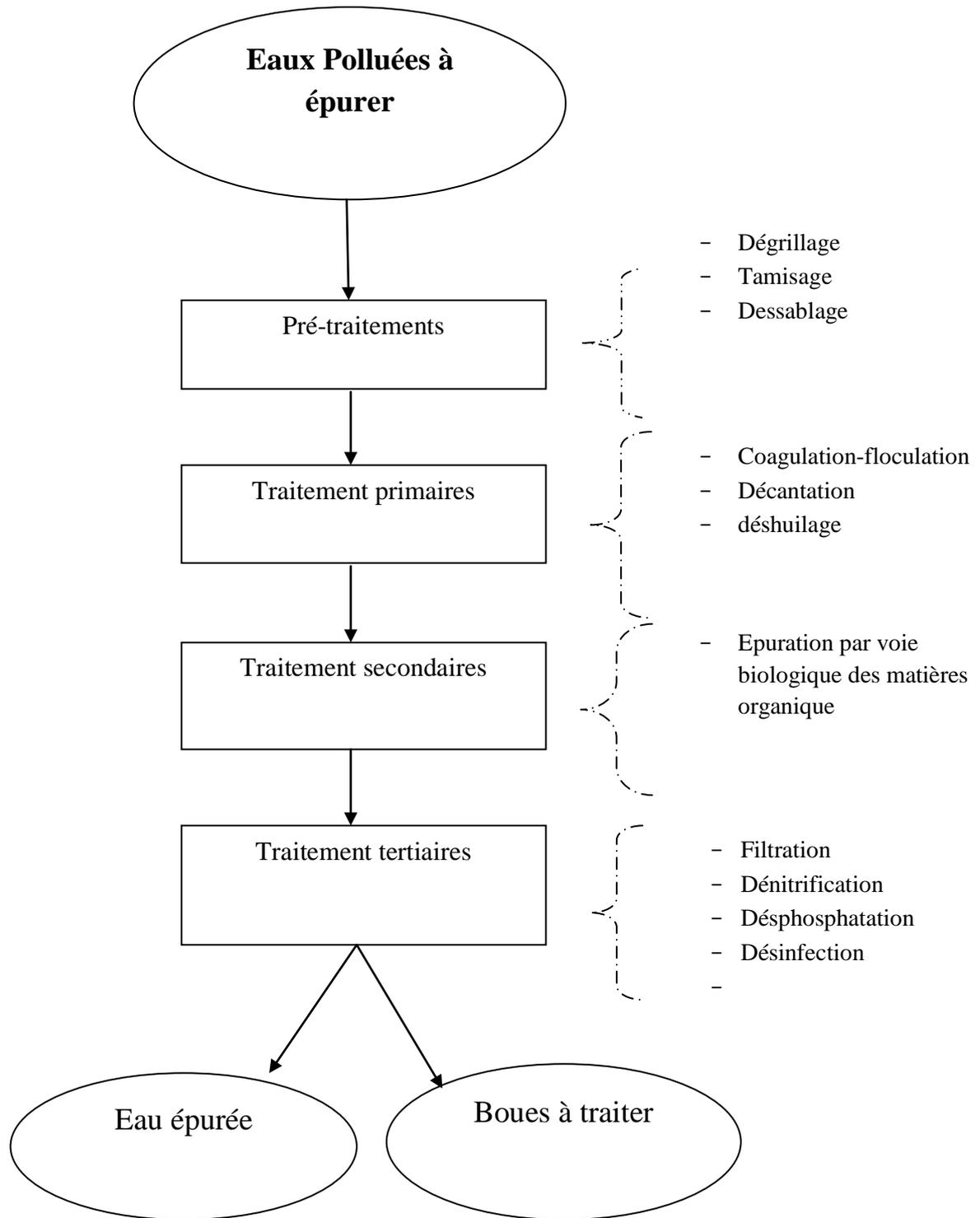


Figure 3-3 : Les étapes du traitement biologique des eaux usées

Chapitre 3 : Différents types de traitement des eaux usées

Les différents procédés de désinfection susceptibles d'être mis en œuvre utilisent :

3.5.6 La chloration :

Le chlore est un oxydant puissant, il est très actif dans l'élimination des micro-organismes. Cependant, suite aux réactions avec la matière organique et/ou les ammoniums, il y aura formation de composés secondaires organochlorés et/ou chloramines très cancérigènes. Etant donné le caractère cancérigène des sous-produits de la chloration, le chlore est de moins en moins utilisé et même interdit dans certains pays. [12]

3.5.7 Les rayons ultraviolets:

Le traitement par rayons ultraviolets est très performant. Il est fort répandu dans le monde. Les systèmes UV sont conçus en deux parties : la chambre de traitement, appelée aussi réacteur et le module électrique.

L'eau à désinfecter transite dans une chambre d'irradiation où sont placées des lampes à mercure, isolées de l'eau par des gaines en silice ou quartz, émettant un rayonnement ultraviolet.

3.5.8 L'ozonation :

L'ozone est un procédé de désinfection utilisé aux États-Unis, en Afrique du Sud et au Moyen-Orient essentiellement. Il est très efficace dans l'élimination des micro-organismes.

Une installation d'ozonation comprend 4 parties :

- Le traitement de l'air utilisé pour la production d'oxygène : l'air utilisé pour la production d'ozone doit être sec et propre ; d'où son traitement préalable,
- Le générateur électrique d'ozone appelé ozoneur : l'ozone est produit en soumettant cet air sec à une décharge électrique ou à une irradiation UV,
- Le transfert de l'ozone dans l'eau par turbinage, hydro-injection ou diffusion,
- Le système de récupération et traitement des événements ozonés : les événements chargés en ozone sont récupérés et éventuellement réutilisés pour une étape de pré-ozonation de l'eau en tête de traitement.

L'excès d'ozone est éliminé par destruction thermique ou catalytique.

Les techniques d'oxydation chimique qu'on vient de citer sont généralement appliquées quand les procédés biologiques sont inefficaces, ils sont basés sur l'ajout d'un agent oxydant dans la solution à traiter. Les principaux agents oxydants pour résumer sont:

Chapitre 3 : Différents types de traitement des eaux usées

- Cl_2 : représente un oxydant moyennement fort et est utilisé pour le traitement des eaux usées ou plutôt pour la désinfection comme l'ozone. En revanche, il présente l'inconvénient de produire des sous produits halogénés cancérigènes pour l'homme;

- O_2 : est considéré comme un oxydant modéré, le coût tolérable de ce procédé le rend fréquemment choisi;

- H_2O_2 : est considéré parmi les oxydants les plus appropriés et les plus recommandés pour une grande variété de procédé, utilisé avec ou sans catalyseur. Toutefois, l'utilisation de cet oxydant seul n'est pas efficace pour la plupart des produits organiques;

- O_3 : c'est un oxydant très fort qui a presque le même avantage que l'oxygène ou le peroxyde d'hydrogène. Le problème majeur lié à l'utilisation de cet oxydant est son instabilité, d'où la nécessité de production sur le site.

Il a été observé que l'oxydation chimique avec l'un de ces oxydants n'est pas toujours efficace pour le traitement des polluants organiques persistants. Dans ce cas, on fait appel aux procédés d'oxydation avancée. [17].

3.5.9 Les procédés d'oxydation avancée(AOP) :

Les procédés d'oxydation avancée (POA) ont été définis en tant que procédés ayant lieu à température et pression ambiante et produisant des radicaux très réactifs (en particulier les radicaux hydroxyles) permettant ainsi le traitement d'effluents aqueux.

Les nombreux procédés d'oxydation avancés ont en commun beaucoup de similitudes du fait de la participation des radicaux hydroxyles dans la plupart des mécanismes [18].

Comme les radicaux hydroxyles sont des espèces très réactives et instables, ils doivent être produits de façon continue au moyen de plusieurs réactions: chimiques, photochimiques, ou électrochimiques.

Dans les procédés d'oxydation avancée, on caractérise souvent la charge organique de l'effluent en mesurant la DCO (Demande Chimique en Oxygène). Habituellement les effluents aqueux dont la DCO est inférieure à 10 g/L peuvent être traités par des procédés d'oxydation avancée. Si la DCO de l'effluent à traiter est supérieure, il est généralement nécessaire d'augmenter la concentration en réactif, ce qui accroît considérablement le coût du procédé. Par conséquent, pour des DCO trop importantes (> 10 g/L) il est préférable d'utiliser le procédé d'oxydation en voie humide alors qu'au delà de 200 g/L, l'incinération est le procédé préféré [19]

Chapitre 3 : Différents types de traitement des eaux usées

La figure 3.4. Schématise les différentes techniques adéquates pour le traitement des eaux usées en fonction de leur charge organique en DCO.

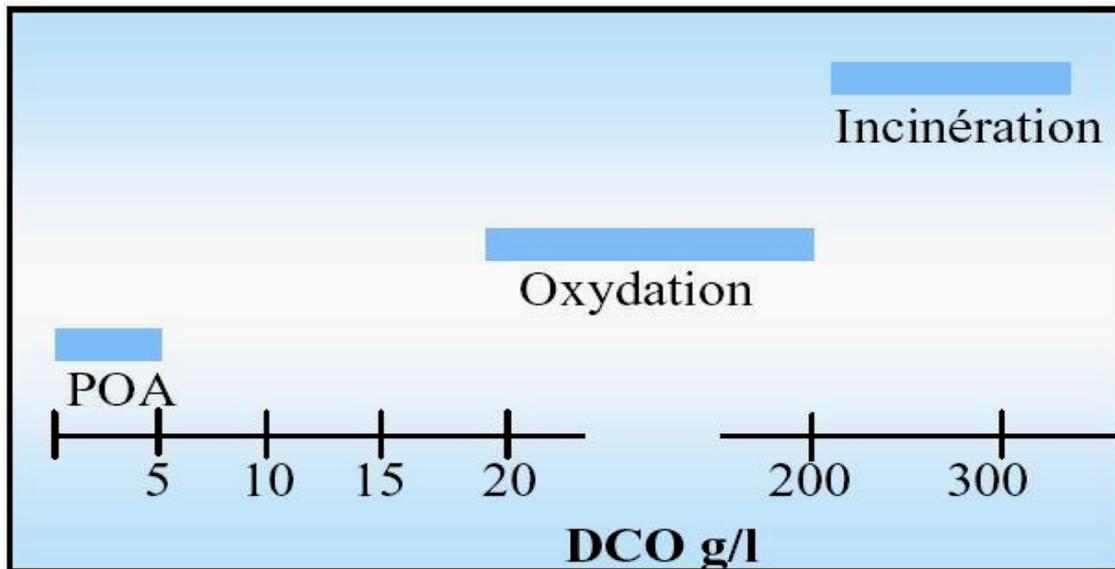


Figure 3.4 : Relation entre la charge organique en DCO dans l'eau à traiter et le type de traitement [19]

3.6 Bibliographie

- [1] El ALAOUI taoussi mémoire fin d'étude ' L'impact du Chrome VI sur le traitement des eaux usées dans la station d'épuration de Marrakech'
- [2] Le Caue de l'Oise, *organisme formateur référencé article* intitulé eau et aménagement de la partie les principes de base de l'épuration des eaux usée consulté sur <http://www.caue60.com/amenagement-paysager/eau-et-amenagements/les-principes-de-base-de-lepuration-des-eaux-usees/>
- [3] INRS point de connaissances (novembre 2004) consulté sur <http://www.inrs.fr/dms/inrs/GenerationPDF/accueil/demarche/evaluation-risques-professionnels/%C3%89valuation%20des%20risques%20professionnels.pdf>
- [4] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Flottation>
- [5] condorchem.com/fr/blog/traitement-biologique-des...
- [7] agence de l'eau article intitulé la station d'épuration publié le (24 .07.2015) consulté sur <https://www.eau-artois-picardie.fr/education-leau-dossiers-thematiques/les-stations-depuration>
- [8] <http://hmf.enseiht.fr/travaux/CD9598/travaux/optsee/bei/nome43/n43z50.htm>
- [9] Dr.BESSEDIK Madani université de Tlemcen pdf de cours intitulé traitement et épuration d'eau page 160
- [10] <https://www.ademe.fr/traitement-adsorption>
- [11] Jean-Claude BOEGLIN article publié dans le site web techniques-ingénieur intitulé traitement biologique des eaux résiduaires
- [12] Cours TER 2années master université de Boumeredes
- [13] *Laura DIGAN, Jean-Luc DORÉ, Pauline AGUETTAZ, Clément DIVO, Juliette SEREMET, Flavien POINÇOT et Claire FROGER* projet de Redimensionnement de la STEP de Saint-Louis à la Réunion ainsi que la valorisation des boues.
- [14] Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales FNDAE n° 29 Document technique Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique
- [15] <https://www.lenntech.fr/francais/desinfection/qu-est-ce-que-la-desinfection-eau.htm>
- [16] <https://wikimemoires.net/2019/12/le-traitement-tertiaire-et-quatenaire-des>
- [17] :Ménana HADDOU Dégradation de dérivés de l'acide benzoïque par les procédés d'oxydation avancée en phase homogène et hétérogène : procédés Fenton, photo-Fenton et photocatalyse . These de doctorat de l'université de toulouse.05 février 201
- [18] : M'METAHRI Mohamed Saide : Elimination simultanées de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitée par des procédés mixtes, Thèses de doctorat ,02/07/2012.
- [19] : Eurshange institut firewassed RWTH acher B, BOHNKE PORPINGHAUS, Technologie des eaux résiduaires
- [20] [PDF]Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017 - Les eaux usées une ressource inexploitée. sur unesco.org, consulté le 26 mars 2017.

Chapitre 4 : Phénomène d'adsorption

application au traitement des eaux usées

4.1 Introduction :

L'augmentation des activités industrielles engendre une pression grandissante sur les réserves en eau douce de la planète. Ces activités génèrent une grande diversité de produits chimiques qui se déversent dans le cycle de l'eau. Les rejets industriels et hospitaliers contenant des produits toxiques sont devenus très préoccupants. Pour réduire l'apport de ces substances dans les eaux, des traitements avancés sont nécessaires. Parmi ces traitements, on cite l'adsorption.

En effet, toute surface est constituée d'atomes n'ayant pas toutes leurs liaisons chimiques satisfaites. Cette surface a donc tendance à combler ce manque en captant les atomes et molécules passant à proximité, c'est ce qu'on appelle l'adsorption.

4.2 Généralités sur l'adsorption :

L'adsorption est un phénomène de surface par lequel des molécules de gaz ou de liquide se fixent sur les surfaces solides des adsorbants selon divers processus plus ou moins intenses. Elle est favorisée si la masse moléculaire de la molécule adsorbée est élevée et encore si la taille des grains est d'autant plus faible [1].

En raison de ses propriétés physiques inhérentes, grande superficie, structure microporeuse, capacité élevée d'adsorption et réactivité de surface, l'adsorption utilisant le charbon actif granulaire (CAG) ou le charbon actif en poudre (CAP) a suscité une attention considérable pour le déplacement des polluants organiques et inorganiques de l'eau à traiter [2].

4.2.1 Les différents types d'adsorption :

Selon la nature des forces impliquées, on distingue deux types principaux d'adsorption: l'adsorption chimique et l'adsorption physique.

4.2.1.1 L'adsorption chimique: (Chimisorption)

L'adsorption chimique ou chimisorption ou encore adsorption activée, résulte d'une interaction chimique qui se traduit par un transfert d'électron entre le solide et l'adsorbat. Il y a alors formation d'un composé chimique à la surface de l'adsorbant [3].

Les énergies mises en jeu sont importantes et le processus est généralement irréversible, on ne peut pas récupérer la substance adsorbée sous sa forme initiale suite à une désorption [4].

Dans ce type d'adsorption, le temps de rétention est long et seule la première couche liée à la surface adsorbante est chimiquement adsorbée, les autres couches, dans le cas où elles existent, sont

Chapitre 4 : Phénomène d'adsorption application au traitement des eaux usées

retenues par l'adsorption physique.

4.2.1.2 L'adsorption physique :(Physisorption)

Ce type d'adsorption résulte de l'établissement d'un échange de forces de faible énergie entre la surface d'un solide et des molécules à proximité de cette surface. Dans ce cas, la rétention est le résultat des liaisons de nature électrostatique de type Van Der Waals.

Du point de vue énergétique, la physisorption se produit aux basses températures avec des énergies faibles. Elle correspond à un processus réversible (équilibre dynamique d'adsorption et de désorption) et ne conduit pas à une modification de l'identité chimique de la molécule adsorbée.

Dans le cas d'une telle adsorption, le temps de rétention de la substance adsorbée est court et la surface adsorbante peut être recouverte de multiples couches moléculaires du produit adsorbé. Le tableau (4-1) donne une idée comparative entre ces deux types d'adsorption [5].

Tableau 4-1: Comparaison des propriétés entre les types d'adsorption [5]

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Température	basse	Elevée
Chaleur d'adsorption	1 à 10 Kcal/mol	>10 Kcal/mol
Liaison	physique	Covalente
Processus	Non spécifique	spécifique
Désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Rapide	lente
Formation	Multicouches	Monocouche

4.2.2 Principe de l'adsorption

L'adsorption définit la propriété de certains matériaux de fixer à leur surface des ions ou des molécules (gaz, métaux, molécules organiques...) d'une manière plus ou moins réversible. Il y a transfert de matière de la phase aqueuse ou gazeuse vers la surface solide.

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes, intervenant chacune dans l'expression de la vitesse totale comme le montre la figure 4.1 : [6]

- 1) Transfert de la particule de la couche externe vers l'interne.
- 2) Déplacement de l'eau liée jusqu'au contacte charbon actif.
- 3) Diffusion à l'intérieure du charbon sous l'influence de gradient de concentration.
- 4) Adsorption dans une micropore, cette étape est très rapide.

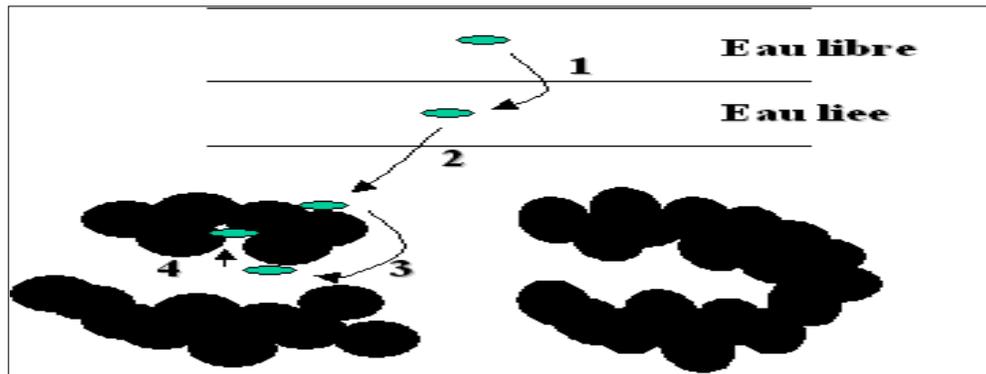


Figure 4-1: Mécanisme du transport d'un adsorbant au sein d'un grain du solide [6]

4.2.3 Les isothermes d'adsorption :

Les isothermes d'adsorption sont des courbes expérimentales qui représentent les variations (masse ou volume) du substrat adsorbé (gaz ou liquide) par poids d'adsorbant en fonction de la concentration (en phase liquide) ou de la pression (en phase gazeuse). Elles sont exprimées généralement sous formes d'équations mathématiques, lesquelles sont obtenues à partir d'expériences réalisées en réacteur statique. Elles permettent essentiellement de déterminer le taux de recouvrement de la surface d'un support par un substrat et d'identifier le type d'adsorption [7]

4.2.3.1 Les différents types d'isotherme : [8]

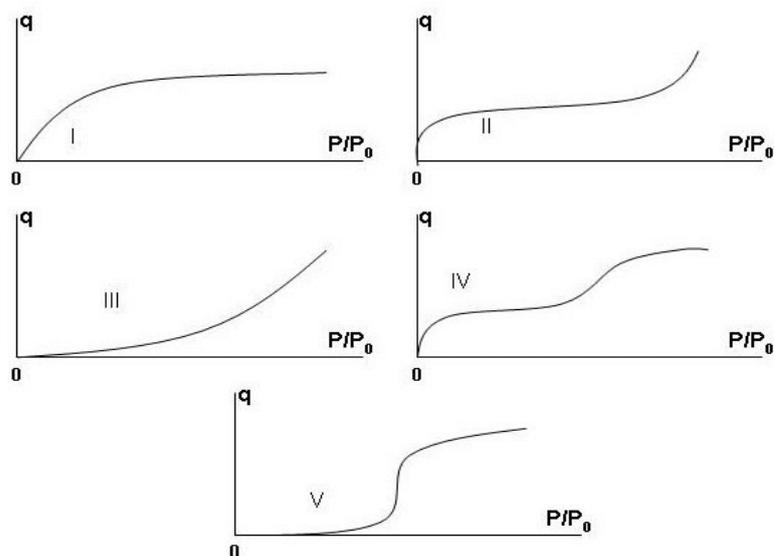


Figure 4-2 : Les différents types d'isotherme d'adsorption

- **Isotherme de type I**

L'interprétation classique de cette isotherme qui est relative à une adsorption pour une couche monomoléculaire complète adsorbée physiquement ou chimiquement sur un solide microporeux de diamètre inférieur à 25Å.

- **Isotherme de type II**

Ces isothermes sont très répandues, pour des solides non poreux ou macroporeux. Le fait qu'il n'y ait pas de point B clairement identifiable (correspondant au remplissage d'une monocouche), et une montée continue de la quantité adsorbée est le signe d'une hétérogénéité énergétique de la surface vis à vis des interactions adsorbat/adsorbant. Contrairement au cas où un point B est identifiable, ici il y a superposition de l'adsorption monocouche et multicouche.

- **Isotherme de type III**

Cette isotherme est relativement rare et indique la formation de couches polymoléculaires dès le début de l'adsorption avant que la surface ne soit recouverte d'une couche monomoléculaire. Un tel comportement suggère que la surface n'est pas homogène et que l'adsorption se fait sur des sites préférentiels où les forces d'attraction sont les plus intenses. Les isothermes de type I, II et III sont réversibles, la désorption suit le même chemin que l'adsorption.

- **Isotherme de type IV**

La pente croît à des pressions relativement élevées, ce qui indique que les pores sont totalement remplis. Comme pour l'isotherme de type II, la polycouche démarre quand la monocouche est totalement réalisée ; il arrive un moment où il y a suffisamment d'épaisseur de couche à l'intérieur du pore pour former un ménisque. Quand les pores sont complètement remplis de liquide, l'adsorption se localise à la surface des grains. La quantité adsorbée ne varie alors plus beaucoup, d'où la présence d'un palier.

- **Isotherme de type V**

Cette isotherme donne aussi, comme l'isotherme de type IV, lieu à une hystérésis. Elle est similaire à l'isotherme de type III aux faibles pressions, c'est-à-dire que la polycouche démarre bien avant que la monocouche ne soit totalement réalisée. C'est une isotherme très rare.

La figure (4-2) suivante illustre les différents types d'isotherme d'adsorption :

Figure 4-2 : Les différents types d'isotherme d'adsorption

Chapitre 4 : Phénomène d'adsorption

application au traitement des eaux usées

4.2.3.2 Modélisation des isothermes d'adsorption [9] :

Les paramètres obtenus à partir de la modélisation des isothermes fournissent des informations importantes sur le mécanisme d'adsorption, les propriétés de surface et les affinités adsorbant-adsorbat. Les deux modèles à deux paramètres les plus couramment employés sont les modèles de Langmuir et Freundlich, mais aussi pour aller un peu plus loin dans la compréhension des mécanismes d'adsorption, on peut utiliser les modèles à trois paramètres.

❖ Isotherme de Langmuir :

Ce modèle est très utile pour l'adsorption monomoléculaire d'un soluté en formant une monocouche à la surface d'un adsorbant, ce modèle est utilisé quand les conditions suivantes sont remplies :

- Les sites d'adsorption sur la surface solide sont homogènes d'un point de vue énergétique : on parle de « surface d'adsorption homogène ».
- Chacun de ces sites peut adsorber une seule molécule.
- Il n'y a pas d'interactions entre les molécules adsorbées.

Il est décrit par l'expression suivante :

$$q_e = \frac{q_{\max} \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \dots \dots \dots (4.1)$$

Où :

C_e : Concentration à l'équilibre (mg/l),

q_e : quantité du produit adsorbé par unité de masse d'adsorbant (mg/g),

q_{\max} : capacité maximale d'adsorption théorique (mg/g).

K_L : constante de l'équilibre thermodynamique d'adsorption (l/mg).

Sa formule linéaire s'écrit sous la forme suivante :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_{\max} \times K_L} \dots \dots \dots (4.2)$$

L'équation de Langmuir peut être exprimée par un paramètre d'équilibre adimensionnel appelé, R_L défini par :

Chapitre 4 : Phénomène d'adsorption application au traitement des eaux usées

cinétique fournit des informations relatives au mécanisme d'adsorption et sur le mode de transfert des solutés de la phase liquide à la phase solide.

❖ Modèles théoriques de la cinétique d'adsorption

Pour modéliser la cinétique d'adsorption, deux modèles empiriques sont souvent utilisés : pseudo premier ordre et pseudo second ordre.

a) Modèle de la cinétique du pseudo premier ordre (modèle de Lagergren)

Le modèle du pseudo premier ordre, établi par Lagergren, est la première équation de vitesse décrivant la cinétique d'adsorption d'un couple adsorbât-adsorbant. Elle est basée sur la quantité adsorbée. La vitesse d'adsorption à un instant t est proportionnelle à l'écart entre la quantité adsorbée à l'équilibre q_e et celle adsorbée à l'instant t . L'équation de pseudo premier ordre est décrite selon l'équation :

$$\frac{dq}{dt} = k_1(q_e - q_t) \dots \dots \dots (4.6)$$

Avec

q_e : quantité de soluté adsorbé à l'équilibre (mg/g)

q_t : quantité de soluté adsorbé à l'instant t (mg/g)

k_1 : constante de vitesse du pseudo premier ordre (1/min).

L'intégration de l'équation pour les conditions initiales $q_t=0$ à $t=0$ donne l'équation :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \dots \dots \dots (4.7)$$

La quantité de soluté adsorbé à l'équilibre q_e et la constante de vitesse du pseudo premier ordre k_1 sont déterminées à partir de la représentation graphique de $\ln(q_e - q_t)$ en fonction du temps

b) Modèle de la cinétique du pseudo second ordre

La vitesse d'adsorption de pseudo second ordre, établi par Blanchard, dépend aussi de la quantité adsorbée à l'équilibre.

L'équation de la cinétique du pseudo second ordre est donnée par l'équation :

$$\frac{dq}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \dots \dots \dots (4.8)$$

Avec

Chapitre 4 : Phénomène d'adsorption application au traitement des eaux usées

q_e : la quantité de soluté adsorbé à l'équilibre (mg/g)

q_t : la quantité de soluté adsorbé à l'instant t (mg/g)

k_2 : la constante de vitesse du pseudo second ordre (g/mg min)

L'intégration de l'équation (4.8) avec les conditions limites $q_t=0$ à $t=0$ prend la forme linéaire tel que décrit par l'équation :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \dots \dots \dots (4.9)$$

Le traçage de $1/q_t$ en fonction du temps t donne une courbe linéaire avec une pente de $1/q_e$ et une ordonnée à l'origine de $1/k_2 q_e^2$.

4.2.4 Facteur influençant l'adsorption:

Le processus d'adsorption dépend de plusieurs paramètres qui peuvent influencer la capacité et la cinétique de la rétention d'un soluté sur un adsorbant. Il s'agit des paramètres suivants :

❖ La porosité :

La porosité d'un matériau adsorbant joue un rôle très significatif dans l'adsorption des composés organiques aromatiques. Le charbon macroporeux a une meilleure capacité d'adsorption que le charbon mésoporeux dans le cas des macromolécules.[10].

La porosité est liée à la répartition de la taille des pores. Elle reflète la structure interne des adsorbants microporeux. [11]

❖ Nature de l'adsorbant :

La capacité d'adsorption de tout charbon actif dépend essentiellement de la nature de la matière première. Les charbons actifs de bonne qualité peuvent être fabriqués à partir de diverses matières premières (bois, noix de coco,...) [12]

❖ Température :

L'adsorption est un phénomène endothermique ou exothermique suivant le matériau adsorbant et la nature des molécules adsorbées. Une augmentation de température s'accompagne d'une augmentation de l'adsorption de l'adsorbat par l'adsorbant. [11]

❖ Surface spécifique :

Surface spécifique d'un adsorbant est l'un des facteurs les plus importants pour le phénomène d'adsorption. Plus la surface spécifique est grande, plus l'adsorption est meilleure [4]. Cette surface totale peut être augmentée par un broyage de la masse solide qui multiplie encore sa

Chapitre 4 : Phénomène d'adsorption application au traitement des eaux usées

porosité totale [11]

❖ **Masse de l'adsorbant :**

La capacité d'adsorption est d'autant plus grande que la masse de l'adsorbant dans la solution est importante [4].

❖ **Solubilité :**

Plusieurs chercheurs ont montré que les constantes d'adsorption ont tendance à être plus importantes quand la solubilité du composé diminue. Donc les capacités d'adsorption sont inversement proportionnelles à la solubilité.[5]

❖ **Polarité :**

Un soluté polaire aura plus d'affinité pour un solvant ou pour l'adsorbant polaire, il faut donc que l'adsorbant et l'adsorbé soient de polarité voisine.[5]

❖ **pH :**

Le pH est un facteur important dans toute étude d'adsorption du fait qu'il peut influencer à la fois la structure de l'adsorbant et de l'adsorbé ainsi que le mécanisme d'adsorption. Ce facteur dépend de l'origine des eaux à traiter et du procédé de leurs traitements [4].

Généralement les espèces acides s'adsorbent mieux en milieu acide, tandis que les espèces basiques s'adsorbent en milieu basique [5].

4.2.5 Différents types d'adsorbant

Il existe de très nombreux types d'adsorbants car les procédés d'adsorption sont divers que se soit en phase gazeuse ou en phase liquide comme par exemple: séparation de l'oxygène et de l'azote de l'air, purification d'hydrogène, désulfuration du gaz naturel, décoloration des jus sucrés, purification d'effluents, séparation de molécules pour la pharmacie, traitement des eaux...

On distingue cinq grands types d'adsorbants: les zéolithes, les alumines, les gels de silice, les argiles activées et les charbons actifs.

❖ **Les zéolithes :**

Les zéolithes sont des aluminosilicates cristallisés microporeux de formule globale $AlO_2M_nSiO_2$ ou « M » représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalinoterreux et $n \geq 1$. [13]

Leurs capacité d'adsorption est limitée à cause de leurs surface spécifiques mais ils ont une bonne sélectivité et ils sont moins sensible à la chaleur que le charbon actif [6]

❖ **Les alumines :**

Chapitre 4 : Phénomène d'adsorption application au traitement des eaux usées

Tableau 4-2: Différence entre le CAG et CAP [7]

Le charbon actif en poudre (CAP)	Le charbon actif en grain (CAG)
<ul style="list-style-type: none">➤ Ils présentent une granulométrie inférieure à 100µm avec un diamètre moyen situé entre 15 et 25µm.➤ Ils ont une large surface externe et une faible profondeur de diffusion, ce qui engendre une vitesse d'adsorption très rapide.	<ul style="list-style-type: none">➤ Leur forme granulaire est caractérisée par une taille des particules supérieure à 1mm, et un faible diamètre des pores➤ une grande surface interne et une externe relativement faible. Il en résulte que les phénomènes de diffusion à l'intérieur des pores prennent une grande importance dans le processus d'adsorption.

4.3 Application de l'adsorption

Le principal adsorbant utilisé en pratique est le charbon actif, obtenu à partir de matières organiques (bois, tourbe) carbonisées, puis activées (on dégage les cavités remplies de goudron lors de la carbonisation). Le charbon actif peut être obtenu soit sous forme de poudre (on obtient des pores de quelques µm de dimension), soit sous forme de grain. Il peut être régénéré par désorption selon trois procédés (à la vapeur, thermique, chimique).

Parmi les autres applications pratiques faisant appel à l'adsorption, on peut citer :

- La catalyse hétérogène : le phénomène d'adsorption constitue la première étape des réactions nécessitant l'emploi d'un catalyseur solide. Ce phénomène peut alors jouer un rôle prédominant dans la cinétique de la réaction chimique ;
 - La chromatographie d'adsorption ;
 - La mesure de la surface spécifique des solides poreux et des poudres ;
 - La stabilisation des colloïdes ;
 - Le stockage de chaleur (via l'adsorption par zéolithes). [15]

4.4 Application au traitement des eaux

❖ En traitement d'affinage :

Les traitements d'affinage de l'eau font intervenir des procédés d'ozonation, de filtration sur charbon actif ou de filtration sur membranes (ultrafiltration ou nanofiltration).

Chapitre 4 : Phénomène d'adsorption application au traitement des eaux usées

4.5 Bibliographie

- [1] ANWAR ELABED «Réactivité thermique et cinétique de dégradation du bois d'arganier application à l'élaboration de charbon actif par activation chimique » thèse doctorat l'université de M ouhamed V-AGDAL Rabat 2007.
- [2] KHEMMARI Fariza «Application de deux méthodes électrochimiques: électrocoagulation, électrosorption pour l'élimination du chrome des eaux usées de la tannerie de Rouiba», mémoire de master, 2013
- [3] FILIPA Aleksanravo« Vers un procédé Fenton hétérogène pour le traitement en continu d'eau polluée par des polluants pharmaceutiques » thèse de doctorat de l'université de Toulouse 2014.
- [4] YAHIAOUI Nouara «Etude de l'adsorption des composés phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium hydroxyapatite et charbon actif »mémoire de magister l'université de Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2012.
- [5] BOUZIANE Nouzha «Elimination de 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur le bentonite et le charbon actif en poudre » mémoire de magister l'université Mentouri de Constantine, 2007.
- [6] BARKA Noureddine «Etude comparative des propriétés d'adsorption de quelques micro-polluants sur les phosphates et le charbon actif» mémoire de magister faculté des sciences AGADIR 2004.
- [7] GHERIGUI Nadia, MAIDI Soumia «Élimination de la matière organique de l'eau par adsorption sur charbon actif en poudre» mémoire de magister de faculté des sciences Boumerdes, 2009.
- [8] OUIKENE Samir, CHEMEUR Nawel «Etude comparative entre un adsorbant utilisé à la station de traitement des eaux de Taksebt et des adsorbants préparés à base de grignon d'olive» memoire de master universite MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU 2015
- [9] Benamraoui Faouzia «Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture » Mémoire Magister université Ferhat Abbas Setif-1 2014
- [10] NAIB Naima «Etude de procédé d'adsorption du phénol sur du charbon actif à base de grignons d'olive: modélisation par les plans d'expériences »mémoire de magister l'université de Boumerdes, 2007.
- [11] Omar KHELIFI « Etude de l'adsorption du nickel et du cuivre sur un charbon actif préparé à partir des boues de station d'épuration» mémoire de Doctorat Université 8 Mai 1945 Guelma 2017/2018
- [12] CHITOUR Chemseddine «Physico-chimie des surfaces, l'adsorption gaz-solide et liquide-solide » 2^{ème} édition augmentée.
- [13] GHALMI Nouria, SIFER Aicha «Essais d'adsorption du phénol et de cuivre sur charbon actif volarisé à base de grignons d'olive » mémoire de magister, 2006
- [14] ANWAR ELABED « Réactivité thermique et cinétique de dégradation du bois d'arganier application à l'élaboration de charbon actif par activation chimique » thèse doctorat l'université de M ouhamed V-AGDAL Rabat 2007
- [15] OU2 « adsorption » le 2 février 2018 consulté sur <https://fr.wikipedia.org/wiki/Adsorption#:~:text=En%20chimie%2C%20l'adsorption%20est,%2C%20on%20parle%20d'adatome.>
- [14] Suez Memento Degremont «processus industriels et traitements des effluents résiduaires : traitement tertiaire » consulté sur <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/processus-industriels-et-traitements-des-effluents-residuaires/conception-des-installations-generalites/traitement-tertiaire>
- [16] consulté sur <http://www.eau-poitou-charentes.org/Les-differentes-etapes-d-une.html#Haut>

Chapitre 4 : Phénomène d'adsorption
 application au traitement des eaux usées

5.1 Introduction :

Des millions de morts, les rues vides, les entreprises fermées ; c'est les dégâts causés par la pandémie du Covid 19 qui a ravagé le monde et l'Algérie n'a pas échappé à ce désastre.

Vu la situation sanitaire de notre pays, les lieux de stage ont été fermés ainsi que les universités pour diminuer la propagation du virus et minimiser les dégâts. Alors on a jugé utile de remplacer la partie pratique de notre mémoire (vu qu'on n'a pas eu la chance d'accomplir notre stage) par une partie résumant les travaux antérieurs valorisant ainsi notre travail..

5.2 Résultats de quelques travaux

Dans ce qui suit, on résumera les résultats de quelques travaux similaires à notre sujet :

5.2.1 Premier travail : « Etude comparative entre un adsorbant utilisé à la station de traitement des eaux de Taksebt et des adsorbants préparés à base de grignon d'olive », université Mouloud Mammer TIZI OUZOU [1]

5.2.1.1 But de l'étude :

La matière testée sur laquelle repose l'étude est le charbon pyrolysé à base de grignon d'olive avec lequel des essais de comparaison avec le charbon actif et commercial ont été effectués.

5.2.1.2 Préparation de la matière à tester :

La préparation de charbon actif et charbon pyrolysé à base de grignons d'olive est passée par plusieurs étapes, ci-dessous un tableau qu'on a tracé nous même, résumant cette préparation.

Tableau 5 -1 : Différentes étapes de préparation de la matière à tester

Les étapes	Procédures suivie
Prétraitement	Les grignons d’olive sont lavés puis séchés et passés au broyeur
La carbonisation sans oxygène	Les grignons sont pyrolysés à 420c° pendant 4h dans un four à moufle
La carbonisation en présence d’oxygène	<p>Carbonisation : à une T° de 400 c° pendant 30 min</p> <p>Activation chimique : à une T° de 115°c pendant 03h après imprégnation du précurseur par un agent activant : acide phosphorique H₃PO₄ (3N) et le chlorure de Zinc ZnCl₂ (2N)</p> <p>Lavage : abondamment à l’eau distillée après refroidissement</p> <p>Séchage : à une T° de 105 °C pendant 30 min</p>

5.2.1.3 Les différentes méthodes utilisées pour la caractérisation de ce matériau :

La caractérisation des charbons actifs a subit plusieurs méthodes, ces dernières sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 5-2 : Différentes méthodes de caractérisation des charbons actif

Paramètres et technique utilisée pour la caractérisation	Méthodes utilisé	Résultats obtenus	Norme
Taux d’humidité	$h\% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} * 100$ $t_{\text{contacte}} = 1h$ $T^\circ \text{ de } 105 \text{ c}^\circ$	h _{ca} = 1.6% h _{ac} = 4% h _{cp} = 5.8%	<5%
le taux de cendres	$c (\%) = \frac{p_2}{p_1} * 100$ $t_{\text{ontacte}} = 45 \text{ mn}$ $T^\circ \text{ de } 600 \text{ c}^\circ$	C _{ca} = 22 % C _{ac} = 9% C _{cp} = 31 %	<10%
Mesure du pH	t=24 h T° ambiante pH mètre	pH _{ca} =5.08 pH _{ac} =7 pH _{cp} .=5.8	6
La spectroscopie IR	[4000 et 400 cm ⁻¹]. Nombre de scan : non citée Résolution : non citée	Les résultats sont donnés ci dessous sous forme de tableau 5-3	

Le MEB	MEB de marque PHILIPS XL 20 Taille : 20 um Agrandissement : *100	Les résultats concernant les essais avant et après adsorption sur les différents charbons utilisés (CA , CAC , CP) sont donnés ci-dessous sous forme de photographies
--------	--	---

• Analyse infrarouge :

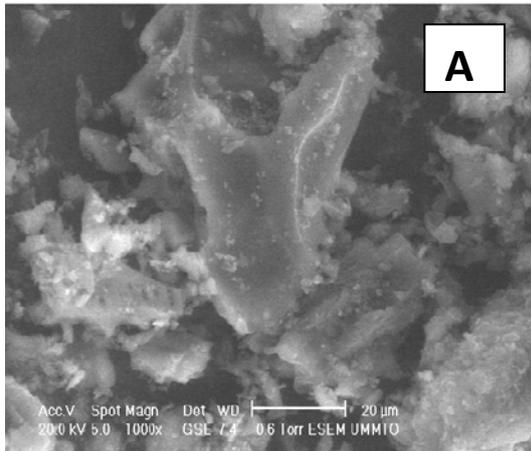
Tableau 5-3 : Attribution des bandes et pics des différents charbons

Type de charbon	Bande de vibration (cm ⁻¹)	Attribution
CO _b	3343	=C-H,OH,N-H
	2922.4	OH acide
	2855.4	-C-H-,=O-C-H
	1732.8	C=O acide
	1638.2	N-H
	1598.2	C-N
	1237.6	C=C
	1031	C-N ,O C-O
CO _p	3517	O-H
	2649	C-H
	156.1	-NO ₂
	1432	CH ₂ , O-H (déf plan)
	1139.2	C-O al ter
	1028.9	C-O al pri
	1000.5	CH=CH ₂
	869.64	C=CH ₂
	815.7	C=CH

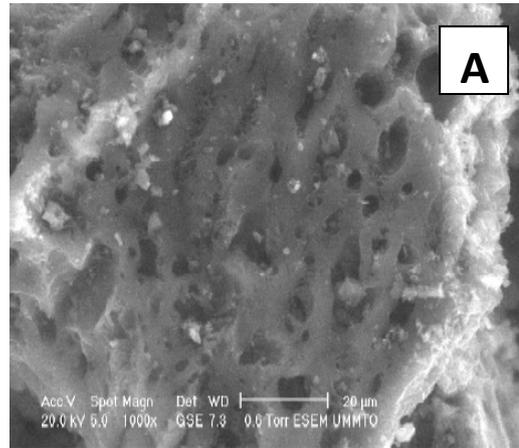
- CO_b : charbon de grignon d'olive brut
- CO_p : charbon grignon d'olive pyrolysé
- Les spectres des différents charbons utilisés après les essais d'adsorption n'ont pas été déterminés par l'auteur

• Microscopie électronique à balayage :

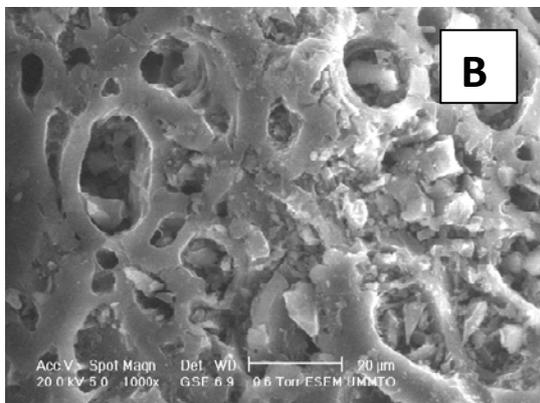
Avant adsorption



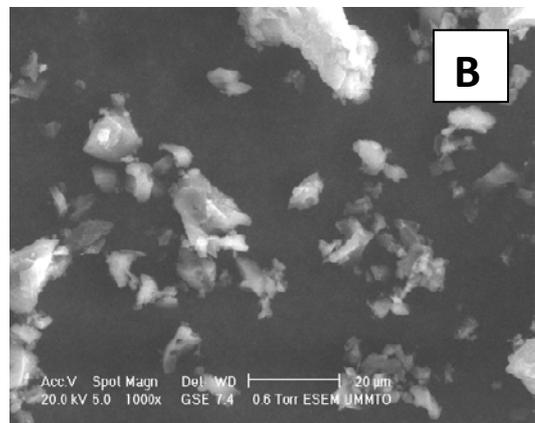
Après adsorption



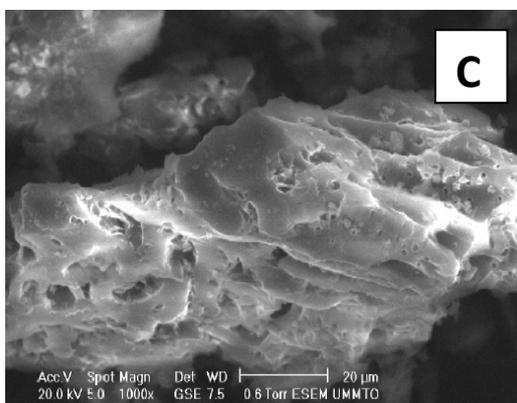
Avant adsorption



Après adsorption



Avant adsorption



Après adsorption

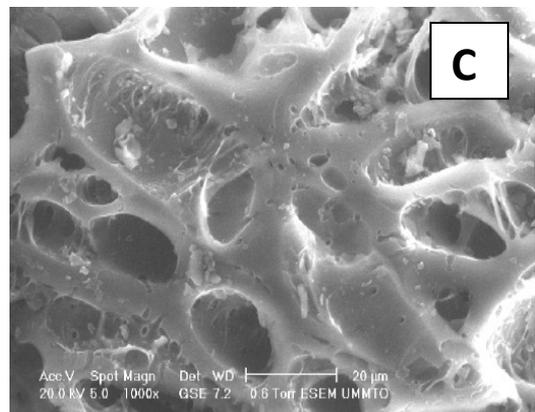


Figure 5-1 : Photographie au M.E.B des 3 charbons

(A : charbon commercial ; B : charbon pyrolysé ; C : charbon activé)

5.2.1.4 Les essais d'adsorption du bleu de méthylène sur les matériaux étudiés :

Le bleu de méthylène est une molécule organique de formule brute : $C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot 3H_2O$

- **Cinétique d'adsorption sur le Charbon Actif :**

Bleu de Méthylène à une concentration de 10mg/l a été préparé à partir de la solution mère de 1g/l , mis en contact avec 1g de charbon actif sous agitation pendant 30min.

La solution ensuite filtrée puis analysée par spectrophotométrie UV visible afin de déterminer la quantité de Bleu de Méthylène adsorbés sur les différents charbons dans le domaine de visible ($\lambda=660nm$).

Une courbe d'étalonnage a été déterminée

La capacité d'adsorption est exprimée par la relation suivante:

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_f) \cdot V}{m} \dots\dots\dots (5.1)$$

Q_e : capacité d'adsorption à l'équilibre (mg/g).

C_0 : concentration initiale (mg/l) à $t=0$.

C_f : concentration après adsorption.(finale) mg/l

V :volum de la solution (l).

m : masse de l'absorbant (g).

Le taux d'élimination est exprimé par la relation suivante

$$\text{Taux d'élimination} = \frac{C_0 - C_f}{C_0} * 100\% \dots\dots\dots (5.2)$$

C_0 : concentration initiale

C_f : concentration après 30 minutes de contact entre l'adsorbat et l'adsorbant.

Les essais d'adsorption du Bleu de Méthylène sur trois charbons étudiés (CA,CAC,CAP) ont donné les résultats illustrés dans le tableau (5-4)

Tableau 5-4 : Résultats des essais d'adsorption du Bleu de Méthylène

Charbon actif	Concentration après adsorption (mg/l)	Capacité d'adsorption Q_e (mg/g)	Taux d'élimination T (%)
Charbon activé	3,5043	6.495	64,95
Charbon Pyrolysé	1.7326	8.267	82,67
Charbon Commercial	0.07	9.93	99,3

Les capacités d'adsorption et les taux d'élimination ont été déterminés en appliquant les équations (5.1) et (5.2) respectivement

Remarque :

Le taux d'élimination varie en fonction de charbon utilisé. La capacité d'adsorption et le taux d'élimination les plus élevés correspondent au charbon commercial qui atteint plus de 99% d'élimination du colorant et pour le charbon pyrolysé le taux d'élimination est environ de 82%, par contre le charbon activé élimine que 65% du colorant.

5.2.1.5 Les essais d'adsorption des ions Cu^{2+} , Ni^{2+} :

Concernant cette partie et suite aux résultats trouvés dans la partie précédente montrant que les charbons les plus performants sont le charbon pyrolysé, charbon commercial, seuls les résultats des essais d'adsorption des ions métalliques sur ces charbons ont été donné dans ce qui suit pour ne pas trop charger ce chapitre.

5.2.1.6 Optimisation du pH des métaux par les deux charbons choisis :

L'effet du pH sur l'adsorption des cations métalliques par les deux charbons actifs choisis a été étudié dans les conditions suivantes :

$$m_{\text{charbon}} = 0.8 \text{ g/l}$$

$$d_p = [0.6-0.063] \text{ mm}$$

$$[\text{Cu}^{2+}] = [\text{Ni}^{2+}] = 21 \text{ mg/l}$$

$$V_{\text{solution}} = 1 \text{ L}$$

$$t_{\text{contact}} = 2 \text{ h}$$

$$\text{pH } \text{Cu}^{2+} = [4 ; 6]$$

$$\text{pH } \text{Ni}^{2+} = [4 ; 6 ; 8]$$

Les résultats de l'optimisation du paramètres (pH) sont donnés par le tableau (5-5)

Tableau 5-5 : Résultats d'optimisation du pH

Le paramètre à optimiser pH	Les métaux à éliminer			
	$\text{Cf} = [\text{Ni}^{2+}]_f$		$\text{Cf} = [\text{Cu}^{2+}]_f$	
	CAC	CP	CAC	CP
pH = 4	/	/	/	/
pH = 6	12.35	13.7	17.15	14.01
pH = 8	/	/	/	/

5.2.1.7 Cinétique d'adsorption des ions Ni^{2+} et Cu^{2+} sur les deux charbons choisis :

L'influence de la concentration initiale des solutions métalliques sur le rendement de l'adsorption a été étudiée. Le suivi de l'effet de la concentration a été effectué dans les conditions suivantes : 0,8 gramme du charbon actif de granulométrie 0,6 – 0,063 mm, pH=6 pour les deux ions (Cu^{2+} , Ni^{2+}), agitation 300tr/min, température ambiante.

• Variation des concentrations des ions Ni^{2+} et Cu^{2+}

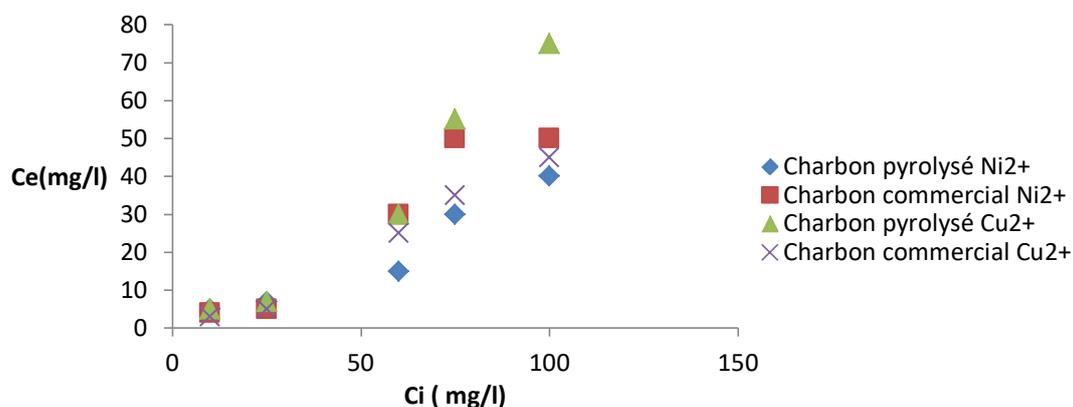


Figure 5-2 : Adsorption d'ions Cu^{2+} et Ni^{2+} sur les différents charbons à différentes concentrations

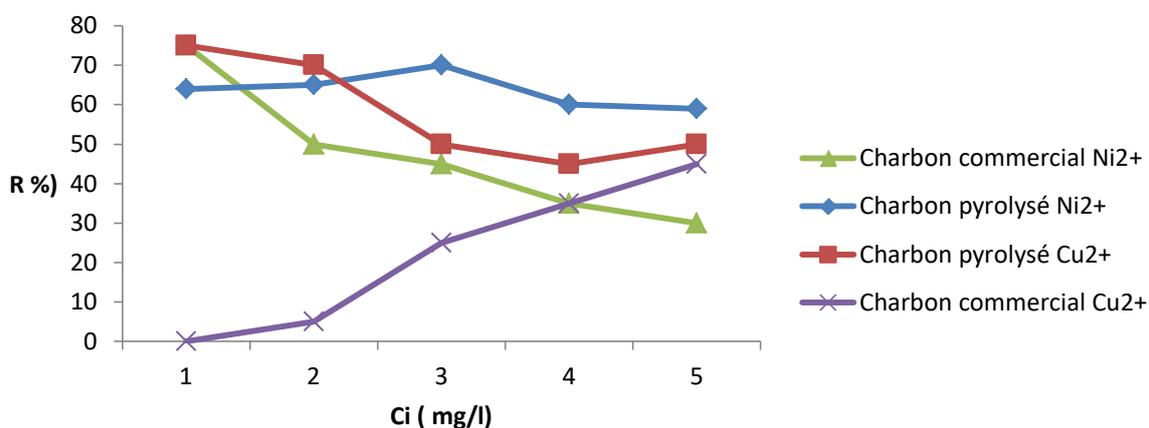


Figure 5-3 : Rendement d'ions Cu^{2+} et Ni^{2+} sur les différents charbons à différentes concentrations

D'après ces valeurs, la grande affinité de l'adsorption des ions Cu^{2+} est sur le charbon commercial et celle de l'adsorption des ions Ni^{2+} est sur le charbon pyrolysé. Ceci peut être

expliqué par la plus grande interaction entre les ions métalliques et l'absorbant ; donc l'accroissement de la capacité d'absorption des ions Cu^{2+} et Ni^{2+} est par l'abondance des ions Cu^{2+} et Ni^{2+} en augmentant leurs concentrations initiales dans la solution aqueuse, ce qui augmente les interactions entre les sites actifs des charbons actifs et ces métaux.

5.2.1.8 Conclusion :

Au terme de ce travail, il convient de noter que les charbons actifs préparés par les auteurs de ce travail ont des caractéristiques physico-chimiques comparables à celles des charbons commerciaux. Ces charbons présentent de grandes surfaces spécifiques et ont développé une bonne porosité. Ils possèdent un faible caractère acide et présentent dans l'ensemble une bonne affinité avec le cuivre et le nickel, lesquels peuvent être facilement éliminés. Cependant, la méthode de la pyrolyse nous paraît la meilleure d'autant plus que tous les charbons obtenus par cette technique, permet une élimination quasi-totale d'ions de cuivre et du nickel en solution aqueuse.[1]

5.2.2 Second travail : «Élimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture », université Ferhat Abbas SETIF-1 [2].

5.2.2.1 Le but de l'étude :

L'étude a pour but de préparer des charbons actifs à partir de déchets de l'agriculture afin d'obtenir un produit applicable au traitement des eaux et notamment pour la décoloration des effluents utilisés dans l'industrie textile. Cette étude présente un intérêt double, tout d'abord, il s'agit de préparer des charbons actifs (valoriser les résidus de l'agriculture en les utilisant comme précurseur). En second lieu, d'utiliser ces charbons dans le traitement des eaux.

5.2.2.2 La préparation de la matière à tester :

Les matériaux bruts issus de l'agriculture qu'ils ont testé sont au nombre de trois. Il s'agit des noyaux d'olives (NO), de nêfles (NN) et d'abricots (NA). Les noyaux ont été récoltés dans la région de Bouandas située au nord du Sétif.

Les différents types de charbon actif ont subi le même traitement d'activation illustré par l'organigramme suivant.

5.2.2.3 Les différentes méthodes utilisées pour la caractérisation :

L'emploi de ces supports adsorbants dans le domaine de traitement des eaux, nécessite la connaissance de leurs propriétés physico-chimiques, en effet ces dernières sont données par le tableau 5-6.

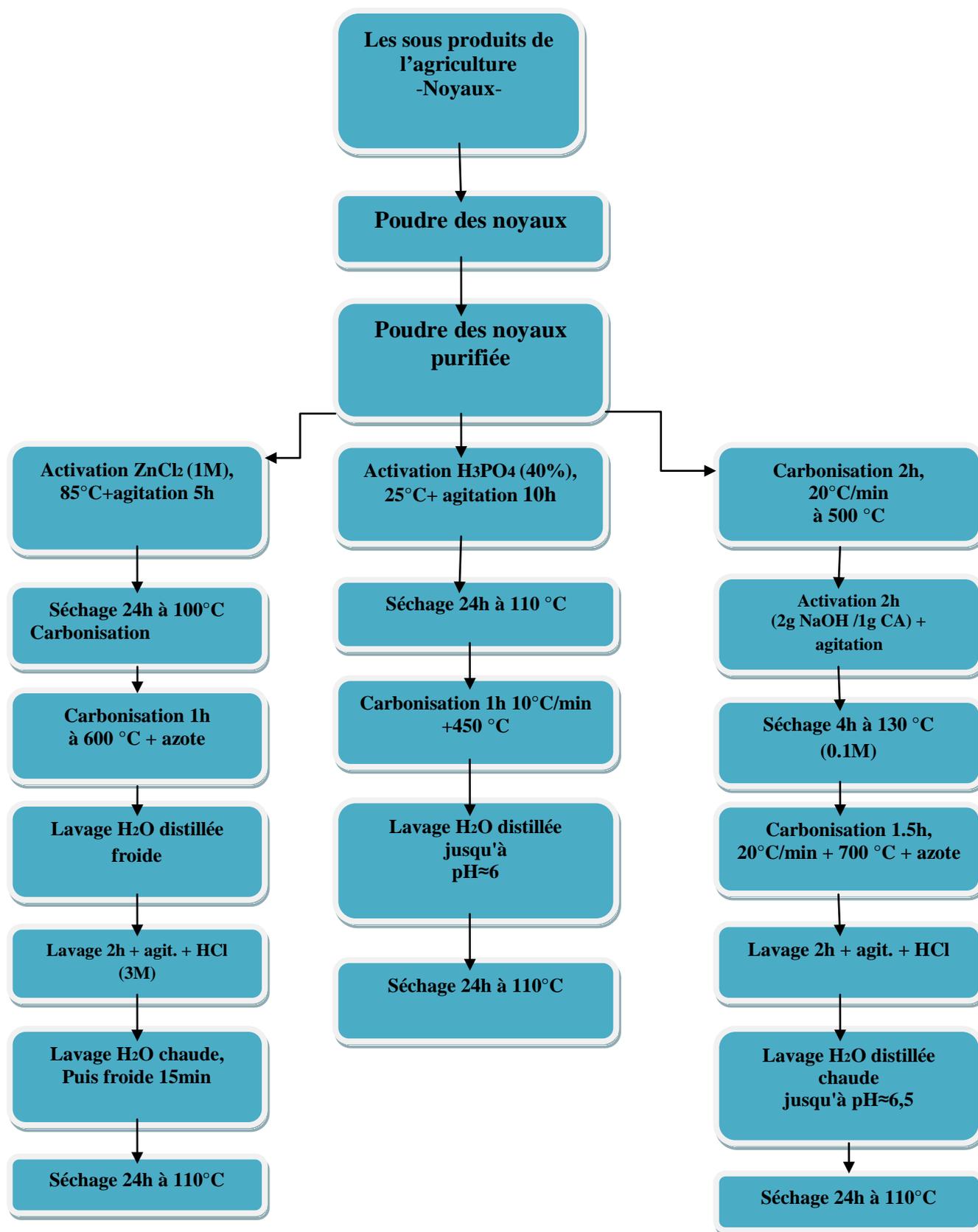


Figure 5-4 : Organigramme qui illustre les différents procédés d'activation des charbons actifs

Tableau 5-6 : Différentes méthodes de caractérisation des charbons actifs

Paramètre à déterminer	Méthode	Résultat obtenu
La teneur en humidité H%	$h\% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} * 100$	H% (NOBr) = 6.9 H % (NOA) = 3.7 H % (NNS) = 11.1 H% (NOS) = 10.6 H% (NABr) = 5.1 H % (NNBr) = 4.6 H% (NAA) = 5.9 H % (NNA) = 1.8 H% (NAS) = 9.2
Le taux de cendre C%	$c\% = \frac{m_3 - m_2}{m_1} * 100$	C%(NOBr) = 0.02 C%(NOA) = 3.4 C%(NNS) = 0.2 C%(NOS) = 0.22 C%(NABr) = 0.18 C%(NNBr) = 0.64 C% (NAA) = 5.2 C%(NNA) = 2.3 C%(NAS) = 0.56
Indice d'iode	$I_d = \frac{(V_b - V_s). N. (126,9). (\frac{15}{10})}{M}$	I _d (NOBr) = 190.4 I _d (NABr) = 266.5 I _d (NOA) = 571 I _d (NAA) = 533 I _d (NOS) = 456.8 I _d (NAS) = 418.8 I _d (NNBr) = 304.6 I _d (NNS) = 685.3
Le pH de point de charge nulle	pH du point de charge zéro ou nulle, correspond à la valeur de pH pour laquelle, la charge nette de la surface des adsorbants est nulle $\Delta pH = pH_f - pH$	Les valeurs de pH _{PZC} de NOS, NNS et de NAS sont égales à 3.80, 3.2 et à 3.0 respectivement
Calcul de l'acidité et l'alcalinité d'un matériau adsorbant	La méthode de Boehm qui correspond au titrage acido-basique des groupements fonctionnels de surface. < 0,3mmol/g = basicité faible >2mmol/g = acidité forte	La majorités des groupements fonctionnelles de la surface sont acide . Plus de sites acides indiquent plus de groupements oxygénés qui permettent une grande adsorption des colorants cationiques,
Variation de masse en fct (T°)	L'analyse thermo-gravimétrique (ATG/DTG) Le mécanisme de la décomposition thermique des charbons actifs repose sur la division de la température en intervalles. Premièrement la pectine se décompose entre (210-230°C), ensuite l'hémicellulose entre (200-270°C), la cellulose entre (240-350°C) et en la fin lignine entre (280-500°C). La température de décompositions dépend du matériau utilisé et du mode de traitement chimique employé	Donc les NOBr, NNBr et NABr peuvent contenir de la cellulose et de la lignine. Cependant c'est difficile d'identifier la décomposition des particules

Identification de la nature des phases cristallines ou amorphes des adsorbants	La diffraction des rayons X	.Les diagrammes de diffraction de différents charbons actifs NOA, NOS, NOB, NNA, NNS,NNB, NAA, NAS et NNB montrent presque la même allure qui présente une structure amorphe présentent les mêmes pics de diffraction à 25 et 43 ° qui sont attribués respectivement à la présence du carbone / graphite et l'hémicellulose déshydratée
Détermination des bandes caractéristiques	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier un appareil de spectroscopie IF de type FTIR 8400S Shimadzu utilisant la technique de la pastille KBr sous haute pression.[4000 et 400 cm ⁻¹]. Nombre de scan : non cité	Les résultats des spectres sont donnés en dessous
Déterminer la surface spécifique des solides adsorbants	Application de la théorie BET (Brunauer, Emmett et Teller)	La caractérisation texturale des matériaux adsorbants a permis de déterminer l'effet des agents activant sur la structure poreuse du matériau adsorbant. Il a été déterminé à ce niveau que les surfaces BET des charbons actifs sont plus élevées que celles des matériaux brutes. Ceci est dû à l'activation chimique qui a un grand effet sur les propriétés texturale des adsorbants La distribution de taille des pores montre que les surfaces des charbons actifs activés avec H ₃ PO ₄ sont majoritairement mésoporeuses et ils peuvent être d'excellents adsorbants pour les molécules organiques de grande taille.
Estimation des surfaces externes (t plot de De Boer)	La méthode t-plot de De Boer	
Volume poreux total	On considère la quantité adsorbée entre la pression relative P/P ₀ , où se termine la courbe d'adsorption et la valeur de P/P ₀ =0.99 règle de Gurvitch	
Distribution de rayon des pores	On utilise les courbes de désorption (pores en lamelles).	

Les matériaux synthétisés par l'activation chimique ont montré des propriétés excellentes pour les phénomènes d'adsorption

- Le spectre IF :

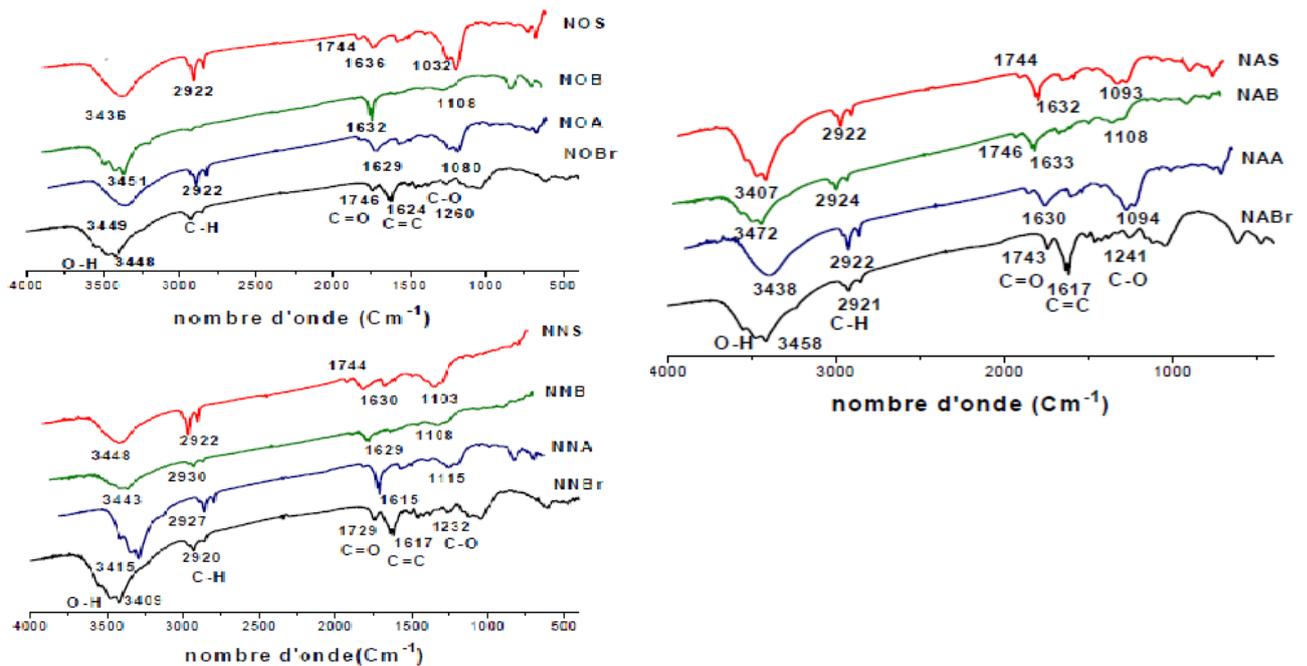


Figure 5- 5 : spectres IR des matériaux bruts et des charbons actifs étudiés

5.2.2.4 Etude de l'élimination des colorants par adsorption :

Dans cette étude le Bleu de méthylène et Vert brillant ont été utilisé.

Des solutions mères du BM et du VB avec une concentration de 1000 mg/l ont été préparé en mélangeant une quantité appropriée de BM ou VB avec de l'eau distillée. Ainsi, l'adsorption du bleu de méthylène (Fluka) et du vert brillant (Sigma-Aldrich, teneur en colorant ≥ 90 %), ont été étudié sur les matériaux qui présentent une grande surface spécifique

Leurs longueur d'onde du maximum d'absorption est de (663nm) pour BM et de (624 nm) pour VB . une courbe d'étalonnage pour chaque colorant a été déterminé au préalable

Les paramètres suivants on été optimisé

Le temps ; la concentration ; le pH ; la masse et les paramètres thermodynamiques

5.2.2.5 Influence des paramètres suscités sur la capacité d'adsorption des deux colorants :

Des cinétiques d'adsorption ont été résumées sur les deux charbons les plus performants,

$$q_{ads} = \frac{(C_0 - C_t) * V}{m} \dots \dots \dots (5.3)$$

Où :

q_{ads} : la quantité adsorbée à l’instant t en (mg/g).

V : le volume de la solution en (ml).

C₀ et C_t : sont respectivement, la concentration initiale et la concentration à l’instant t du colorant en (mg/l).

M : la masse de l’adsorbant en (g).

La mesure de la quantité d’adsorption de chaque cinétique (équation 5.3) nous a permis d’optimiser les paramètres déjà cités et les résultats sont donnés dans le tableau 5-7

Tableau 5-7 : Résultats d’optimisation des cinétiques d’adsorption

Matériau Paramètre	NOA – BM	NOA - VB	NNA.- BM	NNA.- VB
	Valeurs optimisé			
<p>Temps de contact (mn) m=50mg ;V=50ml ;PH_{BM}=6 ;PH_{VB}=4 ;T=24°C ; Vit =250tr/min</p>	120	100	60	60
<p>pH m=50mg, V=50ml, T=24°C, C=100mg/l et vit=250 tr/min t_c=120 mn</p>	6	4	6	4
<p>T° PH_{BM}= 6, PH_{VB}= 4, C_{BM}= 90mg/l, C_{VB}=110mg/l, m=50mg, V=50ml et Vit=250tr/min , t_c=120mn</p>	24 c°	24 c°	24 c°	24 c°
<p>La masse mg/l PH_{BM}= 6, PH_{BV}=4, C=100mg/l, T=24C°, V=50ml et Vit=250tr/min , t_c=120 mn</p>	90	110	90	100

5.2.2.6 Modélisation des isothermes d'adsorption

❖ Modélisation linéaire par le modèle de Langmuir :

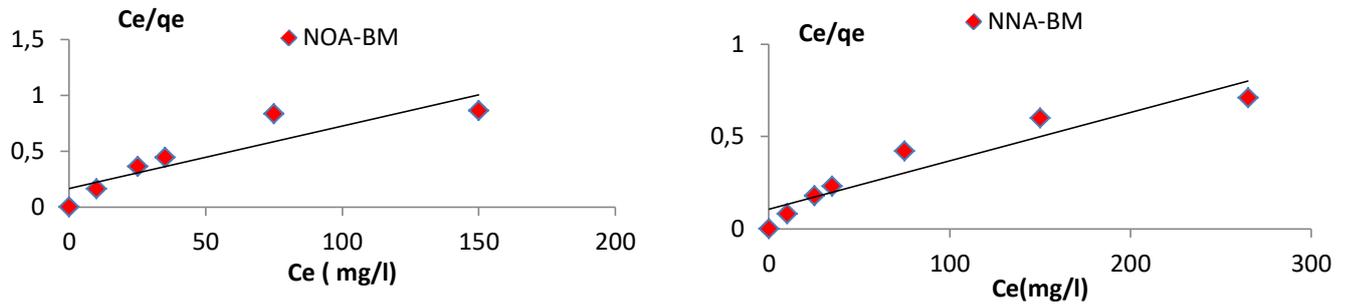


Figure 5-6 : modélisation linéaire par le modèle de Langmuir de l'isotherme du BM sur NOA et NNA

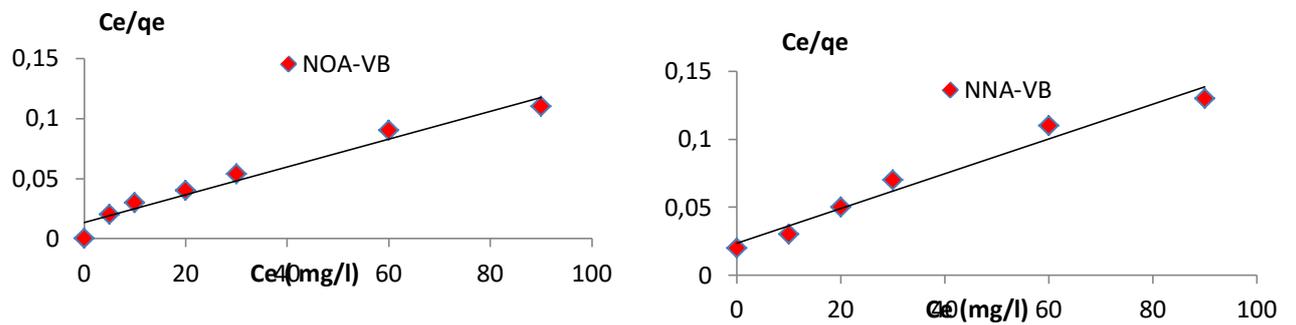


Figure 5-7 : modélisation linéaire par le modèle de Langmuir de l'isotherme du VB sur NOA et NNA

❖ Modélisation linéaire par le modèle de Freundlich

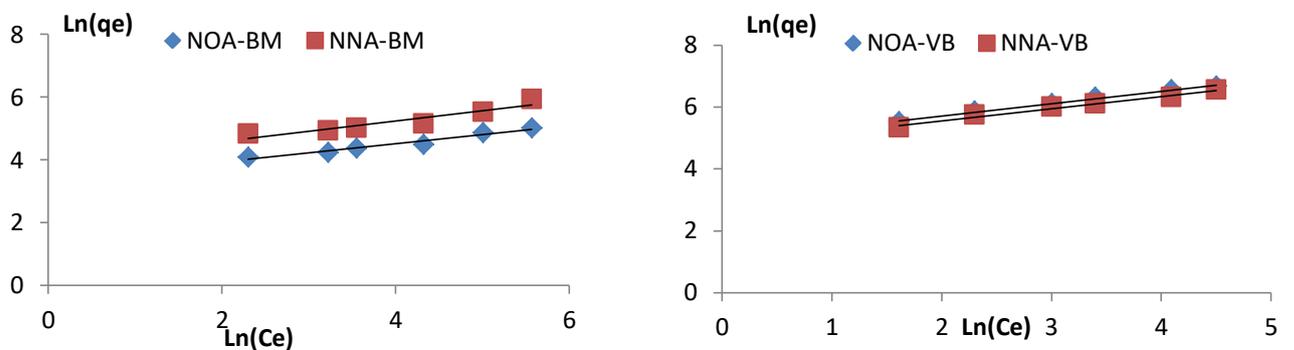


Figure 5-8 : modélisation linéaire par le modèle de Freundlich de l'isotherme du BM et VB du sur NOA et NNA

Tableau 5-8 : les résultats de la modélisation des isothermes des NOA et NNA.

	BM		VB	
	NOA	NNA	NOA	NNA
Langmuire				
Q_{max} (mg/g)	144.93	280.90	750.2	700.3
K₁	0.14	0.2	0.37	0.28
R²	0.964	0.989	0.967	0.957
Freundlich				
nf	6.9	3.6	3.5	2.8
k_f(mg/g)(1/mg)^{1/n}	59.0	63.3	209.4	145.0
R²	0.915	0.872	0.958	0.992

Les isothermes d'adsorption sont simulées très correctement par le modèle linéaire de Langmuir puisque c'est le modèle le plus crédible qui décrit mieux les résultats expérimentaux

5.2.2.7 Conclusion

.La synthèse des charbons actifs a été faite par la méthode d'activation chimique ensuite les charbons ont été caractérisés par : L'analyse Thermogravimétrique (ATG), la Diffraction des Rayons X (DRX), la Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (IRTF) et la technique de mesure de la surface spécifique (BET). Les fonctions de surface, les taux d'humidité, les taux de cendre, les indices d'iode, ces méthodes ont permis de déterminer des variations de comportement des charbons activés obtenus pour différents agents activant .

L'étude a porté sur l'élimination du bleu de méthylène et du vert brillant par les différents charbons actifs en fonction de différents facteurs susceptibles d'affecter le rendement de cette réaction comme le temps de contact, le pH de la solution, la dose d'adsorbant, et la concentration de la molécule adsorbée

Les isothermes d'adsorption ont été simulées et le modèle linéaire de Langmuir est le modèle qui décrit mieux nos résultats expérimentaux.

5.2.3 Troisième travail : «Valorisation de la sciure de bois par modification chimique dans l'élimination du pesticide 4,4-DDT présent dans l'eau » Article publié en 2008 [3].

5.2.3.1 But de l'article :

L'objectif de ce travail est de valoriser la sciure de bois dans l'élimination d'un pesticide (le 4,4-DDT) de l'eau par adsorption. Après modification chimique d'un des composants du bois (la cellulose) par greffage et réticulation, les capacités d'adsorption de ce produit sont comparées à celles d'un charbon actif en poudre (CAP) obtenu par broyage et tamisage du charbon actif Filtrasorb F400. L'influence de la présence d'acides humiques sur ces capacités d'adsorption est aussi étudiée.

5.2.3.2 La préparation de la matière a testé :

Le matériau étudié est la sciure d'épicéa qui a subi un prétraitement au préalable, en effet ce dernier est lavé puis séché à 30 C°. Le diamètre choisi est estimé à 500 µm .Le matériau a subi une modification qui a pour objectif l'accroissement de la capacité de fixation des adsorbats à éliminer. La modification a été réalisée selon le protocole schématisé sur la figure 5-9

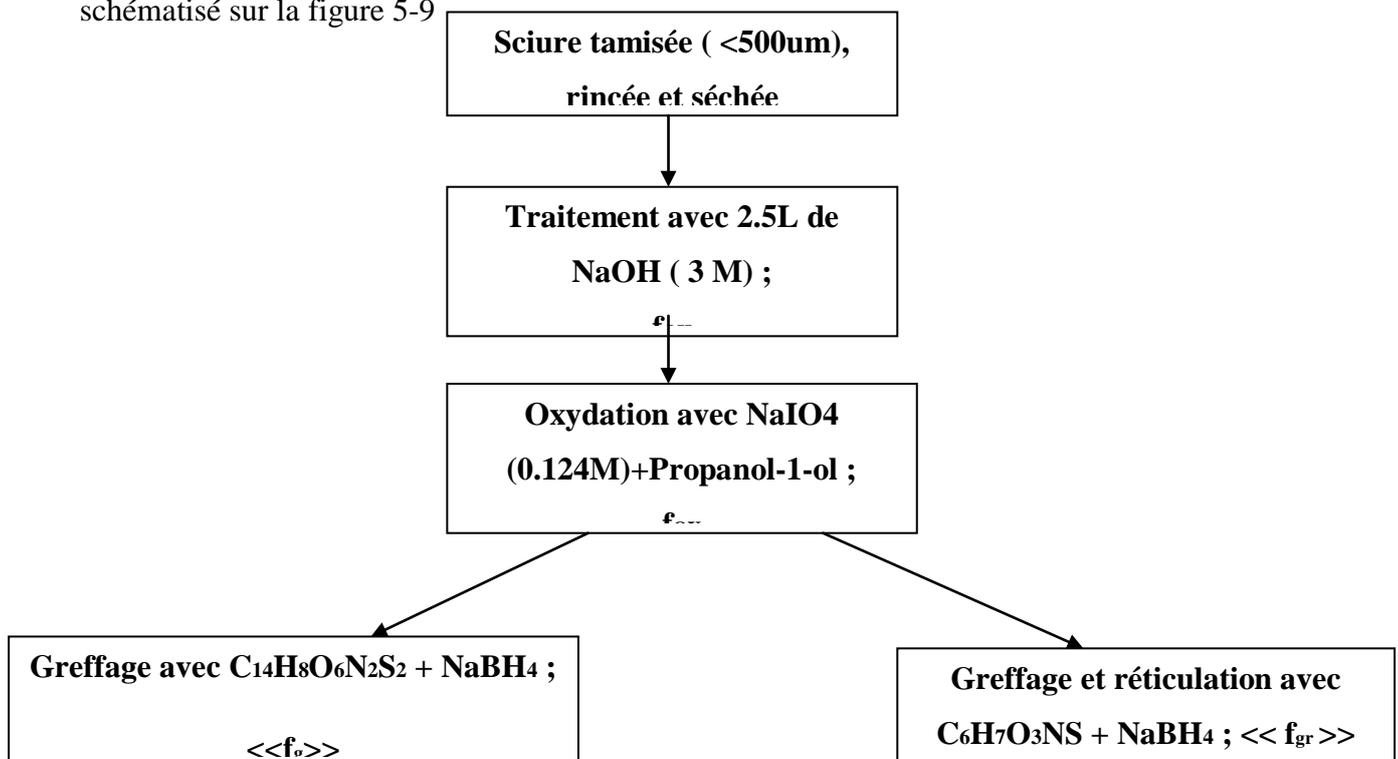


Figure 5-9 : Schéma du protocole expérimental de la modification de la sciure

5.2.3.3 Caractéristiques des matériaux utilisés et appareil utilisé :

Tableau 5-9: de caractérisation des charbons actifs

Matériau	Origine	Diamètre	Surface spécifique
Sciure de bois	Arbre épicéa	<500 μm	-
Charbon actif	Filtrisorb F400 Chimviron	$\leq 50 \mu\text{m}$	1050– 1200 m^2/g

5.2.3.4 Essais d'adsorption en réacteur discontinu :

L'adsorption a eu lieu en mode batch (discontinu) dans des flacons fermes contenant 250 ml de solution de concentration initiale de 4 mg.l/1(C₀) du pesticide 4,4-DDT dans de l'eau ultra-pure avec des masses connues d'adsorbant. Ces solutions sont maintenues sous agitation continue à 300 tr. Min/1, les masses d'adsorbants ont été fixées respectivement à 0,8 g, 0,5 g, 0,3 g et 0,05 g pour la sciure vierge, la sciure « f_g », la sciure « f_{gr} » et le CAP F400. Les conditions opératoires pour la détermination de la quantité de 4,4-DDT adsorbée par HPLC sont les suivantes :

Le chromatographe liquide à haute performance (HPLC) est de marque Gilson (France) et est composée d'une pompe mono piston modèle 302, d'un module manométrique modèle 802, d'un détecteur spectrophotométrique UV/ Visible type Holochrome, d'une vanne d'injection Rhéodyne 7125 muni d'une boucle d'injection de 20 ml, d'une colonne Sphérisorb 5 ODS-2 de 25 cm de longueur et 4,6 mm de diamètre interne (OSI, France) et d'un système d'acquisition de données chromatographiques Clarity

❖ Les rendements massiques d'obtention des sciures :

Le rendement massique obtenu pour chaque sciure modifiée est calculé par le rapport de la masse de sciure finale sur la masse de sciure initiale. Le tableau 5-10 présente les rendements obtenus pour les sciures modifiées, greffées et réticulées.

Tableau 5-10 : Résultats du rendement massique des différentes sciures

Rendement massique d'obtention des sciures R (%)	Sciures modifiées	F _{OH}	59
		F _{OX}	97
	Sciures greffées et réticulées	f _g	13
		f _{gr}	63

5.2.3.5 Cinétique d’adsorption :

Pour étudier l’effet du temps d’agitation sur l’élimination par adsorption du 4,4-DDT sur les 4 matériaux utilisés, les auteurs ont tracé le graphe portant $\frac{x}{c_0}$ en fonction du temps ($x = C_0 - C_r$) C_0 et C_r concentrations initiales et résiduelles du pesticide respectivement.

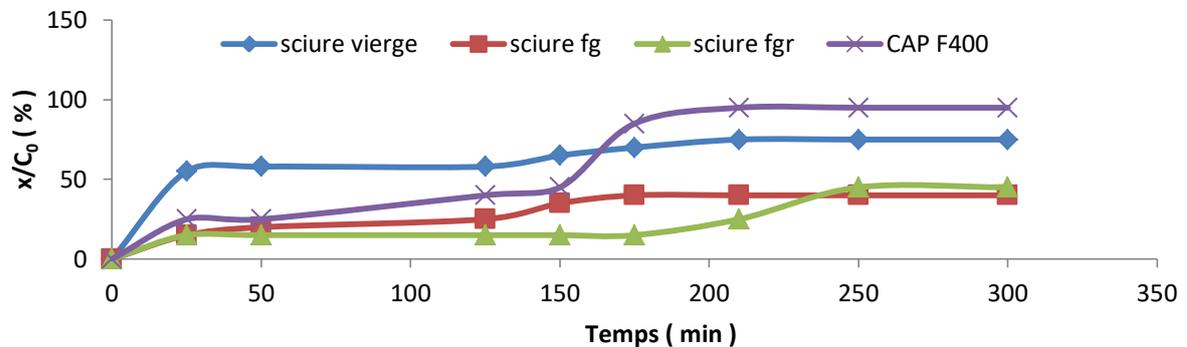


Figure 5-10 : Représentation graphique de la cinétique d’adsorption du 4,4-DDT sur les 4 matériaux

Les courbes obtenues montrent bien que la cinétique d’adsorption se déroule dans tous les cas en quatre étapes : une première phase rapide, une deuxième beaucoup plus lente avec formation d’un palier, une troisième caractérisée par un changement de la pente de la courbe et une quatrième où un pseudo équilibre est atteint et les cinétiques deviennent très lentes.

A l’équilibre, les courbes se présentent sous forme d’un plateau montrant que l’adsorption du soluté est maximale. Cette valeur maximale représente la capacité ultime d’adsorption et traduit un recouvrement total de la surface de l’adsorbant utilisé. Cet état est atteint au bout de 4 h d’agitation dans le cas de la sciure vierge, de la sciure « fg » et du CAP F400 contre 6 h d’agitation dans le cas de la sciure « fgr ».

5.2.3.6 Déterminations des Isothermes d’adsorption :

❖ **Le modèle de Langmuir :**

L’équation correspondant au modèle de Langmuir est :

$$Q_e = \frac{q_m \cdot b \cdot c_e}{1 + b \cdot c_e} \dots \dots \dots (5.4)$$

- Q_e** : est la quantité de l’adsorbant adsorbée en mg.g⁻¹ ;
- q_m** : la capacité maximum d’adsorption de l’adsorbant en mg.g⁻¹ ;
- b** : la constante d’équilibre de la réaction soluté /adsorbant en L.mg⁻¹ ;
- C_e** : la concentration de l’adsorbant en solution à l’équilibre en mg.L⁻¹.

Les tracés des courbes : $1/Q_e = f(1/C_e)$ sont présentés sur la figure (5- 14)

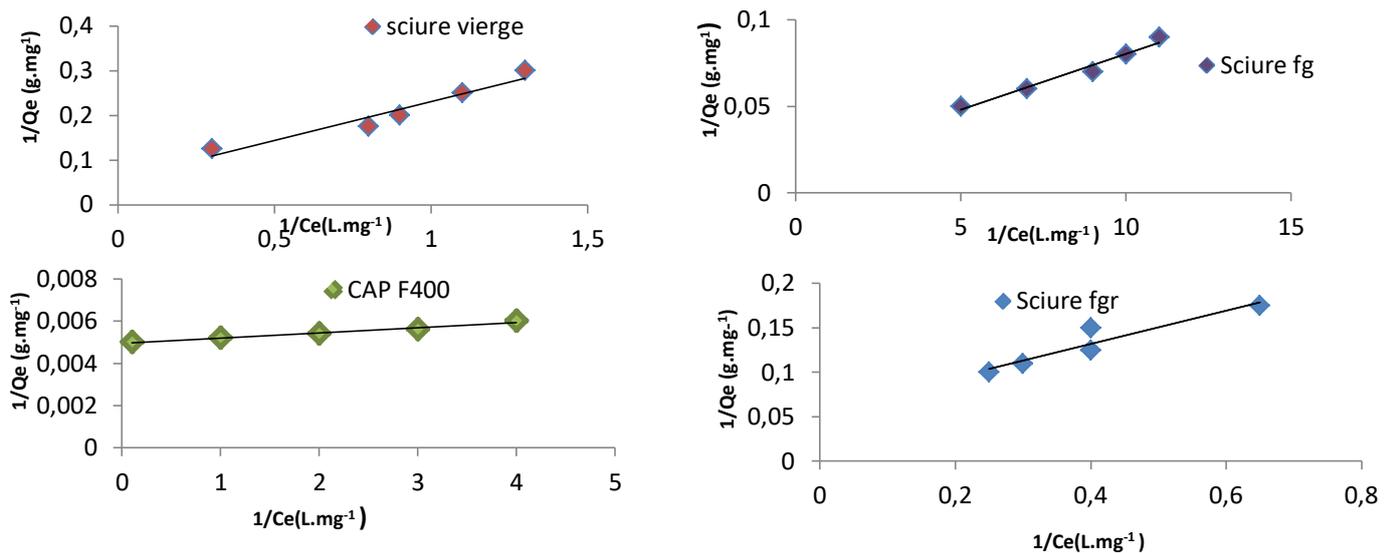


Figure 5-11 : Isothermes d’adsorption du 4,4-DDT sur 4 matériaux selon le modèle de Langmuir à 21 C° et pH= 6,5ou 0,2

Le tableau (5-11) renferme les valeurs de Qm (en mg.g⁻¹) et b (en L.mg⁻¹). Il contient aussi les valeurs du facteur de séparation ou paramètre d’équilibre a. Ce dernier, une constante adimensionnelle, est une des caractéristiques essentielles de l’équation de l’isotherme d’adsorption de Langmuir, déterminant la nature de l’isotherme

❖ **Modèle de Freundlich :**

L’équation correspondant au modèle de Freundlich est :

$$Q_e = k_f \cdot C_e^{\frac{1}{n_f}} \dots\dots\dots(5.5)$$

Kf et n : sont des constantes caractéristiques de l’adsorption décrite par le modèle de Freundlich

Qe : est la quantité de l’adsorbat adsorbé en mg.g⁻¹

Ce : la concentration de l’adsorbat en solution à l’équilibre en mg.L⁻¹

La figure 5-15 montre les courbes log (Qe) en fonction de log (Ce) pour les différents adsorbants étudiés. Ces derniers nous ont permis de déterminer les constantes d’isothermes d’adsorption de Freundlich (Kf) et (1/n) qui sont consignées dans le tableau (5-11)

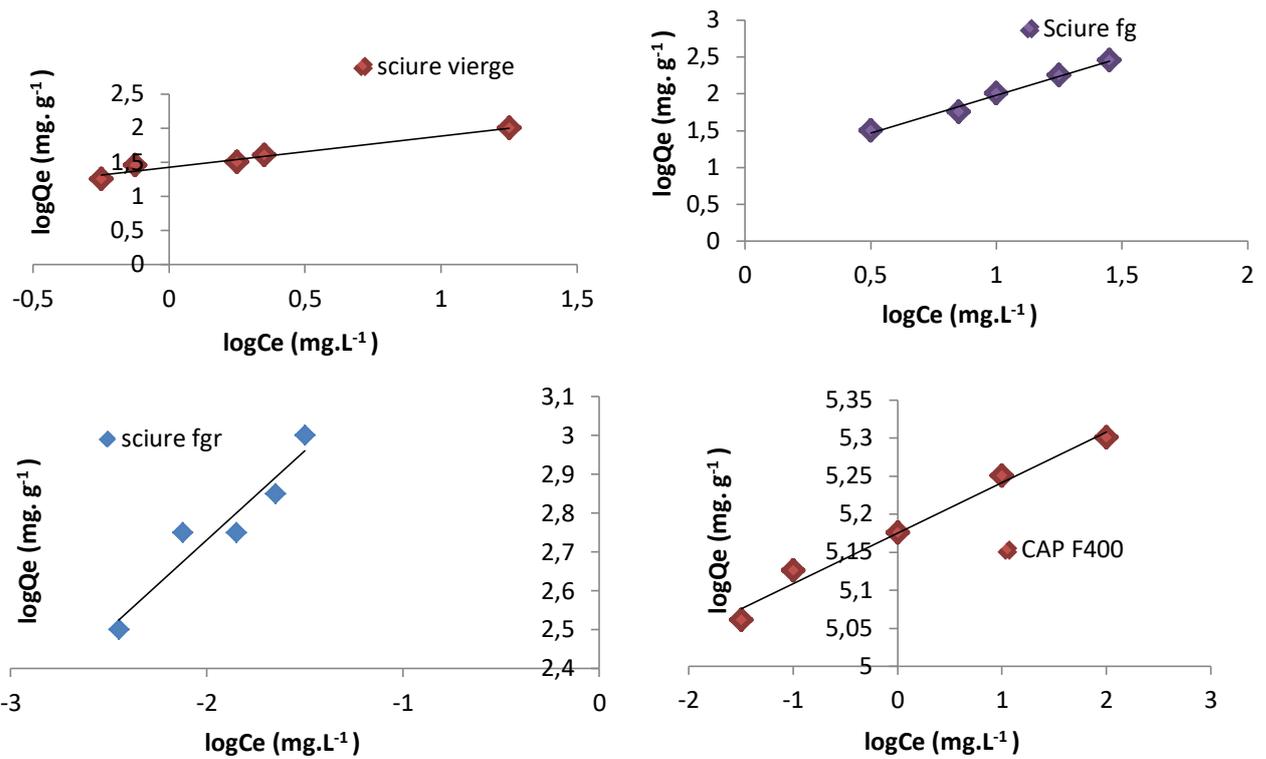


Figure 5-12 : Isothermes d’adsorption du 4,4-DDT sur 4 matériaux selon le modèle de Freundlich à 21 C° et pH= 6,5ou 0,2

❖ **Modèle de Dubinin-Radushkevich :**

Le modèle de Dubinin-Radushkevich a été choisi pour estimer les caractéristiques de la porosité des matériaux adsorbants étudiés et la capacité maximale d’adsorption théorique. Il est appliqué dans sa forme linéaire suivante :

$$\log Q_c = \log X_m - K_{DR} \epsilon^2 \dots\dots\dots(5.6)$$

$$\epsilon = RT \log\left(1 + \frac{1}{C_e}\right) \dots\dots\dots(5.7)$$

- X_m** : la capacité maximale théorique en mg.g⁻¹;
- K_{DR}** : la constante du modèle Dubinin-Radushkevich en mol².KJ⁻²
- ε** : le potentiel de Polanyi

Les courbes linéaires des isothermes de Dubinin-Radushkevich du 4,4-DDT ($\log Q_e = f(\mathcal{E}^2)$) sur les quatre matériaux sont présentées sur la figure 5 et les paramètres des isothermes sont exposés dans le tableau (5-11)

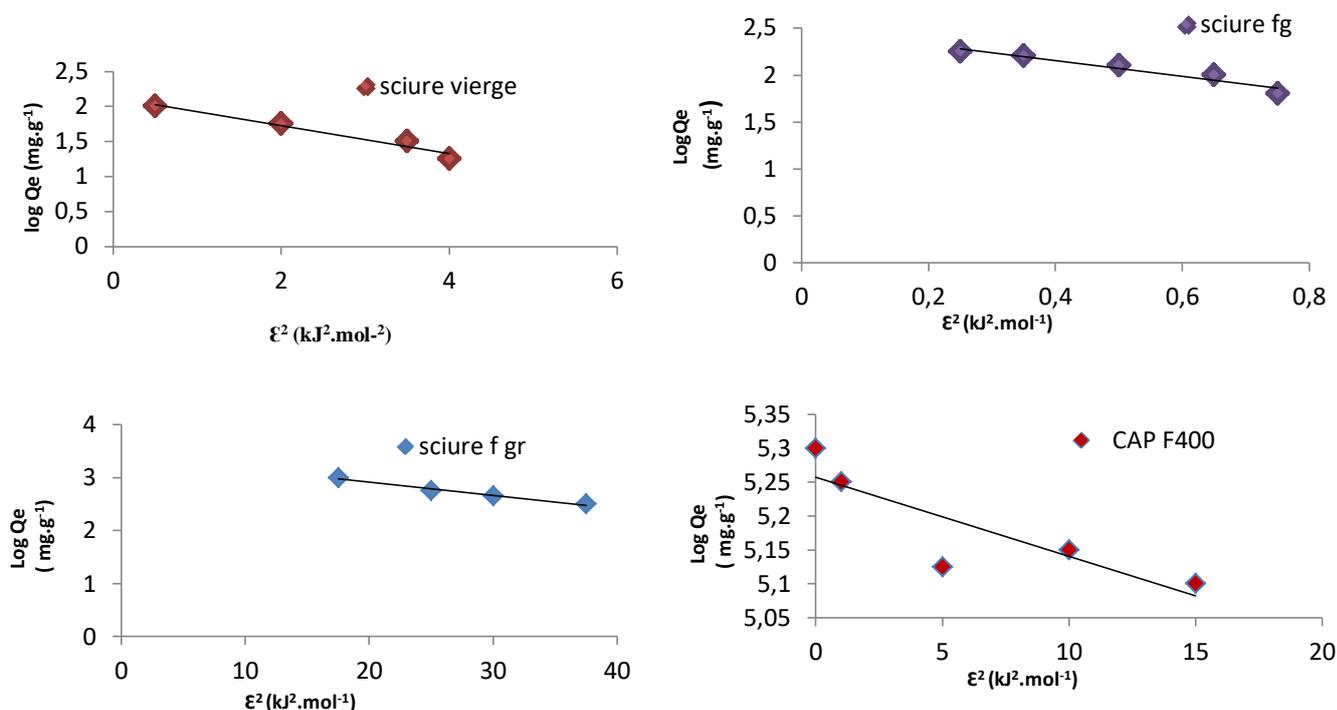


Figure 5-13 : Isothermes d'adsorption du 4,4-DDT sur les différents adsorbants selon le modèle de Dubinin-Radushkevich à 21 C° et pH= 6,5 ou 0,2

Tableau 5-11 : Paramètres des isothermes de l'adsorption du 4,4-DDT sur les différents Adsorbants

	Sciure vierge	Sciure f _g	Sciure f _{gr}	CAP F400
Langmuire				
Q_{max} (mg/g)	13.5	18.7	51.8	200.1
b	0.44	0.25	0.36	0.06
a	0.36	0.50	0.41	0.81
R²	0.989	0.981	0.987	0.985
Freundlich				
1/n	0.55	0.64	0.73	0.07
k_f(mg/g)	4.1	5.6	62.2	175.9
R²	0.977	0.987	0.992	0.990

Dubinin-Radushkevich				
$K_{DR} \text{ (mol}^2 \cdot \text{kJ}^{-2}\text{)}$	0.23	0.50	0.03	0.01
$X_m \text{ (mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{)}$	8.2	10.3	36.3	194.8
$E_s \text{ (kJ} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$	1.48	1.00	3.89	5.95
R^2	0.982	0.920	0.977	0.855

5.2.3.7 Influence de la présence de la matière organique naturelle

❖ Modélisation des isothermes d'adsorption du 4,4-DDT en présence de la matière organique naturelle :

L'étude de l'influence de la présence de la matière organique naturelle sur l'adsorption du 4,4-DDT a été réalisée uniquement sur la sciure « f_{gr} » et ce compte tenu de ses capacités d'adsorption supérieures observées par rapport à la sciure « f_g ». Des isothermes d'adsorption ont été réalisées dans les mêmes conditions opératoires que précédemment. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (5-12)

Tableau 5-12: Paramètres des isothermes de l'adsorption du 4,4- DDT obtenus sur la sciure « f_{gr} » et en présence d'acides selon les différents modèles utilisés

Langmuire	Sciure f_{gr}	Freundlich	Sciure f_{gr}	Dubinin-Radushkevich	Sciure f_{gr}
$Q_{max} \text{ (mg/g)}$	36.8	$1/n$	0.84	$K_{DR} \text{ (mol}^2 \cdot \text{kJ}^{-2}\text{)}$	0.23
b	0.13	$k_f \text{ (mg/g)}$	4.3	$X_m \text{ (mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{)}$	8.2
a	0.65	R^2	0.976	$E_s \text{ (kJ} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}$	1.48
R^2	0.976			R^2	0.93

5.2.3.8 Conclusion

Les résultats obtenus lors des essais de cinétique d'adsorption ont montré que Le processus d'adsorption est beaucoup plus rapide dans le cas de la sciure vierge que pour les sciures modifiées.

Les isothermes d'adsorption réalisées dans la seconde partie du travail ont conduit aux résultats suivants :

- Les valeurs expérimentales obtenues pour l'adsorption du 4,4-DDT sur la sciure vierge, la sciure « f_g » et le CAP F400 sont bien ajustées par le modèle de Langmuir, tandis que celles obtenues avec la sciure « f_{gr} » sont mieux ajustées par les modèles de Freundlich.

Les isothermes d'adsorption réalisées en présence de matière organique naturelle (Acides humiques) ont conduit aux constatations suivantes :

- Les données expérimentales obtenues avec la sciure vierge en présence de matière organique sont mieux ajustées par le modèle de Dubinin- Radushkevich, celles obtenues avec la sciure « f_{gr} » le sont par le modèle de Freundlich et celles obtenues avec le CAP F400 le sont par le modèle de Langmuir.

La synthèse de sciure greffée et celle de la sciure greffée-réticulée a conduit à une amélioration des capacités d'adsorption de la sciure vierge. [3]

5.3 Bibliographie :

- [1] S.Ouikene ,N.Chemur «Etude comparative entre un adsorbant utilisé à la station de traitement des eaux de Taksebt et des adsorbants préparés à base de grignon d'olive» mémoire de master Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou 2015
- [2] F. Benamraoui «Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture» magister universite Ferhat Abbas Setif-1ufas (Algerie) 2014
- [3] R. BOUSSAHEL, S. A. OULDRAMOUL, D. HARIK , M. MAMMAR et K.M. MOUSSAOUI «Valorisation de la sciure de bois par modification chimique dans l'élimination du pesticide 4,4-DDT présent dans l'eau» Article publié par EDP Sciences 2008

Conclusion générale

La synthèse des charbons actifs à partir des résidus de l'agriculture par la méthode d'activation chimique a fait l'objet de nombreuses études. Le choix de l'activation chimique vient de fait que la préparation du charbon actif se fait à basses températures et un coût d'activation moindre.

L'objectif principal de notre travail est d'évaluer la performance du déchet avicole et non agricole

Au terme de ce travail, il convient de noter que les charbons actifs préparés ont des caractéristiques physico-chimiques comparables à celles des charbons commerciaux. Ces charbons présentent de grandes surfaces spécifiques et ont développé une bonne porosité.

Malheureusement, vue les conditions sanitaire qui nous ont été imposées, cette partie expérimentale n'a pas pu voire le jour. Néanmoins, on a essayé avec notre esprit scientifique et note optimisme de chercher des sujets qui se rapportent un peu à notre étude, notamment l'article scientifique représenté par le 3^{ème} travail cité dans le chapitre des travaux antérieures, pour donner une valeur scientifique à notre travail d'une part et pour défraichir le terrain pour ceux qui vont appliquer ce sujet l'année prochaine si le virus s'en va bien sur, on l'espère tous



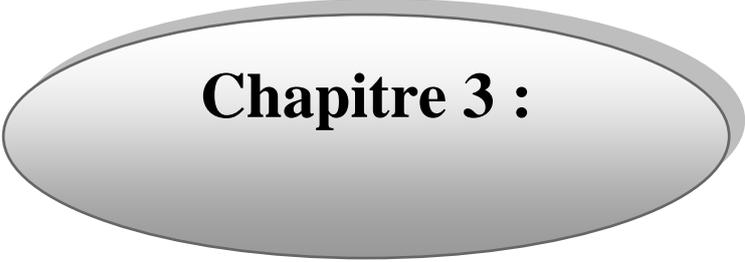
Chapitre 1 :

**Généralités sur les déchets
avicoles**



Chapitre 2 :

**Généralités sur les eaux et les
types de pollution**



Chapitre 3 :

**Différents types de traitement des
eaux usées**



Chapitre 4 :

**Phénomène d'adsorption
application au traitement des eaux
usées**



Chapitre 5 :

Travaux antérieures



Introduction



**Conclusion
générale**