

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté des sciences Biologiques et des sciences Agronomiques



Département des sciences agronomiques

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme

Master

Spécialité : Traitement et Valorisation des Ressources Hydriques.

Thème

***Adsorption du phénol et du benzène sur
charbons activés issu du bois de chêne zéen
et du grignon d'olives***

Présenté par :

M^{elle} MESSAOUDENE Hassiba

M^{elle} REKIBI Safia

Soutenu publiquement, devant le jury d'examen composé de :

Président	M^r METAHRI. M. S.	Maitre de conférences ...U.M.M.T.O.
Promotrice	M^{me} LOUNI. D.	MAA ...U.M.M.T.O.
Co-promoteur	M^r RAHMOUNE. M. A.	MAA ...U.M.M.T.O.
Examineur	M^r MERIDJA .S.	Maitre de conférences ...U.M.M.T.O.
Examinatrice	M^{me} NAIT KACI. M.	Maitre de conférences ...U.M.M.T.O.

Promotion 2014/2015

Remerciements

Avant tout chose, nous remercions DIEU tout puissant qui nous a donnés le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail ;

A l'issu de ce travail, nous tenons à adresser nos remerciements à :

Notre promotrice M^{me} LOUNI D. et notre Co-promoteur M^r RAHMOUNE M.A. pour leur disponibilité à tous épreuve et leur patience, pour leur orientations et leur remarques fructueuses. Tout notre respect et nos sincères gratitudes et nos profondes reconnaissances, merci.

Nous tenons à remercier également :

Le président de jury M^r METAHRI M.S. et les membres de jury M^{me} NAIT KACI .M. et MERIDJA.S. D'avoir acceptés d'évalué ce travail ;

Nous remercions M^r SAIFI. A. pour sont aide ;

Nous remercions M^{me} BACHATENE. M. pour l'aide qu'elle nous a apporté au courant de ce travail ;

Nous remercions également tous le personnel de laboratoire de chimie campus Tamda ;

Enfin

Nous tenons à remercier tous ceux et celles qui nous ont aidé de prés ou de loin à réaliser notre travail.

Dédicace

On dit souvent que le trajet est plus important que la destination. Les Cinq ans d'études supérieures m'ont permis de bien comprendre la signification de cette phrase toute simple.

Ce parcours, en effet, ne s'est pas réalisé sans défis et sans soulevé de nombreuses questions pour lesquelles nécessitent de longues heures de travail.

Je dédie tout d'abord ce modeste travail à la mémoire de mon très chère père qui nous a quitté à plus jamais. Que dieu vous accueille dans son vaste paradis.

Je le dédie particulièrement à ma très chère mère qui a tout sacrifié pour que je puisse étudier dans les meilleures conditions et qui n'a jamais cessé de m'encourager durant toute ces longues années. Qu'allah tu garde pour moi.

A mon très cher frère HAMID.

A mes très chères Sœurs NADJIA, SAMIA et son petit-fils RAYANE, CYLIA et FADHILA.

A ma grande mère, qu'allah nous la protège.

A ma binôme Hassiba et sa famille ;

A tout mes amis ;

A toute la promotion TVRH 2014/2015.

REKIBI SAFIA

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents tant aimés ;

*A mes frères : Hakim, Yahia, Hocine, Ahcene, Brahim et
sa femme Lamia et leur fille adorable Yasmine ;*

A mes sœurs : Linda, Sadia et Ourdia ;

A ma binôme Safia et sa famille ;

A tout mes amis ;

A toute la promotion TVRH 2014/2015.

Hassiba

Liste des Tableaux

Tableau I-1 : Propriétés physique du phénol.

Tableau I-2 : la minéralisation et la biodégradation du phénol en eaux douces et en eaux de mer (Bisson et al, 2005).

Tableau I-3 : Propriétés physico-chimiques de benzène (Froment-Védrine M, 2008).

Tableau I-4 : valeurs limites pour la protection de la santé humaine pour le benzène dans l'air ambiant (Nicolas, 2000).

Tableau II-1 : Composition chimique indicative des différents types de grignons. (Lakhtar H, 2009).

Tableau V-1: Détermination des paramètres des modèles d'adsorption.

Tableau V-2: Détermination des paramètres des modèles d'adsorption.

Liste des Figures

Figure I-1: Exemple d'impact de l'introduction d'un polluant dans un lac (Moletta R, 2012).

Figure I-2 : Nouveaux décanteurs circulaires raclés (Thévenot D et VarraultCereve G, 2005)

Figure II -1 : Ecorce d'un arbre adulte (Rabhi K, 2011).

Figure III-1 : Représentation schématique de la structure cristalline du graphite (a) et de la structure "graphitique" d'un charbon actif (Al Mardini F, 2006).

Figure III-2 : charon actif en poudre

Figure III-3 : charon actif en grain

Figure III-4 : les types d'isothermes d'adsorption.

Figure III-5 : Isotherme et Modélisation de l'adsorption selon Langmuir (Nait Merzoug N, 2014).

Figure III-6: Modèle d'adsorption en multicouche selon Freundlich (Nait Merzoug N, 2014).

Figure IV-1 : charbon brut issue de grignon d'olives.

Figure IV-2 : charbon brut issue de bois de chêne zeen.

Figure IV-3 : schéma récapitulative des étapes de l'activation de charbon brut (grignon d'olives et de chêne zeen).

Figure IV-4: Spectrophotomètre UV visible de type Thermo scientific, HELIOS EPSILON.

Figure IV-5: MEB à émission de champ S4700 (Bortoluzzi J et al, 2012).

Figure V-1 : analyse par microscopie électronique à balayage de grignon d'olives en grain.

Figure V-2 : analyse par microscopie électronique à balayage de grignon d'olives en poudre [(a) avant activation, (b) après activation].

Figure V-3 : analyse par microscopie électronique à balayage de bois de chêne zeen en poudre (a : avant activation b : après activation).

Figure V-4: Courbe d'étalonnage du phénol dans une solution aqueuse à 540 (nm).

Figure V-5: Influence du temps de contact et de la concentration initiale sur l'adsorption du phénol sur les différents adsorbants.

Figure V-6 : isotherme d'adsorption de phénol sur le charbon commercial.

Figure V-7 : isotherme d'adsorption de phénol sur le charbon de chêne zeen.

Figure V-8: isotherme d'adsorption du phénol sur le charbon de grignon d'olives.

Figure V-9: Linéarisation des modèles d'adsorption du phénol sur charbon commercial.

Figure V- 10 : Linéarisation des modèles d'adsorption du phénol sur charbon activé de chêne zeen.

Figure V-11: Linéarisation des modèles d'adsorption du phénol sur charbon activé de grignon d'olives.

Figure V-12: Courbe d'étalonnage du benzène dans une solution aqueuse à 540 (nm).

Figure V-13 : Influence du temps de contact et de la concentration initiale sur l'adsorption du benzène sur les différents adsorbants.

Figure V-14 : isotherme d'adsorption du benzène sur charbon activé de chêne zeen.

Figure V-15 : isotherme d'adsorption du benzène sur charbon activé de grignon d'olives.

Figure V-16: isotherme d'adsorption du benzène sur charbon commercial.

Figure V-17: Linéarisation des modèles d'adsorption du benzène sur charbon commercial.

Figure V-18: Linéarisation des modèles d'adsorption du benzène sur charbon activé de chêne zeen.

Figure V-19: Linéarisation des modèles d'adsorption du benzène sur charbon activé de grignon d'olives.

Figure V-20: Rendement d'adsorption du phénol sur les adsorbants étudiés.

Figure V-21: Rendement d'adsorption du benzène sur les adsorbants étudiés.

Liste des abréviations

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: microgramme /mètre cube.

μm : micromètre.

A° : agnichtrone.

Al_2O_3 : oxyde d'aluminium

AlO_4 : aluminates

BAF : Bioaccumulation factor.

BCF : Bioconcentration factor.

BM : bleu de méthylène.

C_6H_6 : benzène.

$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$: phénol.

CA : charbon activé.

CAP : charbon actif en poudre.

CC : charbon commercial.

C_e : concentration du soluté dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l).

C_i : La concentration initial.

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer.

GO : grignon d'olives.

CO_2 : gaz carbonique.

COV : composés organiques volatils.

CPG : chromatographie en phase gazeuse.

CZ : bois de chêne zeen.

d : densité.

DNB : Déplacement Nutritif Biologique.

g : gramme.

H₂O : molécule d'eau.

H₂SO₄ : acide sulfurique.

H₃PO₄ : acide phosphorique.

kcal : kilo calorie.

Kg : kilogramme.

KOH : hydroxyde de potassium

M : masse molaire.

MES : matières en suspension.

N : normalité.

Na₂CO₃ : carbonate de sodium

NaOH: hydroxyde de sodium

nm : nanomètre.

O₂ : oxygène.

Øp : diamètre des pores.

Pd : partiellement dénoyauté.

qe, Qe, x/m : quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g)..

Qm, q_m : capacité d'adsorption ultime (mg/g).

S-DVB : styrène-divinylbenzène.

SiO₂ : la silice

SiO₄ : peroxyde de silice

T : température.

U.I.C.P.A : Union Internationale de Chimie pure et appliqué.

UV : ultra violet.

ZnCl₂ : chlorure de zinc

Sommaire

Introduction général.....	1
---------------------------	---

Partie bibliographique

Chapitre I : Pollution de l'eau et son traitement

I-1-Pollution des eaux.....	3
I-1-1-Introduction	3
I-1-2-Généralité.....	3
I-1-3- Principaux types de polluants	4
I-1-3-1- Phénol.....	5
I-1-3-1-1- Caractéristiques physico-chimiques du phénol	5
I-1-3-1-1-1- Caractéristiques physiques	5
I-1-3-1-1-2-Caractéristiques chimiques.....	6
I-1-3-1-2-Utilisations	6
I-1-3-1-3-Biodégradations	6
I-1-3-1-4-Risques	7
I-1-3-2-Benzène	8
I-1-3-2-1-Propriétés physico-chimiques.....	8
I-1-3-2-2-Sources.....	9
I-1-3-2-3-Impact du benzène.....	9
I-1-3-2-4-Cadre réglementaire	10
I-1-3-2-5-Comportement	10
I-1-3-2-5-1-Dans l'eau	10
I-1-3-2-5-2-Dans l'air	10
I-1-3-3- Métaux lourds	11
I-1-3-4- Pesticides.....	11
I-1-3-4-1- Classification des pesticides	11

I-2-Traitement des eaux usées.....	12
I-2-1-Introduction	12
I-2-2-Définition des eaux usées	12
I-2-3- Différentes étapes de traitement des eaux	12
I-2-3-1- Prétraitement	12
I-2-3-2- Traitement primaire : décantation	13
I-2-3-3- Traitement secondaire	14
I-2-3-4- Traitement tertiaire	14

CHAPITRE II : Description des substrats vegetal

II-1- Sous-produits d'olivier	15
II-1-1-Introduction.....	15
II-1-2- Grignons d'olives.....	15
II-1-2-1-Généralité	15
II-1-2-2-Types de grignons.....	16
II-1-2-3-Valorisation des grignons d'olives.....	16
II-2-Bois de chêne zeen	17
II-2-1-Généralité	17
II-2-2- Caractéristiques anatomiques de chêne zeen	18
II-2-2-1- Caractères anatomique.....	18
II-2-2-2- Caractéristiques macroscopiques	19
II-2-3-Utilisation du bois de chêne zeen.....	19

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

III-1-Introduction.....	20
III-2-Généralité	20
III-3- différents types d'adsorption	20
III-3-1-Adsorption physique (physisorption) ou adsorption de Van der Waals	20

III-3-2-Adsorption chimique (chimisorption)	21
III-4- Adsorbants.....	21
III-4-1- Principaux types d'adsorbant	21
III-4-1-1-Charbon actif	22
III-4-1-1-1-Fabrication du charbon actif	22
III-4-1-1-1-1-Carbonisation.....	22
III-4-1-1-1-2-Activation.....	22
III-4-1-1-1-2-1-Activation physique	23
III-4-1-1-1-2-2-Activation chimique.....	23
III-4-1-1-2-Structure du charbon actif	23
III-4-1-1-2-1-Propriété chimique	24
III-4-1-1-2-1-1-Composition global du charbon actif.....	24
III-4-1-1-2-1-2-Fonctions de surface du charbon actif.....	24
III-4-1-1-2-1-2-1-Caractère acide d'un charbon actif.....	24
III-4-1-1-2-1-2-2-Caractère basique d'un charbon actif.....	25
III-4-1-1-3- Différentes formes de charbon actif.....	25
III-4-1-1-4-Quelques applications du charbon actif.....	26
III-4-1-2-Zéolites	26
III-4-1-3-Alumines	27
III-4-1-4-Gels de silice.....	27
III-5- Facteurs influençant l'adsorption.....	27
III-5-1-Influence des caractéristiques physiques du charbon actif sur l'adsorption	27
III-5-2-PH	28
III-5-3-Présence d'espèces compétitives	28
III-5-4-Distribution des diamètres des pores.....	28
III-5-5-Solubilité de l'adsorbat	28
III-5-6-Polarité	29

III-5-7-Structure moléculaire de l'adsorbat.....	29
III-6-Isotherme d'adsorption	29
III-6-1-Types d'isothermes d'adsorption	30
III-6-1-1-Modélisation de l'équilibre d'adsorption.....	31
III-6-1-1-1-Model de Langmuir.....	31
III-6-1-1-2-Model de Freundlich	33
III-6-1-1-3-Model de Brunauer, Emmett et Teller (B.E.T)	34
III-7- Etat de l'art.....	35

Partie expérimentale

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV-1-Introduction.....	40
IV-2-Matériaux utilise	40
IV-3-Choix de la matière première et de l'agent activant	40
IV-3-1-Préparation de la solution d'acide phosphorique (H_3PO_4)	41
IV-3-2-Préparation du charbon actif à base de grignon d'olive	41
IV-3-2-1-Charbon brut.....	41
IV-3-2-1-1- Activation de charbon brut.....	41
IV-3-3-Préparation du charbon actif à base de chêne zeen.....	42
IV-3-3-1-Charbon brut.....	42
IV-4-Préparation de la solution de benzène(C_6H_6)	44
IV-5- Préparation de la solution de Phénol (C_6H_6O)	44
IV-6- Spectrophotomètre UV-Visible	44
IV-7-Microscopie Electronique à Balayage(M.E.B)	45

Chapitre V : Résultat et discussion

V-1- Introduction.....	46
------------------------	----

V-2- Résultats de Microscopie électronique à balayage (M.E.B.)	46
V-3- Adsorption du phénol.....	49
V-3-1-Détermination de la courbe d'étalonnage	49
V-3-1-1- Courbe d'étalonnage du phénol.....	49
V-3-2- Cinétique d'adsorption.....	50
V-3-2-1- Etude de quelque paramètre influençant sur l'adsorption du phénol sur les charbons actifs étudié	50
V-3-2- 1-1-Effet du temps de contact et de la concentration initiale du phénol	50
V-3-3- Etablissement des isothermes d'adsorption.....	51
V-3-3- 1-Protocole expérimental.....	51
V-3-3-2- Modélisation des isothermes	53
V-3-3-2-1-Modèle de Freundlich	53
V-2-3-2-2-Modèle de Langmuir	53
V-4- Adsorption du benzène.....	57
V-4-1-Détermination de la courbe d'étalonnage	57
V-4-1-1- Courbe d'étalonnage du benzène	57
V-4-2- Cinétique d'adsorption.....	58
V-4-2-1- Etude de quelque paramètre influençant sur l'adsorption du benzène sur les charbons actifs étudié	58
V-4-2-1-1-Effet du temps de contact et de la concentration initiale du benzène	58
V-3-3- Etablissement des isothermes d'adsorption.....	59
V-5- Modélisation de l'adsorption	61
V-6- Comparaison de l'efficacité des adsorbants a éliminé les deux polluant étudié	63
Conclusion général.....	65

Référence bibliographique

Annexe

Introduction Générale

Introduction générale

En Algérie, l'eau constitue une denrée de plus en plus rare, vulnérable et difficilement renouvelable de ce fait, la prise de conscience impose de la gérer d'une manière rationnelle et de ce préoccupé des effets des eaux sur les écosystèmes naturels mais surtout sur la santé publique. Il importe donc que les ressources en eau, déjà réduite, soient efficacement protégées et traitées afin de produire une eau dans la qualité satisfait a des norme biologique et physico-chimique.

la demande de l'eau a augmenté énormément avec la consommation de l'agricole, de l'industriel et des secteurs domestiques qui consomment 70, 22 et 8% de l'eau douce disponible, respectivement et de ceci a eu comme conséquence la génération de grandes quantités d'eau usagées contenant un certain nombre de polluants, parmi ces polluants, les composés phénoliques et les hydrocarbures sont connus comme étant fort toxiques, constituer des facteurs de risques pour notre santé et de nuisances pour notre environnement produits par des industries pétrochimiques, pharmaceutique, etc [52], une fois qu'ils sont dissous dans l'eau, ils seront parfois difficile à traiter donc il est nécessaire de les limiter le plus possible en mettant en place un moyen de traitement adapté.

De nombreuses méthodes et techniques de dépollution sont développées au cours de ces dernières années. Parmi ces techniques, il y a lieu de citer la floculation, l'échange d'ions, l'électrolyse, les procédés membranaires et l'adsorption.

La technique de l'adsorption est la méthode la plus favorable pour l'élimination des polluant est devenue une méthode analytique de choix, très efficace et simple dans son utilisation [3]. Le principe du traitement par adsorption est de piéger les polluants par un matériau solide appelé adsorbant. Il existe plusieurs adsorbants (argiles, zéolites, alumines activées, résidus agricoles, sous-produits industriels et charbon actif...) [10]. Pouvant être utilisés dans des procédés de traitement des eaux.

L'objectif de notre étude est de préparer des charbons actifs à partir d'un matériau végétal afin d'obtenir un produit applicable dans le traitement des eaux.

Ce travail est présenté sous forme de deux parties principales l'une théorique et l'autre expérimentale.

Introduction générale

La première partie est subdivisée en trois chapitres :

- Le premier chapitre traite de la pollution des eaux et leur traitement de leurs effets néfastes sur l'environnement et sur la santé humaine.
- Le deuxième chapitre est consacré à la description des substrats végétaux.
- le troisième chapitre présente le phénomène de l'adsorption ; une étude détaillée est présentée en définissant tous les types d'adsorption et les mécanismes d'adsorption, puis sur les différents travaux publiés jusqu'à aujourd'hui relatifs aux charbons actifs préparés à partir des déchets de l'agriculture et leurs applications dans le domaine de l'adsorption.

Dans la deuxième partie, qui constitue la partie expérimentale, subdivisée en deux chapitres.

- Dans le quatrième chapitre nous présentons le mode de synthèse des charbons actifs par la méthode d'activation thermo-chimique avec un agent chimique qui est l'acide phosphorique (H_3PO_4).
- L'étude expérimentale de l'adsorption des polluants organiques (phénol et benzène) sur les charbons actifs synthétisés fera l'objet du chapitre Cinq. Nous avons étudié l'efficacité de ces charbon a adsorbé ces polluants. Ainsi que la cinétique et les isothermes d'adsorption avec une discussion des résultats obtenus.

Une conclusion générale et données en dernier.

Partie Bibliographique

Chapitre I

I-1-Pollution des eaux

I-1-1-Introduction

La pollution de l'eau en polluants d'une manière générale et par les composés organiques en particulier est causée de nos jours principalement par une forte industrialisation. Cette dernière rejette des polluants toxiques dans l'environnement qui sont à l'origine de l'altération de la qualité et de la nature de l'eau, ce qui rend son utilisation dangereuse, ainsi que la perturbation de l'écosystème aquatique. Comme la majorité des polluants, les composés phénoliques et benzoïques sont nocifs, et ils se trouvent dans les effluents de nombreuses industries, telles que les industries chimiques et pétrochimiques et même dans l'industrie pharmaceutique. C'est pour cela que ce sont les polluants les plus fréquemment rencontrés dans les rivières, les eaux marines et même dans les nappes phréatiques contaminées.

I-1-2-Généralité

Selon [1] Toute pollution est une altération d'une ou plusieurs caractéristiques physico-chimique ou biologique d'une eau. La pollution des eaux se rapporte à : jeter, déverser ou laisser écouler dans les cours des eaux directement ou indirectement, des substances quelconques, dont l'action ou les réactions affecte l'environnement. Elle se manifeste principalement, dans les eaux, par :

- Une diminution de la teneur en oxygène dissous (O_2): les matières organiques, essentielles à la vie aquatique en tant que nourriture, peuvent devenir un élément perturbateur quand leur quantité est trop importante. Parmi les substances qui entraînent une importante consommation d'oxygène, notons en particulier les sous-produits rejetés par l'industrie laitière, le sang rejeté par l'industrie de la viande, les déchets contenus dans les eaux usées domestiques, etc. Cette diminution de l' O_2 dissous peut provoquer dans certains cas des mortalités importantes de poissons [7].
- La présence de produits toxiques rejetées sous différentes formes, provoquent des effets qui peuvent être de deux formes : effet immédiat ou à court terme conduisant à un effet toxique brutal et donc à la mort rapide de différents organismes et effet différé ou à long terme, par accumulation au cours du temps, des substances chez certains organismes. La plupart des produits toxiques proviennent de l'industrie chimique, de

Chapitre I : Pollution de l'eau et son traitement

l'industrie des métaux, de l'activité agricole et des décharges de déchets domestiques ou industriels [7].

- La présence des polluants biologiques : toutes les pollutions provoquées par des matières organiques susceptibles de subir une fermentation bactérienne. La pollution biologique des eaux se traduit par une forte contamination bactérienne. Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites, les champignons et les algues [1]. La figure I-1 schématise ces différentes pollutions dans un lac.

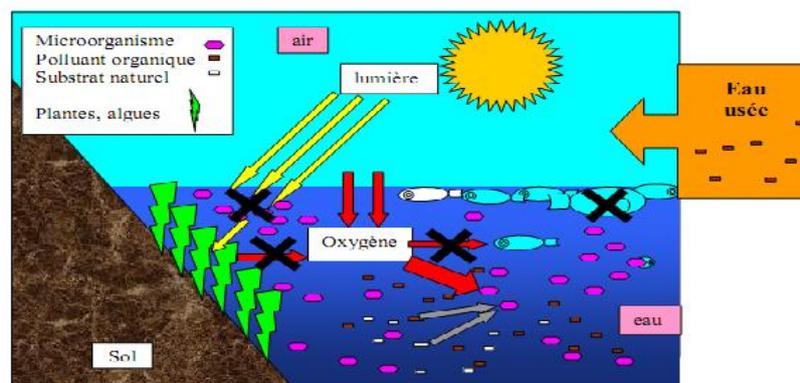


Figure I-1: Exemple d'impact de l'introduction d'un polluant dans un lac [45].

I-1-3-Principaux types de polluants

Les eaux usées dans les milieux aquatiques contiennent divers types de polluants. Parmi ces nombreux polluants on cite :

- Les hydrocarbures, qui peuvent contaminer les ressources en eau selon différentes modalités, à savoir : les rejets industriels, rejets des garages et stations-service, ruissellement des chaussées, effluents domestiques [7].
- Les métaux lourds, qui sont des substances de nature métallique peuvent à concentration anormalement élevée occasionner une gêne (goût désagréable, coloration anormale, dépôts) ou une nuisance (le fer favorise la prolifération bactérienne, le cuivre et le zinc occasionnent une saveur astringente, le manganèse induit une turbidité anormale...) [15]. Ils constituent un problème préoccupant lorsqu'ils sont impliqués dans la pollution des ressources en eau non seulement à

Chapitre I : Pollution de l'eau et son traitement

cause de leur toxicité, fort dommageable pour le milieu aquatique, mais aussi leur accumulation au fil de la chaîne alimentaire pourrait avoir des effets plus ou moins graves sur la santé humaine [7].

- Les produits de synthèse organiques (exemple : produits phytosanitaires) sont aussi une source de pollution potentiel. Au cours des dernières décennies, notamment sous l'effet du développement de l'activité agricole, la présence de concentrations trop élevées de pesticides dans certaines ressources complique, comme dans le cas des nitrates, les processus de production de l'eau potable. Par ailleurs, ces substances peuvent s'accumuler au fil de la chaîne alimentaire [7].

I-1-3-1-Phénol

Le phénol appelé aussi acide phénique, ou encore acide carbolique est composé d'un noyau benzénique et d'une fonction hydroxyle. C'est la plus simple molécule de la famille des phénols ; Le phénol (C_6H_6O) est généralement employé en biologie pour la séparation des protéines et des acides nucléiques. Tandis que dans les laboratoires de chimie, il peut être utilisé lors de la synthèse de composés organiques. On le retrouve sous forme de solution aqueuse, tamponnée ou non, ou sous forme solide. Le phénol est un produit très toxique qui requiert des procédures spéciales pour une manipulation et une disposition sécuritaire. Il est toxique par inhalation, par contact avec la peau ou les yeux et par ingestion [13].

I-1-3-1-1-Caractéristiques physico-chimiques du phénol

I-1-3-1-1-1-Caractéristiques physiques

Dans les conditions normales de température et de pression, le phénol est un solide qui se présente sous la forme d'une masse cristalline ou d'aiguilles incolore, hygroscopique et d'odeur caractéristique à la fois âcre et douceâtre (limite olfactive : 0,05 ppm) en présence d'impuretés, d'eau ou de lumière, le phénol se teinte en rose ou rouge.

A 25°C, le phénol est modérément soluble dans l'eau (environ 80g /l), il est en toute proportion à partir de 65°C .il est également très soluble dans de nombreux solvant organiques usuel tels l'acétone, l'éthanol, l'oxyde de d'éthyle... [13].

Chapitre I : Pollution de l'eau et son traitement

Tableau I-1 : Propriétés physique du phénol.

Formule	C ₆ H ₆ O
Masse molaire	94 g/mol
Densité	1.07 g/cm ³
Point de fusion	40.5°C
Point d'ébullition	181.7°C
Solubilité	Eau

I-1-3-1-1-2-Caractéristiques chimiques

Le phénol peut réagir vivement avec les oxydants puissants, la réaction entre le phénol et de nombreuses substances (le chlorure d'aluminium, nitrobenzène, nitrate de sodium) peut être violente. A chaud, le phénol liquide attaque certains métaux (plomb, zinc, aluminium...) ainsi que certains plastiques, notamment le polyéthylène. Le phénol est un produit modérément inflammable (point éclair en coupelle fermée est de 79°C) dont les vapeurs peuvent former des mélanges explosifs avec l'air (limites 1,7a 8,6 en volume) [13].

I-1-3-1-2-Utilisations

Environ deux millions de tonnes de phénol sont utilisées dans la Communauté européenne annuellement. Le phénol est principalement utilisé en synthèse organique [12]. Il est utilisée dans la fabrication des résines phénoliques, dans la fabrication du nylon, d'acide salicylique, et autres substances chimiques, telles que l'acide adipique, la phénolphtaléine, l'acide picrique. Il est également utilisé pour la désinfection, dans la fabrication de dissolvants pour peintures et vernis, dans la fabrication de laques, de peintures, de caoutchouc, d'adhésifs, de durcisseurs, de matériaux isolants et dans l'industrie pharmaceutique.

I-1-3-1-3-Biodégradations

Selon [12] La biodégradabilité du phénol a été démontrée dans un certain nombre d'expériences, sous les conditions les plus variés. Seuls deux tests standardisés de biodégradabilité sont disponibles, dans ces tests les niveaux de dégradation se situent entre 60

Chapitre I : Pollution de l'eau et son traitement

et 70 % (après 4 jours) et 85 % (après 14 jours), avec ces résultats le phénol peut être classé comme facilement biodégradable.

Dans le tableau ci-dessous en résumé les différentes tests réalisés sur la minéralisation ou la biodégradabilité du phénol dans des échantillons d'eaux différentes qui sont déterminés avec une concentration en phénol variable. La minéralisation a été déterminée en mesurant la formation de $^{14}\text{CO}_2$ à partir du ^{14}C marqué sur la substance testée.

Tableau I-2 : la minéralisation et la biodégradation du phénol en eaux douces et en eaux de mer [12].

L'échantillon d'eaux	La concentration du phénol	Le pourcentage (%) de dégradation	Le temps nécessaire pour la dégradation
Eau douce	1g/l	31,4%	24 heures
		50%	200 heures
Eau de mer	1g/l	60%	21 jours
		93,5%	50 jours
Eau souterraine	0,8 mg/l	45%	20 jours
Eau de rivière	1,6 mg/l	60%	20 jours

I-1-3-1-4-Risques

Selon [12] Le phénol est un composé toxique facilement absorbé par la peau et les voies respiratoires et digestives. Il est reconnu pour affecter le système nerveux central et provoquer des dommages au foie et aux reins. Le contact avec la peau provoque des brûlures et même un empoisonnement pouvant mener à la mort. Le contact oculaire provoque de graves lésions pouvant résulter en une cécité. L'inhalation de vapeurs ou de poussières de phénol peut aussi entraîner un empoisonnement. Lorsque le phénol est chauffé, il dégage des vapeurs toxiques et les risques d'incendie sont accrus. Le phénol devrait être stocké loin des oxydants forts dans un endroit frais, bien ventilé, à l'abri de la lumière et loin de toute source d'ignition. La réaction entre le phénol et le formaldéhyde est à éviter car elle est violente et même explosive.

Chapitre I : Pollution de l'eau et son traitement

I-1-3-2-Benzène

Le benzène est le plus simple des hydrocarbures aromatiques monocycliques (C_6H_6), incolore, d'odeur caractéristique, très inflammable et cancérigène. Le benzène est un liquide peu soluble dans l'eau mais miscible à la plupart des solvants organiques et huiles minérales, végétales ou animales. Il réagit avec de nombreux composés et constitue une matière première importante en synthèse organique. Dans l'étude de la pollution atmosphérique, le benzène fait partie de la famille des substances appelées composés organiques volatils (COV). Le benzène est un précurseur important pour la synthèse de nombreux composés organiques : matières plastiques, caoutchoucs, solvants, plastifiants, détergents, parfums, colorants, additifs alimentaires, médicaments, pesticides, explosifs, etc [54].

I-1-3-2-1-Propriétés physico-chimiques

Tableau I-3 : Propriétés physico-chimiques de benzène [32].

Forme physique	Liquide clair à odeur douce et sucrée
Poids moléculaire	78,11 g.mol ⁻¹
Point d'ébullition à pression normale	80,1 °C
Point de fusion	5,5 °C
Pression de vapeur	10 032 Pa à 20 °C et 12 875 Pa à 25 °C
Densité	Vapeur : 2,7 ; Liquide = 0,879 à 20°C
Facteurs de conversion	1 ppm = 3,25 mg.m ⁻³ ; 1 mg.m ⁻³ = 0,31 ppm (dans l'air à 20 °C)
Solubilité	Le benzène est relativement soluble dans l'eau (1 830 mg.L ⁻¹ à 25°C) ; miscible dans la plupart des solvants organiques.
<u>LogKow</u>	2,13
<u>Koc</u>	60 L.kg ⁻¹
<u>BCF</u>	Entre 1,1 et 20 L.kg ⁻¹
<u>BAF</u>	ND*
Point d'éclair	-11 °C
Température d'auto-inflammation	497 °C

LogKow : logarithme du coefficient de partage octanol-eau. Il correspond au ratio entre la concentration de substance dans l'octanol et celle dans l'eau à l'équilibre. Il est corrélé à la

Chapitre I : Pollution de l'eau et son traitement

solubilité dans l'eau, et reflète indirectement les potentiels de bioconcentration et de bioaccumulation.

K_{oc} : Coefficient d'adsorption sur la matière organique. C'est le ratio entre la quantité de substance adsorbée par le sol par unité de poids de carbone organique et la concentration de la substance en solution, à l'équilibre. Il reflète la mobilité de la substance dans les sols.

Bioconcentration factor : facteur de bioconcentration, est le rapport entre la concentration de la substance dans un organisme aquatique et sa concentration dans l'eau. C'est-à-dire la capacité qu'a un organisme (en particulier aquatique) d'extraire et concentrer les substances de l'environnement qui l'entoure (eau).

Bioaccumulation factor : Facteur de bioaccumulation. La bioaccumulation est la capacité qu'a un organisme (généralement aquatique) d'extraire et concentrer les substances, à la fois directement à partir de l'environnement qui l'entoure (bioconcentration), mais aussi indirectement à partir de la nourriture.

I-1-3-2-2-Sources

Selon [54] le benzène est un composé issu des produits pétrolier. Ses principales sources dans l'air extérieur sont :

- Les gaz de combustion des véhicules et l'évaporation au niveau des réservoirs ;
- les industries productrices de benzène ;
- les industries utilisatrices de benzène comme produit intermédiaire de synthèse (fabrication de plastique, pesticides, solvants...);
- l'évaporation lors du stockage et de la distribution des carburants ;

I-1-3-2-3-Impact du benzène

La pollution due aux émissions de benzène peut être approchée de manière globale suivant ses effets directs ou indirects :

Les émissions de benzène dans l'atmosphère ont un effet direct et important sur l'homme, de nombreuses études épidémiologiques sous l'égide du CIRC (Le Centre International de Recherche sur le Cancer) ont mis en évidence le pouvoir cancérigène du benzène en cas d'exposition chronique. Ces études révèlent l'existence d'une relation dose-effet entre l'importance de l'exposition en µg/mois et l'incidence des leucémies. Malgré les nombreuses

Chapitre I : Pollution de l'eau et son traitement

incertitudes qui demeurent faute de recul, dans ces études, il est établi qu'il n'existe pas de seuil en dessous duquel le benzène ne présente pas de risque pour la santé humaine.

Le benzène comme tous les COV, participe à des réactions chimiques complexes se déroulant dans l'atmosphère, il participe indirectement à la modification du cycle de Chapman qui décrit l'équilibre entre la production et la destruction de l'ozone troposphérique [54].

I-1-3-2-4-Cadre réglementaire

En réponse au risque potentiel que représente le benzène sur la santé humaine des normes de qualité de l'air et des valeurs guides ont été définies récemment. En France, le cadre réglementaire établit une valeur limite de concentration de benzène dans l'air ambiant de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle et un objectif de qualité de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [54].

Le benzène pour lequel existe désormais une obligation de suivi fait donc partie des composés dont l'étude est indispensable dans tout projet de surveillance de la qualité de l'air [54].

Tableau I-4 : valeurs limites pour la protection de la santé humaine pour le benzène dans l'air ambiant [54].

Année	jusqu'en 2005	2006	2007	2008	2009	2010
Valeur limite moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10	9	8	7	6	5

I-1-3-2-5-Comportement

I-1-3-2-5-1-Dans l'eau

A partir des eaux superficielles, le benzène se volatilise rapidement. Le benzène étant relativement soluble, une partie du benzène présent dans l'atmosphère est déposée sur le sol ou dans les eaux par précipitation [11].

I-1-3-2-5-2-Dans l'air

Dans l'atmosphère, le benzène existe sous forme gazeuse. Il est principalement dégradé en réagissant avec les radicaux hydroxyles formés par réaction photochimique [11].

Chapitre I : Pollution de l'eau et son traitement

I-1-3-3-Métaux lourds

Les définitions des métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que de l'objectif de l'étude à réaliser.

D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être également définis comme :

- Tout métal ayant une densité supérieure à 5,
- Tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium ($Z=11$),
- Tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques.

Dans les sciences environnementales, les métaux lourds associés aux notions de pollution et de toxicité sont généralement : l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le mercure (Hg), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), l'étain (Sn), le zinc (Zn). Enfin, dans l'industrie en général, on considère comme métal lourd tout métal de densité supérieure à 5, de numéro atomique élevé et présentant un danger pour l'environnement et/ou pour l'homme [27].

I-1-3-4-Pesticides

Les pesticides ou produits phytosanitaires désignent des substances chimiques ou leurs dérivés utilisés pour lutter contre des organismes animaux ou végétaux considérés comme nuisibles pour les végétaux. Leurs usages (herbicides, fongicides, insecticides, etc.) sont très larges [19].

I-1-3-4-1- Classification des pesticides:

Les pesticides ou les produits phytosanitaires peuvent être classés selon la nature de l'espèce

Nuisible que l'on veut contrôler ou en fonction de leur famille chimique.

Herbicides: Les herbicides sont les produits phytosanitaires les plus répandus, ils représentent 44% du marché mondial, ils sont destinés à détruire les mauvaises herbes qui gênent ou empêchent le développement des implantations [19].

Chapitre I : Pollution de l'eau et son traitement

Insecticides: Ils représentent 27% de l'ensemble des pesticides du marché mondial. Ils agissent soit en tuant directement les larves en les stérilisant, soit en s'attaquant aux larves responsables des dégâts [19].

Fongicides: Les fongicides s'attaquent aux champignons parasites des cultures [19].

I-2-Traitement des eaux usées

I-2-1-Introduction

Les eaux usées d'origine domestiques ou industrielles sont récupérées dans les réseaux spécifiques de collecte polluées, et nécessitent d'être traitées avant leur évacuation dans le milieu naturel, en station les traitements varient en fonction de la nature de ces eaux usées et de sensibilité à la pollution du milieu récepteur. Le traitement de ces eaux nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. L'épuration doit permettre d'éliminer la majeure partie de la pollution [43].

I-2-2-Définition des eaux usées

Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluies et leur charge polluante, elles engendrent au milieu récepteur toutes sortes de pollutions et de nuisance [43].

I-2-3-Différentes étapes de traitement des eaux

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, plusieurs niveaux de traitement sont définis : les prétraitements, traitement primaire et le traitement secondaire. Dans certains cas, des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible [43].

I-2-3-1- Prétraitement

Ils ont pour but d'éliminer les éléments solides les plus grossiers susceptibles de gêner les traitements ultérieurs ou d'endommager les équipements. Ils se composent de 3 étapes, présentes ou non selon les besoins, à savoir :

- Le dégrillage : élimination des déchets volumineux,
- Le dessablage : élimination des sables,

Chapitre I : Pollution de l'eau et son traitement

- Le dégraissage – déshuilage : élimination des corps gras.

Le dégrillage consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers. Après nettoyage des grilles, les déchets sont évacués avec les ordures ménagères. Après, les eaux usées passent par le dessablage. Ce dessablage est constitué d'un bassin où la réduction de vitesse d'écoulement permet la décantation des sables, ces derniers seront récupérés par pompage. Par ce processus, sont enlevés de l'eau les éléments grossiers et les sables de dimension supérieure à 200 microns.

La dernière étape du prétraitement est le déshuilage-dégraissage. Il se base également sur la réduction de vitesse d'écoulement des eaux afin de faire flotter les graisses. Cette flottation est accélérée par l'injection de microbulles d'air par le fond. Les graisses sont ensuite raclées en surface. Cette technique permet d'éliminer 80 à 90% des graisses et matières flottantes (soit 30 à 40 % des graisses totales). Les eaux usées après prétraitement ne contiennent plus qu'une charge polluante dissoute et des matières en suspension [67].

I-2-3-2- Traitement primaire : décantation

Le traitement primaire consiste en la décantation des matières en suspension (MES) dans un bassin de sédimentation. En éliminant une fraction de ces solides en suspension, il permet d'alléger les traitements biologiques ultérieurs. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour des eaux dans le bassin et de la vitesse de chute des matières en suspension.

La décantation des MES entraîne également avec elle des micropolluants et micro-organismes. Les eaux usées rejoignent le traitement secondaire par débordement tandis que les boues ainsi formées sont extraites. Elles seront après mises en décharge ou revalorisées en agriculture selon leur composition.



Figure I-2 : Nouveaux décanteurs circulaires raclés [65].

Chapitre I : Pollution de l'eau et son traitement

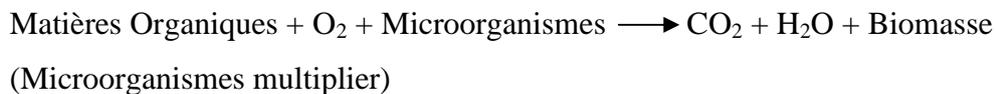
Dans certains cas, afin d'améliorer le rendement de la sédimentation, un traitement physico-chimique est également réalisé. Il comporte classiquement deux phases :

- Une phase de coagulation/ floculation : la coagulation est le processus physique par lequel les charges électriques à la surface des particules solides en suspension sont neutralisées par des coagulants. Elle est suivie d'une étape de floculation, qui provoque l'agrégation des petites particules déchargées et la formation de floccs plus gros et plus denses. Cette deuxième phase suppose l'apport d'additifs flocculant.
- Une phase de clarification : dans cette phase, les particules ainsi formées, ou "floccs", sont séparées de l'eau par décantation. Ces traitements permettent d'enlever jusqu'à 90 % des matières en suspension. La pollution dissoute n'est, par contre, que très partiellement traitée [67].

I-2-3-3- Traitement secondaire:

Ces traitements sont biologiques et permettent d'éliminer les polluants dissous. Pour ce la on utilise des populations de microorganismes capables de les consommer [48].

La réaction de respiration bactérienne peut être résumée ci-après :



I-2-3-4- Traitement tertiaire:

Ces traitements sont à la fois physicochimiques et biologiques. On les réalise après les traitements primaires et secondaires afin d'éliminer des éléments nutritifs résiduels, des polluants organiques résistants, de métaux, des pigments... Par exemple, on peut utiliser des traitements biologiques avancés pour éliminer le phosphore par le Déplacement Nutritif Biologique(DNB). On fait passer l'eau par déférents réservoirs avec des bactéries et dans des conditions environnementales déférentes (déférance de concentration en dioxygène par exemple). On récupère en suite les boues lors d'un nouveau passage dans un clarificateur. Un autre type de traitement que l'on pourrait classer comme tertiaire est le traitement aux UV. On dénature alors des molécules, comme les œstrogènes, sensibles à ces rayons [48].

Chapitre II

II-1-Sous-produits d'olivier

II-1-1-Introduction

Selon [62], la culture de l'olivier, à forte valeur culturelle et patrimoniale en région méditerranéenne, et la production d'huile d'olive, représentent environ 97% de la production mondiale. Cette production s'accompagne de l'apparition de sous-produits (grignons et margines). Les grignons d'olives comptent parmi les matières les plus abondantes dans notre pays et elles sont déversées dans la nature.

Cette situation conduit à des pollutions qui peuvent avoir des impacts négatifs sur la santé humaine et l'environnement [28].

II-1-2-Grignons d'olives

II-1-2-1-Généralité

Les principaux déchets solides générés lors de l'élaboration de l'huile d'olive sont les grignons [40]. Par définition selon [50] le grignon d'olives est un sous-produit résultant de l'extraction de l'huile d'olive, et composé des peaux, des résidus de la pulpe et des fragments des noyaux. Les grignons d'olives contiennent une quantité d'huile résiduelle qu'il n'est pas possible d'extraire par des moyens physiques et qui est obtenue dans les installations d'extraction d'huile de grignons par l'utilisation des solvants comme l'hexane. La composition des grignons dépend étroitement de la variété d'olives, le degré de maturation des olives et le système employé lors de l'extraction de l'huile d'olive.

Tableau II-1 : Composition chimique indicative des différents types de grignons [40].

Type	Matière sèche (%)	% de la matière sèche			
		Matière minérale	Matière azotée totale	Cellulose brute	Matière grasse
Grignon brut	75 - 80	3 - 5	5 - 10	35 - 50	8 - 15
Grignon gras p. d.*	80 - 95	6 - 7	9 - 12	20 - 30	15 - 30
Grignon épuisé	85 - 90	7 - 10	8 - 10	35 - 40	4 - 6
Grignon épuisé p.d.	85 - 90	6 - 8	9 - 14	15 - 35	4 - 6
Pulpe grasse	35 - 40	5 - 8	9 - 13	16 - 26	26 - 33

* p.d. = partiellement dénoyauté

Chapitre II : Description des substrats végétal

Contrairement aux autres tourteaux oléagineux, les grignons d'olives bruts sont pauvres en matières azotées et riches en cellulose brute. Ils restent relativement riches en matières grasses (huile d'olive). Le dénoyautage partiel réduit les teneurs en cellulose brute par l'élimination partielle des noyaux d'olives [40]. En effet selon [66] Les grignons se divisent en trois types :

II-1-2-2-Types de grignons

-Grignon brut : c'est le résidu de l'extraction de l'huile de l'olive entière. Ses teneurs relativement élevée en eau et en huile favorisent sont altération rapide lorsqu'il est laissé a l'air libre.

-Grignon épuisé : c'est le résidu obtenu après déshuilage du grignon brut par solvant, l'hexane généralement.

-Grignon partiellement dénoyauté : il résulte de la séparation partielle de débris de noyau de la pulpe par tamisage ou ventilation :

- Il est dit « gras » si son huile n'est pas extraite par solvant.
- Il est dit « dégraissé ou épuisé » si son huile est extraite par solvant.

II-1-2-3-Valorisation des grignons d'olives

Selon [62] La valorisation des grignons se fait dans diverses applications suivant les pays et le contexte, Les principales possibilités de valorisation du grignon d'olives sont :

- Utilisation de grignon comme engrais : Dans le domaine agricole, les grignons d'olives peuvent être employés comme fertilisant, après avoir subi une pré-décomposition ou un compostage pour faciliter sa dégradation et éliminer ses effets phytotoxiques. Par ailleurs, l'analyse de la composition de cendres issus de la combustion des grignons d'olives permet de les utiliser comme un fertilisant [24].

- Mieux encore, ce sous-produit de l'industrie oléicole peut être utilisé en tant qu'aliment pour bétail. Les grignons épuisés tamisés (sans noyaux), sont de conservation facile et ont une meilleure valeur alimentaire [24].

- Extraction de huile de grignon : l'huile récupérée par solvant à partir du grignon est appelle huile de grignon d'olives, elle est utilisée pour la consommation humaine après le raffinage, comme elle a d'autre usage en industrie notamment pour la fabrication du savon [5].

Chapitre II : Description des substrats végétal

- Utilisation comme combustible : elle représente encore dans la majorité des pays l'application la plus courante. En réalité, le grignon d'olive est un combustible de valeur calorifique moyenne (2950 kcal/kg), cette quantité de chaleur est apporté principalement par la coque qui représente 60% du totale et qui a un pouvoir calorifique relativement élève (4000 kcal/kg). La pulpe n'apporte que peu de calories (1400 kcal/kg), de plus la coque représente une fraction sans intérêt pour l'animale, ce qui corrobore tout l'intérêt du tamisage [53].
- Transformation du grignon d'olives en charbon actif : Les grignons d'olives possède toutes les caractéristiques propices pour qu'il bénéficie, en subissant au préalable des traitements chimiques et thermiques, d'un très important pouvoir adsorbant vis-à-vis des matières organique [66].

II-2-Bois de chêne zeen

II-2-1-Généralité

La taxonomie du chêne zeen présente de nombreuses difficultés. Celles-ci ont pour principale origine un polymorphisme foliaire extraordinaire, où d'innombrables espèces, sous-espèces, variétés et formes ont été décrites. Parmi les caractères utilisés pour décrire les différentes formes, ceux du tomentum paraissent avoir une valeur taxinomique supérieure. Plusieurs auteurs s'intéressaient à la classification des chênes caducifoliés méditerranéens. Sans détailler, les séries retenues sont les suivantes :

- *Quercus faginea* Lamk.
- *Quercus mirbeckii* Durieu.
- *Quercus alpestris* Boiss.
- *Quercus baetica* Webb.
- *Quercus fruticosa* Brot.
- *Quercus infectoria* Liv.

Actuellement, dans des travaux plus récents, les formes de chêne zeen sont rattachées à trois sous-espèces appartenant à une seule entité au sens morphologique du terme (*Quercus faginea* Lamk):

- *Quercus faginea* subsp. *eu-faginea* (Maire).
- *Quercus faginea* subsp. *tlepciensis* (Maire et Weiller).
- *Quercus faginea* subsp. *canariensis* (Willd).

Chapitre II : Description des substrats végétal

Ces trois sous-espèces se distinguent par la taille des feuilles, des branches, le tomentum et les poils [58].

En général, le chêne zeen est un chêne caducifolié, est présent dans les variantes tempérée et fraîche du bioclimat humide, mais il s'aventure, avec un rôle souvent subordonné, dans les peuplements forestiers de la variante froide. Il peut aussi se développe dans le subhumide frais, et il n'est pas absent de l'humide chaud. Le chêne zeen a une plus grande sensibilité aux précipitations qu'aux températures. Il est par contre indifférent à la nature physico-chimique du sol ; son déterminisme est surtout bioclimatique [72]. Cet arbre de bon port, élancé, pouvant atteindre trente mètres de hauteur. Sa longévité peut dépasser deux cent ans. Il est partiellement caduc, ses dernières feuilles tombant au début de printemps [55]. Le fruit est un gland mesurant 2,5 cm en longueur et 2 cm en largeur, dans une cupule peu profonde [6].

II-2-2- Caractéristiques anatomiques de chêne zeen

II-2-2-1- Caractères anatomique

Le chêne zéen présente des cernes nettement distincts avec un bois initial de 1 à 4 assises de pores et un bois final composé de pores disposés en plages radiales étroites en forme de flamme, des rayons ligneux unisériés (nombre :36/5 mm) et plurisériés (nombre :1/5 mm) de taille moyenne comprise entre 0,011 dixième de mm et 0,224 mm ; des vaisseaux de bois initial et final variant de 0,042 à 0,192 mm (diamètre radial et tangentiel) ; des bandes de parenchymes d'une épaisseur de 0,021 mm ; des fibres de longueur moyenne de 1,545 mm [58].



Figure II -1 : Ecorce d'un arbre adulte [58].

Chapitre II : Description des substrats végétal

II-2-2-2- Caractéristiques macroscopiques :

En vue macroscopique, le bois de chêne zeen présente de gros rayons ligneux multisériés et de petits rayons unisériés, à l'origine d'une belle maillure du bois lorsqu'il est débité en quartiers. La zone de bois initial se caractérise par de gros vaisseaux alignés en bandes tangentielles et isolés les uns des autres. En revanche, le bois final est formé de vaisseaux nettement plus petits et de taille variable. Les fibres sont très nombreuses dans le bois final, irrégulièrement réparties et à trajet rectiligne- oblique [58]. Le parenchyme axial C'est en bandes isolées tangentielles dans les tissus fibreux qu'il se rencontre essentiellement, il s'agit du parenchyme apotracheal circumedulaire. L'épaisseur de ces bandes se caractérise par une taille inférieure à celle des rayons dont la valeur moyenne est de 20,6 μ m [59].

II-2-3-Utilisation du bois de chêne zeen

Aujourd'hui, les avis sur la qualité du bois de ce chêne sont variables et parfois contradictoires. La majorité des forestiers considèrent, sans argument scientifique, le bois de chêne zeen comme étant de qualité médiocre et lui accordent très peu d'intérêt. Toutefois, le chêne zeen se distingue par rapport aux bois de chênes méditerranéens et européens par sa faible anisotropie, caractère indicateur de la stabilité dimensionnelle de son bois. Le chêne zeen possède un bois très dur et très dense. La résistance aux chocs est excellente. Il est facile à coller mais difficile à clouer sans avant trous, et un bon bois de chauffage et un charbon de qualité. A coté de son utilisation comme bois de sciage, l'écorce du chêne zeen renferme des quantités considérables de tanin qui sert à la fabrication de produits cosmétiques et surtout dans le tannage du cuir. Mélangé à 20% avec des résineux, le bois peut servir à la fabrication de panneaux de particules. Le taux de cellulose est satisfaisant (54,4%). En présence de traitements sylvicoles appropriés, le chêne zeen peut fournir un bois de qualité [58].

Chapitre III

III-1-Introduction

L'adsorption est un procédé de traitement, bien adapté pour éliminer une très grande diversité de composés toxiques dans notre environnement. Elle est essentiellement utilisée pour le traitement de l'eau et de l'air [21]. L'adsorption est un phénomène de surface par lequel des molécules de gaz ou de liquides se fixent sur les surfaces solides des adsorbants selon divers processus plus ou moins intenses [30]. Différents produits naturels (zéolithes, argiles, charbon, etc) ou de synthèse peuvent être utilisés pour le traitement par adsorption. Le charbon actif est un média connu pour ses propriétés adsorbantes sur plusieurs éléments organiques et minéraux.

III-2-Définition

L'adsorption est un traitement efficace pour enlever la matière organique, particulièrement quand la charge moléculaire est importante et la polarité est faible. Selon [34] l'adsorption résulte de l'interaction entre la surface d'un solide, et les molécules ou sujet à l'adsorption. C'est donc un processus qui se produit à l'interface solide/gaz et ou liquide, conduisant à un changement de phase du soluté ou à la transformation d'une surface solide. L'adsorption implique des phénomènes de diffusion et d'interactions entre la surface de l'adsorbant et les molécules adsorbables. Elle sera favorisée sur des matériaux ayant d'importante surface spécifique et une forte densité de groupements fonctionnels en surface. Selon l'énergie et la nature des liaisons mises en jeu, on peut distinguer deux types d'adsorption : l'adsorption physique et l'adsorption chimique.

III-3-Différents types d'adsorption

III-3-1-Adsorption physique (physisorption) ou adsorption de Van der Waals :

L'adsorption physique est un phénomène réversible qui résulte des forces intermoléculaires d'attraction entre les molécules d'adsorbant composant la surface du solide et les molécules du soluté de la phase liquide, ces forces attractives sont de nature physique, comprenant les forces dites de Van Der Waals ne détruisant pas l'individualité des molécules et lorsqu'elles opèrent, correspondent à des énergies faibles qui sont de l'ordre de quelques kilojoules par mole [22]. Ce phénomène contrôlé par la diffusion des molécules atteint son équilibre rapidement mais peut se prolonger sur des temps très longs pour les adsorbants

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

microporeux en raison de ralentissement de la diffusion de l'adsorbant dans ses structures de dimensions voisines du diamètre des molécules de l'adsorbant. L'adsorption physique n'est pas un phénomène spécifique, dans ce cas, l'adsorption retient en général toutes les espèces en quantités plus au moins grandes. Ces quantités étant proportionnelles à la surface réelle de l'adsorbant [68].

III-3-2-Adsorption chimique (chimisorption) :

L'adsorption chimique est un phénomène irréversible géré par des interactions chimiques qui provoque un transfert ou une mise en commun d'électrons entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant. On assiste donc à une destruction de l'individualité des molécules adsorbées et la formation de nouveaux composés à la surface de l'adsorbant. Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une énergie élevée variant de 10 à 100 Kcal par mole [39].

III-4-Adsorbants

Tous les solides dans lesquels se produit une adsorption sont des corps poreux, c'est-à-dire présentant une très grande surface spécifique par rapport à leur masse. Par définition selon [68] la surface spécifique d'un adsorbant est une surface par unité de masse exprimée en m^2/g . son estimation est conventionnellement fondée sur des mesures de la capacité d'adsorption de l'adsorbant en question, correspondant à un adsorbat donné ; la molécule adsorbée doit avoir une surface connue et acceptable. Il suffit à cet effet, de déterminer la valeur de la capacité de la monocouche à partir de l'isotherme d'adsorption. Un adsorbant présente une surface spécifique pouvant atteindre jusqu'à $3000 m^2/g$, Cette surface provient de la fragmentation intérieure de la structure capillaire du solide. Les adsorbants se présentent sous forme de granule, de poudre ou de sol files [35].

III-4-1-Principaux types d'adsorbant

En traitement des eaux, on utilise presque exclusivement le charbon activé comme adsorbant. Toutes proportions gardées, c'est un matériau économique qui permet d'éliminer une grande quantité de polluants. Autre que le charbon actif il existe d'autres types d'adsorbants utilisés en industrie, On cite les Zéolites, Les alumines activées, les argiles et le gel de silice [35].

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

III-4-1-1-Charbon actif

Le charbon actif est un produit adsorbant obtenu par calcination de coke, de bois, ou encore les noix de coco, et les grignons d'olive, les noyaux des divers fruits tels que les cerises, prune, dattes... et en générale à partir de matières premières riches en carbone. Il a une caractéristique essentielle qui est l'existence d'un réseau très développé de micropores, lesquels sont à l'origine de leur pouvoir adsorbant très important.

Le charbon actif son des adsorbant non spécifique ou très peu spécifique avec une structure poreuse bien développée forme majoritairement par des micropores et des mésopores de différents diamètres. La surface spécifique des charbons actif et bien développée, elle en général supérieur à $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ ce qui contribue à une grande capacité d'adsorption. Par conséquent, le charbon actif constitue l'adsorbant le plus fabriqué et le plus utilisé industriellement [68].

III-4-1-1-1-Fabrication du charbon actif

Les déchets solides (composés organiques) sont utilisés comme matière première pour la production de charbon actif après carbonisation et activation.

III-4-1-1-1-1-Carbonisation

La carbonisation et la décomposition thermique d'un matériau organique sous vide ou sous atmosphère inerte à des températures comprises entre 400 et 1000°C pendant 5 à 6 heures [35]. Le but est d'éliminer les matières organiques volatiles emprisonnées dans le squelette carboné. La carbonisation se déroule généralement à une vitesse pour minimiser le contact entre les produits carbonisés et les produits volatils. Les produits obtenus après carbonisation n'ont pas une forte capacité d'adsorption car leur structure poreuse est limitée (surface spécifique $10 \text{ m}^2/\text{g}$) [68].

III-4-1-1-1-2-Activation

Le but du processus d'activation est d'augmenter le volume et dans une certaine mesure, d'élargir les pores créés durant le processus de pyrolyse. La nature du matériau de départ ainsi que les conditions de pyrolyse pré-déterminent la structure et la longueur des pores. L'activation surprime les structures carbonées désorganisées, exposant ainsi les feuillets aromatiques aux agents d'activation. Il existe deux procédés d'activation, l'activation physique et l'activation chimique [35].

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

III-4-1-1-1-2-1-Activation physique

Consiste en une oxydation à haute température (750 – 1000°C) du carbonate par agent oxydant gazeux. Les gaz principalement utilisés, seuls ou en mélange, dans ce procédé sont l'air, La vapeur d'eau ainsi que le dioxyde de carbone. Le niveau de température joue un rôle important dans le processus d'activation. En effet à basse température la cinétique d'oxydation est faible et l'activation conduit à une distribution de taille de pore homogène dans tout le volume du matériau. Quand la température augmente, la vitesse de réaction croit plus rapidement que la diffusion du gaz oxydant. Le procédé est donc limité par le transport du gaz oxydant au sein du matériau, ce qui conduit à une perte d'homogénéité de la porosité [35].

III-4-1-1-1-2-2-Activation chimique

Est un procédé alternatif qui met en jeu un agent chimique tel que H_3PO_4 favorisant la déshydratation, puis une réorganisation structurale à des températures plus faibles que dans le procédé ci-dessous. La carbonisation et l'activation sont concentrées en une seule étape.

La taille des pores dans le charbon actif final est déterminée par le degré d'imprégnation, Plus celui-ci est élevé, plus le diamètre des pores est grand [35].

Dans le processus d'activation chimique, le taux d'imprégnation c'est-à-dire le rapport de la masse de l'agent activant sur celle de la matière première sèche est l'une des variables ayant un effet majeur sur les caractéristiques du charbon actif produit. Les produits chimiques utilisés sont des agents déshydratants qui pénètrent dans la structure du charbon pour engendrer de minuscules pores. Parallèlement à leur influence sur le développement de la porosité, ces agents activant permettent d'accroître la surface spécifique du charbon [47].

III-4-1-1-2-Structure du charbon actif

La structure du charbon peut être vue comme un assemblage aléatoire de feuillets plans constitués par des polycycles aromatiques (encore appelés feuillets de graphène). L'espace libre entre ces feuillets constitue la porosité du charbon [22].

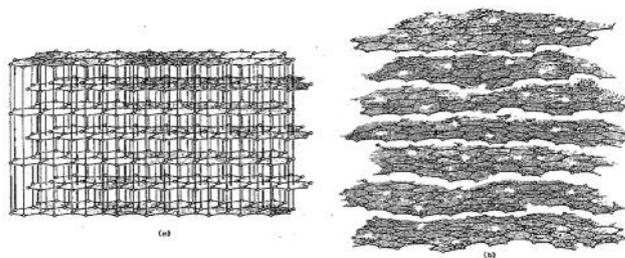


Figure III-1 : Représentation schématique de la structure cristalline du graphite (a) et de la structure "graphitique" d'un charbon actif [4].

La structure d'un charbon est donc caractérisée par son volume poreux, la taille et la forme de ses pores. C'est ce qui est à l'origine de sa surface spécifique. Ces propriétés sont principalement développées lors de l'étape d'activation du charbon actif. La distribution de taille de pores très variée, incluant à la fois des micropores (de diamètre $\text{Ø}_p < 2 \text{ nm}$), des mésopores ($2 < \text{Ø}_p < 50 \text{ nm}$) et des macropores ($\text{Ø}_p > 50 \text{ nm}$), seuls les micropores et les mésopores contribuent à la capacité d'adsorption des charbons activés. Les micropores et mésopores sont produits par des burn-off inférieurs à 50%, au-delà de ce degré d'activation les macropores se forment au détriment des micros et mésopores [22].

III-4-1-1-2-1-Propriété chimique

III-4-1-1-2-1-1-Composition global du charbon actif: bien que le carbone soit l'élément majoritaire du charbon actif, d'autres composés (oxygène, hydrogène, soufre, azote, minéraux, ...) sont aussi présents et influent fortement sur les propriétés d'adsorption du charbon actif.

III-4-1-1-2-1-2-Fonctions de surface du charbon actif: L'hétérogénéité chimique du charbon actif est donc principalement associée aux différentes fonctions de surface, surtout les groupements oxygénés, qui lui confèrent son caractère acido-basique et déterminent, selon l'environnement (pH de la solution) sa charge électrique [22].

III-4-1-1-2-1-2-1-Caractère acide d'un charbon actif : Une charge négative en surface du charbon résulte de la présence de groupements carboxyliques (Ar-COOH), phénoliques (Ar-OH), carbonyles (Ar-C=O). Ces fonctions donnent au charbon un caractère acide et des propriétés hydrophiles. Les groupements carboxyliques et lactoniques ont tendance à polariser la surface, diminuant l'adsorption de composés organiques non polaires en solution aqueuse [25].

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

III-4-1-1-2-1-2-2- Caractère basique d'un charbon actif : Pour certains charbons, la surface se charge positivement en milieu acide pour des raisons encore incertaines. Certains auteurs associent ce phénomène à la présence des régions riches en électrons des cycles aromatiques des couches de graphène, d'autres à la présence de complexes oxygénés de type hétérocycles (pyrone ou chromène). Ces sites riches en électrons agiraient comme des bases de Lewis en acceptant des protons. D'après d'autres auteurs, il semblerait que le caractère basique de certains charbons serait dû à la chimisorption du dioxygène sur la surface formant alors un peroxyde (H_2O_2). Les peroxydes en surface constituent ainsi des sites actifs basiques [25].

III-4-1-1-3- Différentes formes de charbon actif

Les différentes formes du charbon actif Selon leurs applications, les charbons actifs sont disponibles soit en poudre, soit en grains, soit sous forme de fibres [25].

Les charbons actifs en poudre présentent une granulométrie inférieure à 100 μm avec un diamètre moyen situé entre 15 et 25 μm . Ils ont une large surface externe et une faible profondeur de diffusion : la vitesse d'adsorption est très rapide. De tels charbons sont donc utilisés préférentiellement pour l'adsorption de solutions en batch. Les poudres fines sont utilisées en pharmacie et servent aussi à décolorer les huiles, les graisses, les vins, les sucres et de nombreux autres liquides organiques.



Figure III-2 : charbon actif en poudre.

La forme granulaire du charbon actif est caractérisée par une taille de particule supérieure à 1mm, un faible diamètre de pores, une grande surface interne et une surface externe relativement faible. Il en résulte que les phénomènes de diffusion à l'intérieur des pores prennent une grande importance dans les processus d'adsorption. Ces charbons sont préférentiellement utilisés en lit fixe pour l'adsorption des gaz et des vapeurs, ils sont couramment utilisés pour le traitement de l'eau.



Figure III-3 : charbon actif en grain.

Depuis quelques années, les fibres de charbon suscitent un intérêt grandissant car elles présentent des cinétiques et des capacités d'adsorption supérieures aux charbons en grains et en poudre. Dans des applications plus spécifiques, les charbons actifs peuvent subir des traitements supplémentaires : imprégnation de substituant variés à des fins catalytiques, recouvrement par un polymère biocompatible pour donner un revêtement lisse et perméable sans bloquer les pores ou mise en œuvre sous forme de tissus.

III-4-1-1-4-Quelques applications du charbon actif

Les charbons sont couramment utilisés dans le traitement des eaux par l'adsorption de certain colorant organique des rejets liquides des industries, ainsi que pour la purification de l'eau potable, selon [17]. Le charbon actif est utilisé en association avec d'autres procédés. Dans un premier temps, le charbon est injecté avant ou en même temps que les flocculant, dans ce cas les particules de charbon forment des centres qui stimulent et améliorent la floculation, après sédimentation et filtration, le filtrat est chloré.

Il existe d'autres utilisations du charbon actif qui sont :

- La récupération des solvants (tunnels de peinture) ou d'essence ;
- La dessiccation des gaz ou des liquides ;
- L'élimination des polyphénols et des métaux lourds ;
- Utilisation en pharmacie pour l'adsorption des gaz intestinaux.

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

III-4-1-2-Zéolites

Une zéolithe (du grec Zéo : bouillir et lithos : pierre) est un minéral appartenant à la famille des aluminosilicates hydratés. Il existe deux sortes de zéolithes : les zéolithes naturelles et les zéolithes synthétiques. Ces adsorbant se présentent sous forme de poudre ou granulés. Les zéolithes sont des aluminosilicates cristallins et poreux, résultant de l'assemblage de tétraèdres SiO_4 et AlO_4 joints par les atomes d'oxygène qu'ils partagent. Cette structure cristalline crée un réseau de pores de tailles uniformes qui distingue les zéolithes des autres adsorbants microporeux, Leur surface spécifique ne dépasse pas $900 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, ce qui limite la capacité d'adsorption mais ils présentent une bonne sélectivité. Ainsi les zéolithes sont moins sensibles à la chaleur que les charbons actifs [41]. Le domaine d'application des zéolithes est très étendu : traitement des effluents urbains, purification du gaz naturel...etc.

III-4-1-3-Alumines

Les alumines activées ($\text{Al}_2\text{O}_3, 1/2\text{H}_2\text{O}$) elle est utilisée comme un déshydratant, elles sont principalement microporeuses et leur surface spécifique atteint $350 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, cette surface présente des impuretés propices à la chimisorption de certaines molécules. Les alumines se présentent commercialement sous forme de billes de quelques millimètres de diamètre, elles adsorbent préférentiellement les espèces polaires contenues dans les gaz et les liquides, elles sont utilisées pour sécher des gaz ou de l'air, éliminer des traces d'alcool, ou encore les hydrocarbures ou les acides, la chaleur d'adsorption de l'eau est environ 1240 cal /mole [35].

III-4-1-4-Gels de silice

Le gel de silice ($\text{SiO}_2, n\text{H}_2\text{O}$) est un polymère d'acide silicique préparé à partir des silicates de sodium. L'intérieur de chaque graine de silice est composé d'atomes de silicium reliés entre eux par des très fortes polarités du gel de silice. Il s'agit d'adsorbant synthétique très hydrophile dont on peut contrôler la structure des pores et la surface spécifique varie de 300 à $800 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ [41].

III-5-Facteurs influençant l'adsorption

III-5-1-Influence des caractéristiques physiques du charbon actif sur l'adsorption

Dans le cas des charbons actifs nous considérons que l'adsorption en surface est très rapide, si la vitesse de la phase fluide est suffisamment élevée, la vitesse globale d'adsorption est alors limitée par l'étape de diffusion interne (dans les pores et/ou de surface), ce

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

phénomène permet d'expliquer l'influence de la taille des particules sur la dynamique de l'adsorption. Une modification de la granulométrie du charbon (par broyage par exemple) va augmenter la cinétique effective de l'adsorption : l'accès au cœur du charbon est plus rapide puisque le chemin à parcourir pour les molécules est plus faible. Le broyage n'a par contre pas affecté la surface spécifique du charbon : la capacité d'adsorption reste la même. La capacité d'adsorption dépend en partie de l'adéquation entre la dimension des pores et la dimension des molécules adsorbées. Un charbon actif est un adsorbant généralement microporeux ; il sera plus efficace pour les molécules de dimensions inférieures aux micropores que pour des molécules organiques plus volumineuses [25].

III-5-2-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'adsorbat ainsi que le mécanisme d'adsorption, ce facteur dépend de l'origine des eaux à traiter et du procédé de leurs traitements, donc il est judicieux de connaître l'efficacité de l'adsorption à différents pH. Chaque adsorbat a un Ph spécifique, l'élimination optimale de la tyrosine sur charbon actif en poudre est observée à des pH acides inférieurs à 6 [68].

III-5-3-Présence d'espèces compétitives

En général la présence de la compétition diminue la capacité de chaque espèce sur l'adsorbant. Ont étudié l'influence d'alcools aliphatiques sur l'adsorption d'acides aminés (phénylalanine et tyrosine) sur charbon actif en poudre, cette étude a montré que les alcools ramifiés provoquent l'inhibition de l'adsorption de ces acides aminés de l'ordre de 85% [68].

III-5-4-Distribution des diamètres des pores

La porosité d'un matériau adsorbant joue un rôle très significatif dans l'adsorption des composés organique aromatiques. Le charbon macroporeux a une meilleure capacité d'adsorption que le charbon mésoporeux dans le cas de macromolécules [68].

III-5-5-Solubilité de l'adsorbat

La solubilité d'un adsorbat joue un rôle important lors de son adsorption, plus la solubilité est grande, l'adsorption sera plus faible. Certain auteurs ont comparé l'adsorption de l'acide 4-hydroxybenzoïque (solubilité =5 g.l⁻¹ à 25°C) de l'acide syringique (1 g.l⁻¹) et de

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

l'acide gallique (15 g.l⁻¹). Il constaté que les capacités d'adsorption suivent l'ordre inverse des solubilités [68].

III-5-6-Polarité

Un soluté polaire aura plus d'affinité pour un solvant ou pour l'adsorbant polaire. Il faut que l'adsorbant et l'adsorbat soient de polarité voisine [68].

III-5-7-Structure moléculaire de l'adsorbat

Plus la structure moléculaire des particules à fixer est grande, plus le remplissage des pores s'effectue rapidement et la saturation est atteinte avec des rendements faibles, ce qui fait diminuer le nombre des sites libres pour les autres molécules [68].

III-6-Isotherme d'adsorption

L'isotherme d'adsorption est la courbe liant, à une température fixée, la quantité de produit adsorbée par masse initiale d'adsorbant à la concentration restant en phase fluide après équilibre d'adsorption. Les intérêts de l'isotherme d'adsorption pour un système adsorbant/adsorbat sont multiples. Outre son rôle indispensable dans le dimensionnement d'un lit fixe, elle permet aussi d'avancer des hypothèses sur le mode d'adsorption. En effet, son allure est représentative de certains phénomènes mis en jeu : adsorption monocouche ou multicouches, interactions latérales entre molécules ou non...qui permet une représentation graphique d'une isotherme d'adsorption, caractéristique de l'équilibre thermodynamique entre un adsorbant et un adsorbat, s'obtient généralement à partir d'expériences où l'on mesure la concentration stabilisée de l'adsorbat restant en phase fluide après adsorption. La quantité d'adsorbat présent sur l'adsorbant q_e (exprimée en mol par kg d'adsorbant) en fonction de la quantité d'adsorbat restant en solution C_e (exprimée en mol/m³) est calculée à l'aide du bilan matière [25].

$$q_e = (C_0 - C_e) \cdot \frac{V}{m_{adsorbant}} \text{ (Mol. kg}^{-1}_{adsorbant}\text{)}$$

Où C_0 est la concentration initiale de la solution (mol.m⁻³) ;

$M_{adsorbant}$: la masse initiale d'adsorbant (kg) ;

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

V : le volume de solution (m^3).

III-6-1-Types d'isothermes d'adsorption

Selon la classification de l'U.I.C.P.A. pour le cas de l'adsorption en phase gazeuse, Cinq formes d'isotherme peuvent être distinguées.

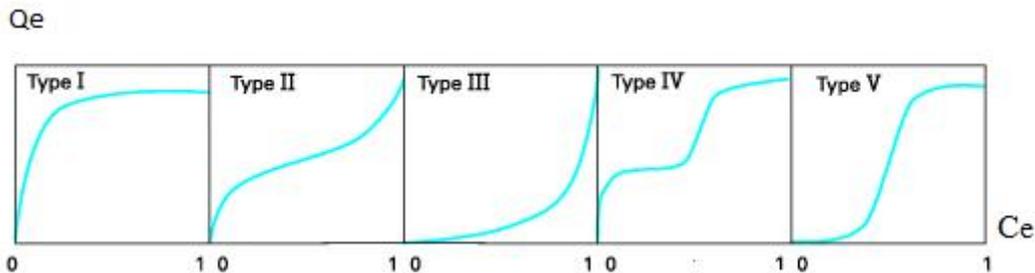


Figure III-4 : les types d'isothermes d'adsorption.

Ces formes d'isotherme se rencontrent aussi en solution aqueuse. En phase gaz, nous associons généralement le type d'isotherme aux propriétés physiques de l'adsorbant.

Une isotherme de type I est caractéristique d'un adsorbant dont le volume microporeux est particulièrement élevé. La saturation des sites d'adsorption se fait progressivement dès les faibles concentrations. La forme de l'isotherme est caractérisée par un long plateau indiquant une faible formation de multicouches, cette forme est à rapprocher du modèle mathématique de Langmuir qui sera abordé plus loin. On considère dans ce cas que les sites d'adsorption sont équivalents [25].

Isothermes de type II c'est l'isotherme la plus fréquemment rencontrée, quand l'adsorption se produit sur des poudres non poreuses ou ayant des macropores, (diamètre supérieur à 500 \AA environ) le point d'inflexion de l'isotherme indique que la première couche est totalement saturée, la polycouche pouvant alors au fur et à mesure que la pression relative augmente, le nombre de couches pouvant être très important [23].

Isotherme de type III Cette isotherme est caractéristique des adsorptions où la chaleur d'adsorption de l'adsorbant est inférieure à la chaleur de liquéfaction. Cette isotherme est relativement rare, elle indique la formation de couches polymoléculaires, dès le début de l'adsorption, et avant que la surface n'ait été recouverte complètement d'une couche monomoléculaire. L'adsorption additionnelle est facilitée de fait que l'interaction de

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

l'adsorbat avec la couche est plus importante que l'interaction de l'adsorbat avec la surface adsorbante. Un tel comportement indique que la surface du solide n'est pas homogène, et que l'adsorption s'effectue sur des sites préférentiels où les forces d'attraction sont les plus intenses [23].

Isothermes de type IV sont associées aux adsorbants plutôt mésoporeux. La présence de deux paliers peut résulter de la formation de deux couches successives d'adsorbat à la surface du solide quand les interactions entre les molécules et la surface sont plus fortes que celles entre molécules. Dans ce cas les sites d'adsorption de la seconde couche ne commencent à être remplis que lorsque la première couche est pleine [25].

Isothermes de type V sont aussi caractéristiques d'échantillons microporeux avec formation de multicouches dès les faibles concentrations. Comme pour l'isotherme de type III, ce comportement est représentatif d'interactions plus fortes entre les molécules qu'entre molécules et adsorbant. Il est important de préciser que le lien entre la forme de l'isotherme et le mode d'adsorption s'applique dans le cas des gaz, mais cette vision apparaît moins adaptée au cas de l'adsorption en solution aqueuse. En effet, les interactions mises en jeu sont beaucoup plus diverses et les caractéristiques physiques de l'adsorbant ne sont plus aussi prépondérantes. La nature des fonctions de surface et celle des molécules jouent dans ces conditions un rôle important. Dans le cas de l'adsorption sur charbon actif, deux grands types de comportement peuvent être rencontrés : une isotherme de type I ou isotherme de Langmuir et une isotherme de type II ou isotherme de Freundlich [25]. Ainsi que de nombreux auteurs ont proposé des modèles théoriques ou empiriques pour décrire la relation entre la masse d'adsorbât fixée à l'équilibre et la concentration sous laquelle elle a lieu, selon leur complexité théorique et mathématique.

III-6-1-1-Modélisation de l'équilibre d'adsorption

Selon [68]. Pour décrire les caractéristiques d'un système adsorbant/adsorbat, plusieurs modèles théoriques et empiriques ont été développés. Les plus utilisées sont les suivants

III-6-1-1-1-Model de Langmuir

Moyennant les hypothèses suivantes :

- Les molécules sont adsorbées sur des sites bien définis à la surface de l'adsorbant.

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

- Tous les sites sont identiques.
- Chaque site ne peut fixer qu'une seule molécule, donc l'adsorption s'effectue suivant une couche monomoléculaire.
- L'énergie de chaque molécule adsorbée est indépendante de sa position sur la surface.

L'équation empirique donnée par Langmuir est représentée par la relation suivant :

$$\frac{X}{m} = \frac{q_m \cdot b \cdot C_e}{(1 + b C_e)}$$

x/m : quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g).

q_m : capacité d'adsorption ultime (mg/g).

C_e : concentration du soluté dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l).

b : la constante d'équilibre caractéristique de l'adsorbant ; elle indique également l'affinité de l'adsorbant pour l'adsorbant.

La linéarisation de l'équation de Langmuir permet de déduire la capacité ultime (q_m) et la constante de Langmuir $K_d = 1/b$ (K_d indique aussi la constante de dissociation de l'adsorbant), cette linéarisation est donnée par la relation suivante :

$$\frac{1}{\frac{X}{m}} = \frac{1}{q_m \cdot b \cdot C_e} + \frac{1}{q_m}$$

Si on trace $C_e / (x/m)$ en fonction de C_e on trouve une droite de pente $1/q_m$ et d'ordonnée à l'origine $1/q_m b$.

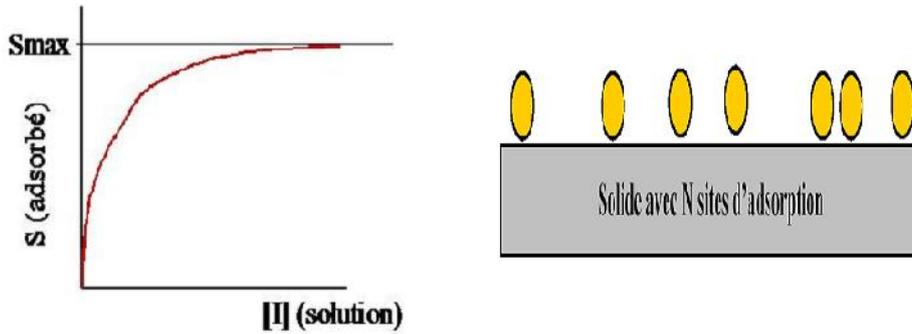


Figure III-5 : Isotherme et Modélisation de l'adsorption selon Langmuir [51].

III-6-1-1-2-Model de Freundlich

La relation empirique de Freundlich a été largement utilisée pour les systèmes hétérogènes et en particulier pour décrire le phénomène d'adsorption des composés organique sur le charbon actif. L'isotherme est décrite par l'équation empirique suivante :

$$\frac{X}{m} = K C e^{1/n}$$

x/m : quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g).

K et n sont des constantes qu'il faut évaluer pour chaque température et qui dépendent respectivement de la nature de l'adsorbat et de l'adsorbant. Leur détermination se fait à l'aide de l'équation suivante :

$$\log \frac{X}{m} = \log K + \left(\frac{1}{n}\right) \log C e$$

Cette équation est celle d'une droite de pente $1/n$, et d'ordonnée à l'origine $\log K$. en général, n est compris entre 0,8 et 2, et proportionnel à la force de l'adsorption.

Le modèle de Freundlich n'est valable que pour des solutions diluées pour lesquelles il est recommandé.

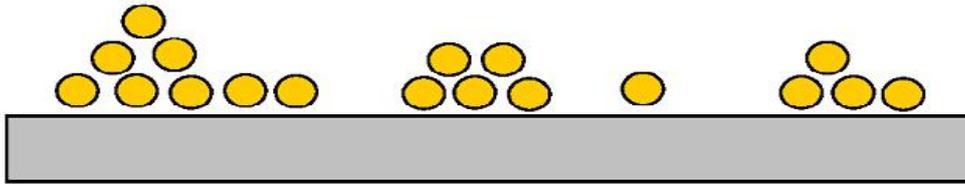


Figure III-6: Modèle d'adsorption en multicouche selon Freundlich [51].

III-6-1-1-3-Model de Brunauer, Emmett et Teller (B.E.T)

Brunauer, Emmett et Teller ont proposé une généralisation de la théorie de Langmuir appliquée à la l'adsorption en couche multimoléculaires à la surface du solide. Ces auteurs ont adopté des hypothèses semblables à celles émises par Langmuir. La principale différence résulte du fait que les molécules de soluté peuvent s'adsorber sur les sites déjà occupés. Ce modèle est exprimé par l'équation suivante :

$$X = \frac{Q_m \cdot A \cdot C_e}{C_s - C_e} \cdot \frac{1}{1 + \frac{A-1}{C_s} C_e}$$

X : quantité de soluté adsorbée (mg).

C_e : concentration du soluté dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l).

C_s : concentration du soluté en phase liquide à la saturation de l'adsorbant (mg/l).

A : constante liée à l'énergie d'interaction avec la surface.

Q_m: quantité ultime du soluté adsorbée (mg).

III-7-: Etat de l'art

Durant ces dernières années et vu l'importance de la dépollution des eaux et questions du développement durable, de nombreux chercheurs ont fait des études sur l'utilisation de l'adsorption comme méthode de purification sur des supports solides tel que le charbon actif.

Dans ce présent paragraphe on va donner une synthèse bibliographique de certains travaux récents menés dans le domaine de l'adsorption.

Afin d'éliminer l'atrazine qui est un herbicide de triazines chloro-N-dialkyl (20 mg/l), [2] ont utilisé un charbon actif en poudre (CAP) mésoporeux de 20 nm de granulométrie et de 658 m²/g de surface spécifique. Les auteurs ont trouvé, que pour une concentration de 0,1 g/l de CAP et 20 mg/l de l'atrazine, le rendement a été de 95,96 % au bout de 3 heures, et au-delà de ce temps la concentration résiduelle de l'atrazine en solution reste pratiquement stable.

Aussi l'influence de la masse du charbon a été mise en évidence. En faisant varier la masse du charbon de 10 à 1000 mg/l, la rétention de l'atrazine augmente en fonction de la masse et pour une masse de 1 g de CAP le maximum d'élimination de l'atrazine atteint une valeur de 98,9%. Aussi les auteurs ont montré la concentration initiale optimale en atrazine est de 10 mg/l et que l'adsorption n'a été pas influencée par le pH.

[71]. ont étudié l'élimination de l'arsenic (III) contenu dans une eau, par adsorption sur du charbon activé, préparé à partir des noyaux de dattes.

Dans cette étude, le charbon actif est obtenu après un broyage-tamissage (0,5 et 2 mm) des noyaux de dattes, carbonisation à 600°C puis une activation thermique à 900°C réalisée dans un four tubulaire, sous courant de vapeur d'eau pendant une durée de 3h de temps de contact. Le charbon ainsi traité est séché à l'étuve à 105°C jusqu'à poids constant (8h). Le charbon actif en poudre obtenu a une surface spécifique de 750 m²/g.

Pour la mesure de cette capacité d'adsorption, plusieurs essais ont été réalisés avec des masses variées de charbon, préalablement séchées, et mélangées à 50 ml d'une solution de 50 mg/L d'arsenic (III). Après 24h d'agitation à température constante ils ont clairement montré que la capacité d'adsorption de l'arsenic (III) est maximale à pH 7 et à une température de 20°C. Les isothermes ainsi obtenus sont correctement décrites par les deux modèles linéarisés de Langmuir et Freundlich.

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

[56] ont fait l'étude sur la préparation de charbon actif en utilisant comme matière première le grignon d'olive. Ce dernier a été séché à 120°C pendant une nuit à l'étuve, imprégné par un agent chimique (KOH, Na₂CO₃, NaOH, H₂SO₄, H₃PO₄) en proportion désirée. Le mélange grignon/agent chimique est agité pendant une durée d'une heure à une température voisine de 60°C et porté à la température de 120°C jusqu'à évaporation totale de l'agent. Le matériau destiné à l'activation chimique (la méthode utilisé dans cette étude) sera récupéré pour en faire deux types de charbon actif. La température d'activation pour les deux types est de 700°C et le temps de séjours de 30 minutes. Le premier type est activé à l'hydroxyde de potassium (KOH) qui favorise l'adsorption des molécules de petites tailles telle que le phénol et l'iode, qui sont utilisé dans cette étude (pour confirmer la microporosité de ce charbon), alors que le deuxième est activé avec l'acide phosphorique (H₃PO₄) qui présente une bonne affinité vis-à-vis de la molécule du bleu de méthylène, qui renseigne sur l'adsorption des molécules de grosse taille.

Les auteurs ont constatés que l'adsorption sur charbon activé à l'hydroxyde alcalin est le meilleur agent chimique pour l'adsorption de molécule de petite taille, alors que l'utilisation de l'acide phosphorique comme agent chimique d'activation favorise l'adsorption de molécules de grandes tailles.

Le travail réalisé par [18] a pour objectif de comparer l'adsorption de la tyrosine sur charbon actif en grain et en poudre. L'influence de paramètres réactionnels tels que la masse d'adsorbant, le pH ainsi que la concentration initiale de la tyrosine a été étudié. Ils ont montré que le charbon actif en grains ainsi que le charbon actif en poudre aboutissent à des rendements importants, surtout lorsque le milieu est tamponné à pH = 7,14 (tampon phosphates). Le rendement d'élimination de la tyrosine sur le charbon actif en poudre augmente au fur et à mesure que le pH augmente jusqu'à pH = 6 pour lequel le rendement est maximal (95,34 %), par contre le rendement maximal de charbon actif en grains qui est de 66,27 % à pH = 4. Pour une masse de 2000 mg du charbon actif en grains, le rendement maximal atteint 82,22%, et un rendement maximal de 96,87% pour une masse de 1000 mg du charbon actif en poudre, ce qui confirme l'augmentation de l'efficacité lorsque la masse d'adsorbant introduit augmente. Aussi, ils ont aussi obtenu un maximum de rétention (100%) pour une teneur initiale de tyrosine de 8 à 10 mg/l dans le cas de l'utilisation du charbon actif en grains et une rétention de 67,44% pour une teneur initiale de 10 mg/l en utilisant le charbon actif en poudre.

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

[33] ont effectué une étude sur la synthèse des charbons actifs à partir d'activation chimique avec de l'acide phosphorique de différents charbons issus de Noix de coco, Coque d'arachide, Coque de jatropha et Bois de jatropha.

La matière première est broyée, tamisée et séchée à l'étuve à 105°C pendant 24h et enfin à activée avec H_3PO_4 à des concentrations qui varient entre 2% et 10% avec des températures de 400°C et 700°C. Grâce à l'iode, la microporosité des charbons a été déterminée.

Les auteurs ont trouvés à l'issue de leur travail que l'augmentation de la concentration de l'agent activant de 2% à 10% favorise le développement des pores à la surface des charbons actifs, par contre une élévation de la température de 400 à 700°C entraîne une diminution de la microporosité donc surface spécifique des charbons actifs synthétisés à base de noix de coco et coque d'arachide. Aussi la vitesse de chauffe est le facteur le moins influent parmi les facteurs étudiés.

[69] ont étudié le pouvoir adsorbant du charbon actif en poudre pour l'élimination des phosphates des eaux naturelles souterraines et de l'eau distillée.

Un charbon actif en poudre de granulométrie de 20 μm et de surface spécifique égale à 658 m^2 /g a été utilisé. La rétention par adsorption des phosphates est améliorée avec l'augmentation de la concentration de l'adsorbant (0,1 à 4 g/l), et l'adsorption suit les deux modèles de Langmuir et de Freundlich. Aussi les rendements diminuent avec l'augmentation de la teneur initiale en phosphate (1 à 20 mg/l) pour l'eau distillé et augmentent dans le cas de l'eau naturelle.

[29] ont étudié l'adsorption des composés organiques volatils chlorés par le charbon actif et l'alumine activée.

La première partie de ce travail consiste à identifier les différents polluants, puis à déterminer leurs concentrations initiales. A cet effet, Les échantillons d'eau prélevés sont d'abord traités par le charbon actif et l'alumine activée, parallèlement. Le protocole expérimental utilisé consiste à faire passer l'échantillon sur une colonne de 3,5 cm de diamètre, contenant le lit filtrant. Le filtrat est soumis à une extraction liquide - liquide, en utilisant le n-hexane comme solvant. La phase organique est séparée de la phase aqueuse, filtrée sur papier filtre puis analysée par La chromatographie en phase gazeuse (CPG), en vue de déterminer les rendements d'élimination des différents hydrocarbures chlorés, la phase aqueuse est soumise à son tour à différentes analyses physicochimiques. Cette étude est menée sous différentes

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

conditions afin de voir l'influence de certains paramètres, tels que: le temps de contact, le pH et la masse de l'adsorbant. La dernière étape de l'étude des isothermes d'adsorption consiste à modéliser la courbe. Les modèles classiques de Langmuir et de Freundlich caractérisant la formation d'une monocouche seront utilisés pour leur simplicité de mise en œuvre. L'étude réalisée a montré que l'alumine activée présente des capacités d'adsorptions considérables et d'autre part la combinaison alumine-charbon actif donnerait probablement de meilleurs rendements d'élimination.

[52] ont fait une comparaison concernant l'équilibre de la rétention du phénol des solutions aqueuses par l'adsorption sur des copolymères macroporeux styrène-divinylbenzène synthétisés (S-DVB) et commercial (Amberlite XAD-1) obtenus par le contact statique (pendant 24 heures, la température $20\pm 2^\circ\text{C}$) des copolymères (0,1-3,0 g) avec 100 ml solution phénolique de concentration 1000 mg/L. L'adsorption dépend de la concentration du phénol de la solution et de la surface spécifique des copolymères. Le gonflement du XAD-1 en contact avec l'alcool méthylique et le gonflement en alcool méthylique du S-DVB 1 conduit à une augmentation de la capacité de rétention du phénol.

Les isothermes comparatives d'adsorption du phénol sur les copolymères S-DVB 1 et XAD-1 gonflées en alcool méthylique indiquent que la rétention du phénol beaucoup est plus grande dans le cas du-DVB 1 que du XAD-1.

Dans le cas du S-DVB l'adsorption est diminuée par l'influence des facteurs texturales, la densité apparente, la porosité et le diamètre moyen des pores.

Les auteurs ont signalés aussi que comparativement au charbon actif, la capacité d'adsorption des copolymères macroporeux styrène-divinylbenzène est beaucoup plus diminuée à cause de la différence grande de surface spécifique (beaucoup plus grande dans le cas du charbon actif).

[36] ont étudié l'élimination du bleu de méthylène (BM) en solution aqueuse par adsorption sur le charbon actif commercial CECA 40 en réacteur statique clos. Les concentrations de BM sont déterminés à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible (HACH DR/2000) muni d'une cuve de 3 cm de longueur son maximum d'absorption ($\lambda_{\text{max}} = 660 \text{ nm}$).

A pH et température constantes, le temps d'équilibre d'adsorption est indépendant de la concentration initiale du bleu de méthylène et égal à 5 heures. L'adsorption et obéit à une

Chapitre III : Adsorption et phénomènes d'adsorption

isotherme de Langmuir de type I avec une capacité ultime d'adsorption de l'ordre de 367,6 mg de BM par gramme de CECA40. Les cinétiques d'adsorption et de diffusion intraparticulaire sont meilleures en milieu basique qu'en milieu acide, elle est également meilleure pour la granulométrie la plus fine.).

[44] ont étudié la rétention de métaux lourds (Cd^{2+} , Pb^{2+}) par adsorption sur charbon actif commercial en poudre (labkem CHAR-PWA-500) de pH 7,50 et une teneur en cendre très faible (0,19%) et argile sodée provenant du gisement de Roussel de Maghnia. Les essais sont réalisés en réacteur fermé de volume 100 cm^3 relié à un bain thermostat et agité électromagnétiquement aux vitesses et aux températures choisies. Ces deux matériaux sont étudiés à partir des isothermes d'adsorption des ions métalliques plomb et cadmium en solution aqueuse à différentes températures en utilisant un spectrophotomètre d'absorption atomique (type PYE UNICAM SP9) avec des longueurs d'onde de 217 et 228,8 nm.

Divers paramètres influençant le phénomène d'adsorption ont été déterminés et optimisés tels que : masse d'adsorbant, temps de contact solide-liquide, concentration initiale d'adsorbât, température et pH de la solution. Les résultats obtenus montrent que la rétention est prévisible à partir des isothermes d'adsorption en accord avec le modèle de Freundlich et d'autre part les adsorbants choisis présentent des sélectivités préférentielles vis à vis des ions Pb^{2+} , Cd^{2+} . Par ailleurs, la détermination de la chaleur isostérique d'adsorption confirme une adsorption physique exothermique de l'élément plomb sur charbon actif et argile sodée.

Chapitre IV

IV-1-Introduction

L'étude expérimentale de ce travail à été menée dans le laboratoire de traitement des eaux de département agronomie et le laboratoire de chimie (campus Tamda) de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Dans ce chapitre on a décrit les matériels utilisés et les méthodes suivies lors des procédés expérimentaux est l'étude de la transformation de la matière végétale en charbon activé.

IV-2- Matériaux utilisés

Le charbon actif utilisé comme support d'adsorption au cours de ce travail est un charbon d'origine végétale grignons d'olives extrait des oliviers de « Ouadia », le chêne zeen qui provient d'Akfadou et un charbon commercial qu'est un charbon en poudre provenant du commerce également utilisé pour comparer l'efficacité d'adsorption de ces derniers. Le réactif utilisé pour la modification de la porosité des deux charbons d'origine végétale est l'acide phosphorique (85%) fourni par BIOCHEM Chemopharma.

Les solutions utilisé pour l'étude de l'adsorption sont le phénol ($M=94$ g/mol, 99.5 % pure) et benzène ($d=0.88$, $M=78$ g/mol, 99 % pure) tout les deux fournis par SEELZE-HANNOVER.

IV-3-Choix de la matière première et de l'agent activant

La matière première utilisée dans cette étude est constituée de grignon d'olives et de bois de chêne zeen, activées à 450°C dans un milieu anaérobie par l'acide phosphorique (H_3PO_4). Ces résidus sont bon marché et constituent une source renouvelable. H_3PO_4 est un agent activant classiquement utilisé dans les procédés d'activation chimique [38]. Il offre plusieurs avantages [37]. IL est un agent non polluant (comparé à $ZnCl_2$), l'élimination est possible par lixiviation dans l'eau et le recyclage de cette agent est possible après lavage à l'eau. De plus l'utilisation d'acide phosphorique donne la possibilité de développer des charbons microporeux et/ou mésoporeux dont la surface spécifique dépend de la température d'activation [61]. L'adsorption du benzène et phénol a été étudiée respectivement pour ces charbons actifs préparés dans cette étude comparée avec le charbon commercial pour tester leur efficacité d'adsorption. Le choix de ces charbons actifs s'explique par leur bonne capacité à éliminer les composés organiques, montrée d'après les travaux de [33].

IV-3-1-Préparation de la solution d'acide phosphorique (H_3PO_4)

Les solutions d'acide phosphorique (H_3PO_4) d'une concentration de 50% massique ont été préparées en utilisant de l'eau distillée comme solvant. A partir d'une solution d'acide phosphorique de 85 % fourni par BIOCHEM Chemopharma, nous avons préparé une solution à 50%.

IV-3-2-Préparation du charbon actif à base de grignon d'olives

IV-3-2-1-Charbon brut

Le charbon brut est préparé à partir des grignons d'olives récupéré à la huilerie des Ouadia. Ces derniers sont lavés abondamment à l'eau chaude ($100^\circ C$) afin d'éliminer toute sorte de poussières ou d'impureté adhérente ainsi que la peau et les résidus de la pulpe jusqu'à obtention d'une eau de lavage claire [9]. On a récupéré seulement les fragments des noyaux, puis on les a laissés sécher à l'aire libre. Enfin on a broyé les fragments [64] pour obtenir une poudre qui sera destiné à l'activation.

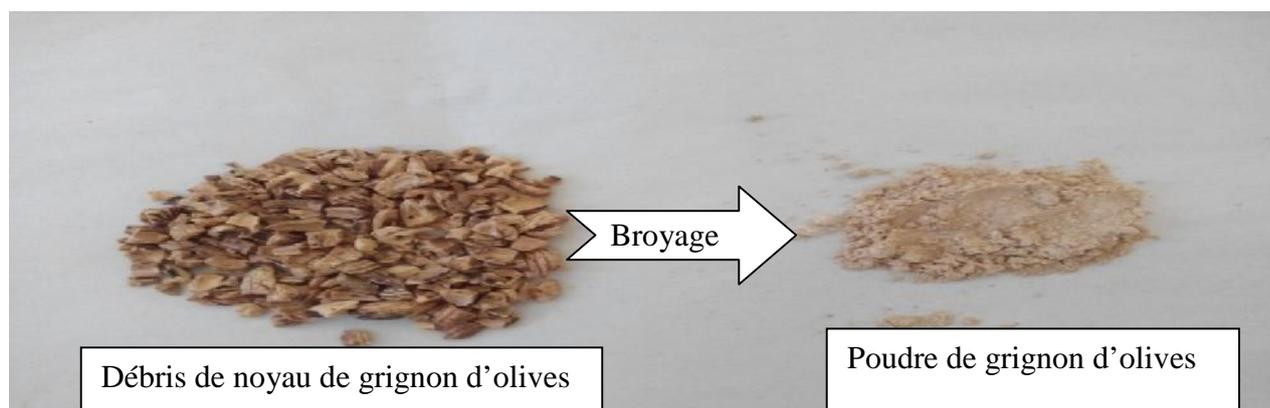


Figure IV-1 : charbon brut issue de grignon d'olives.

IV-3-2-1-1-Activation de charbon brut :

Afin d'activer chimiquement le charbon brut par l'acide phosphorique, on a adopté le protocole suivant :

Au préalable, une masse de 50 g de charbon brut a été déposée dans un bêcher contenant 200 ml d'acide phosphorique à une concentration de 50% massique, la solution a été agitée pour que la quantité soit complètement immerger puis laissée pendant 24h à labri de la lumière et sellé dans l'aluminium.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

Le charbon obtenu est mis ensuite dans des moules en porcelaine, la carbonisation est réalisée dans un four à moufle (linn high therm de type LM 51207), à une vitesse de chauffe de 150°C par heure jusqu'à 450°C et laisse pendant 3 heures à cette température. Après on fait sortir délicatement et laisser refroidir puis laver avec l'eau distille chaude (100°C) jusqu'à pH=7 (pH neutre) et nous avons effectué une filtration à l'aide d'un dispositif de filtration a pompe a vide. La masse de charbon activé a été séchée dans une étuve (J.P.Selecta,s.a.) à 105 C° pendant 24 heures, jusqu'à avoir un produit sec, ensuite tamisées pour ne retenir que la fraction de 50 µm.

IV-3-3-Préparation du charbon actif à base de chêne zeen

IV-3-3-1-Charbon brut

Le charbon brut est préparé à partir de duramen de chêne zeen qui est a été récupéré à la forêt d'Akefadou. Ce dernier a subi un broyage afin d'obtenir une poudre qui sera destinée à l'activation. Pour cette étape on a suivies les mêmes que celle de la préparation de charbon actif à base de grignon d'olives.

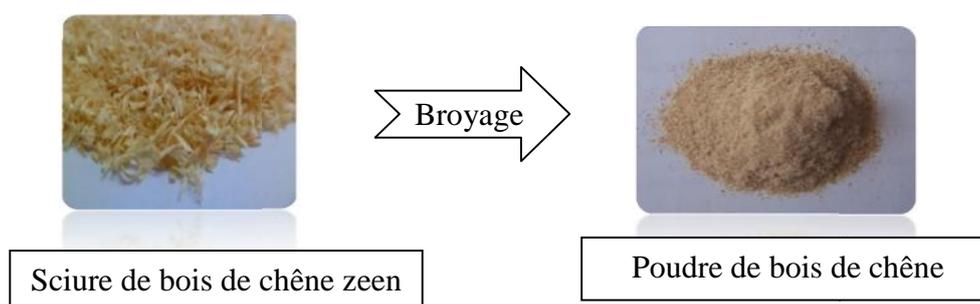


Figure IV-2 : charbon brut issue de bois de chêne zeen.

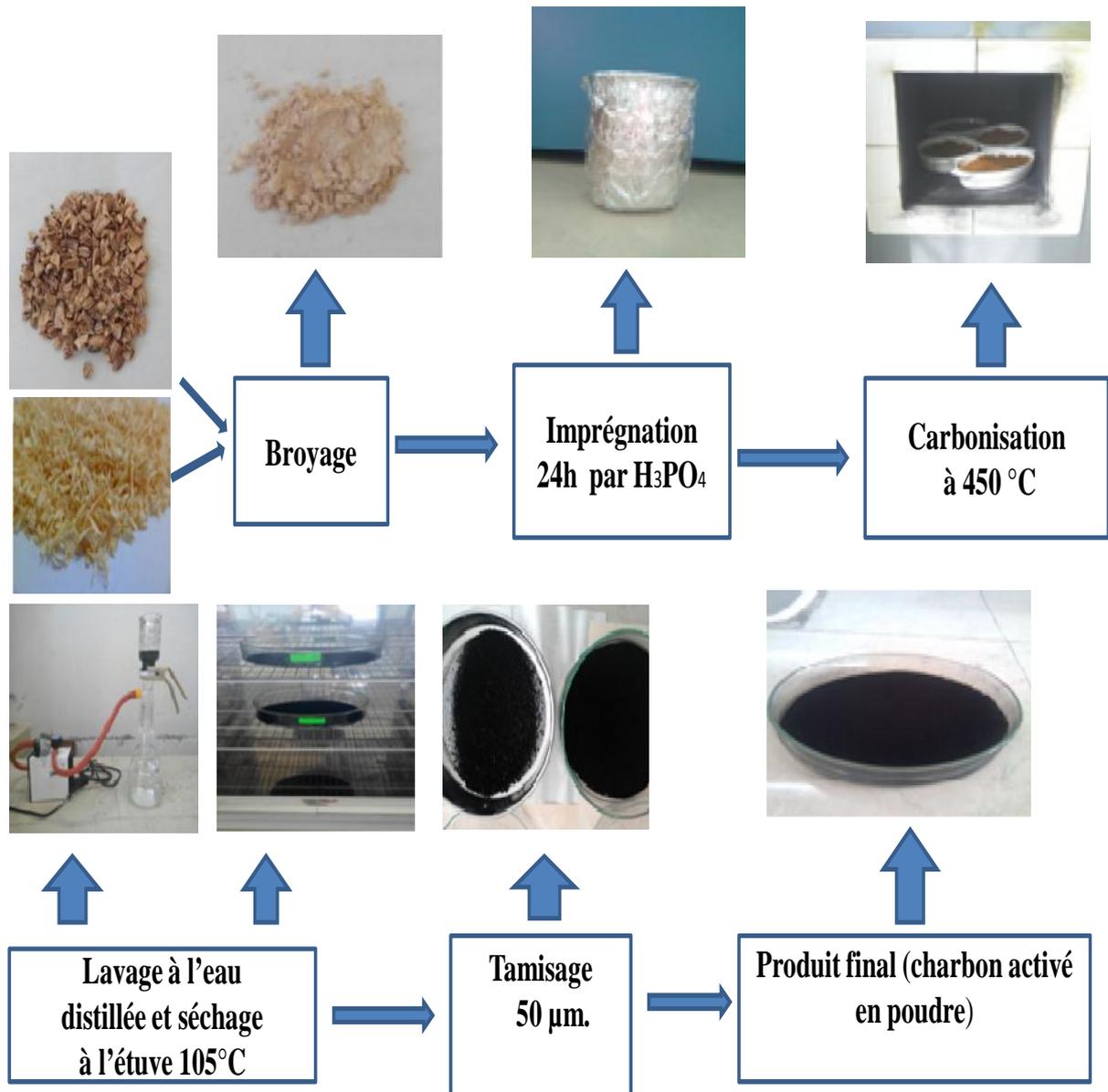


Figure IV-3 : schéma récapitulative des étapes de l'activation de charbon brut (grignon d'olives et de châne zeen).

IV-4-Préparation de la solution de benzène(C_6H_6)

Nous avons préparé une solution mère de 1000 ml (x5) de benzène de 0.2 mol/l à partir d'une solution commerciale qui a les caractéristiques suivantes : $d=0.88$, $M=78$ g/mol, 99 % pure fourni par SEELZE-HANNOVER. Cette solution a été utilisée pour la préparation des solutions étalons de 0.01N à 0.1 N par dilution pour déterminer la courbe d'étalonnage ainsi que pour la préparation des solutions pour l'adsorption.

IV-5- Préparation de la solution de Phénol (C_6H_6O)

Nous avons préparé une solution mère de 1000 ml (x5) de phénol de 0.2 mol/l à partir d'une solution commerciale qui a les caractéristiques suivantes : $M=94$ g/mol, 99.5 % pure fourni par SEELZE-HANNOVER. Cette solution a été utilisée pour la préparation des solutions étalons de 0.01N à 0.1 N par dilution pour déterminer la courbe d'étalonnage ainsi que pour la préparation des solutions pour l'adsorption.

IV-6-Spectrophotomètre UV-Visible

Pour le dosage de nos différentes solutions on a utilisé un spectrophotomètre UV-Visible de type Thermo Fisher Scientific, Model: CAT 9423UVE100CE. La spectrophotométrie d'adsorption étant une méthode qui consiste à mesurer l'atténuation de la lumière traversant un milieu pour pouvoir déterminer les concentrations des substances absorbantes. Le domaine spectral de l'UV-Visible est largement exploité en analyse quantitative [64] Cette technique est utilisée dans notre étude pour la quantification des solutions de phénol et de benzène à différentes concentrations avant et après adsorption par le spectrophotomètre UV-Visible figure IV-3



Figure IV-4: Spectrophotomètre UV visible de type Thermo Fisher Scientific.

IV-7-Microscopie électronique à balayage (MEB)

Le microscope électronique à balayage permet d'obtenir des images de surfaces de pratiquement tous les matériaux solides, à des échelles allant de celle de la loupe (x10) à celle du microscope électronique en transmission (x500.000 ou plus). Ces images frappent en premier par le rendu très parlant du relief et la grande profondeur de champ [31].

Le principe du balayage consiste à explorer la surface de l'échantillon par lignes successives et à transmettre le signal du détecteur à un écran cathodique dont le balayage est exactement synchronisé avec celui du faisceau incident. Les microscopes à balayage utilisent un faisceau très fin qui balaie, point par point, la surface de l'échantillon [42].

- Il permet de visualiser les échantillons en 3 dimensions.
- Il donne des informations sur les relations entre les différentes structures du tissu.
- On peut également obtenir une image de composition du matériel étudié.
- Il permet l'observation d'objet macro et microscopiques.



Figure IV-5 : MEB à émission de champ S4700 [14].

Chapitre V

V-1- Introduction

Ce chapitre représentera essentiellement les résultats de l'adsorption des solutions de phénol et benzène sur les trois types de (CAP) charbon activé en poudre [grignon d'olives (GO), bois de chêne zeen (CZ) et charbon commercial (CC)].

V-2- Résultats de microscopie électronique à balayage (M.E.B.)

L'examen de la morphologie des échantillons est réalisé à l'aide d'un microscope électronique à balayage [70] de type ESEM XL 30 marques Philips (Germany), la différence de potentiel et de 20 kv, la distance de pénétration 20 et 100 μm .

L'analyse par microscopie électronique à balayage nous a permis de comparer la morphologie des charbons avant et après activation (grignon d'olives, bois de chêne zeen).

La morphologie de grignon d'olives en grain et en poudre (a) avant activation et (b) après activation est représentée par la figure V-1 et V-2.

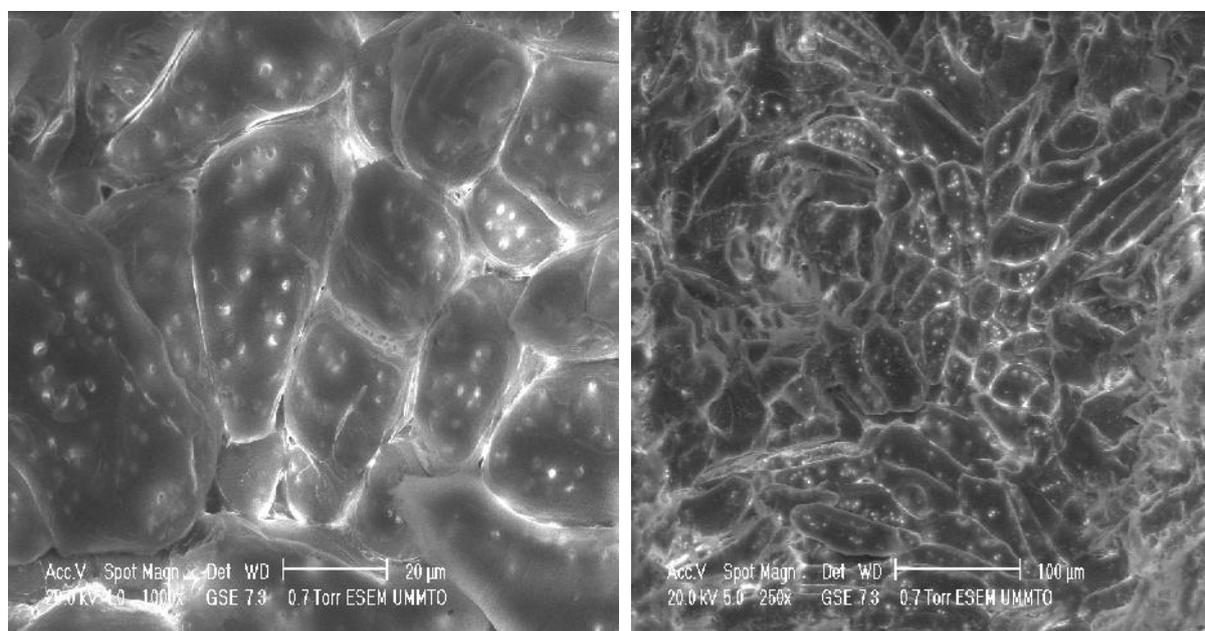


Figure V-1 : analyse par microscopie électronique à balayage de grignon d'olives en grain.

Chapitre V : Résultats et discussion

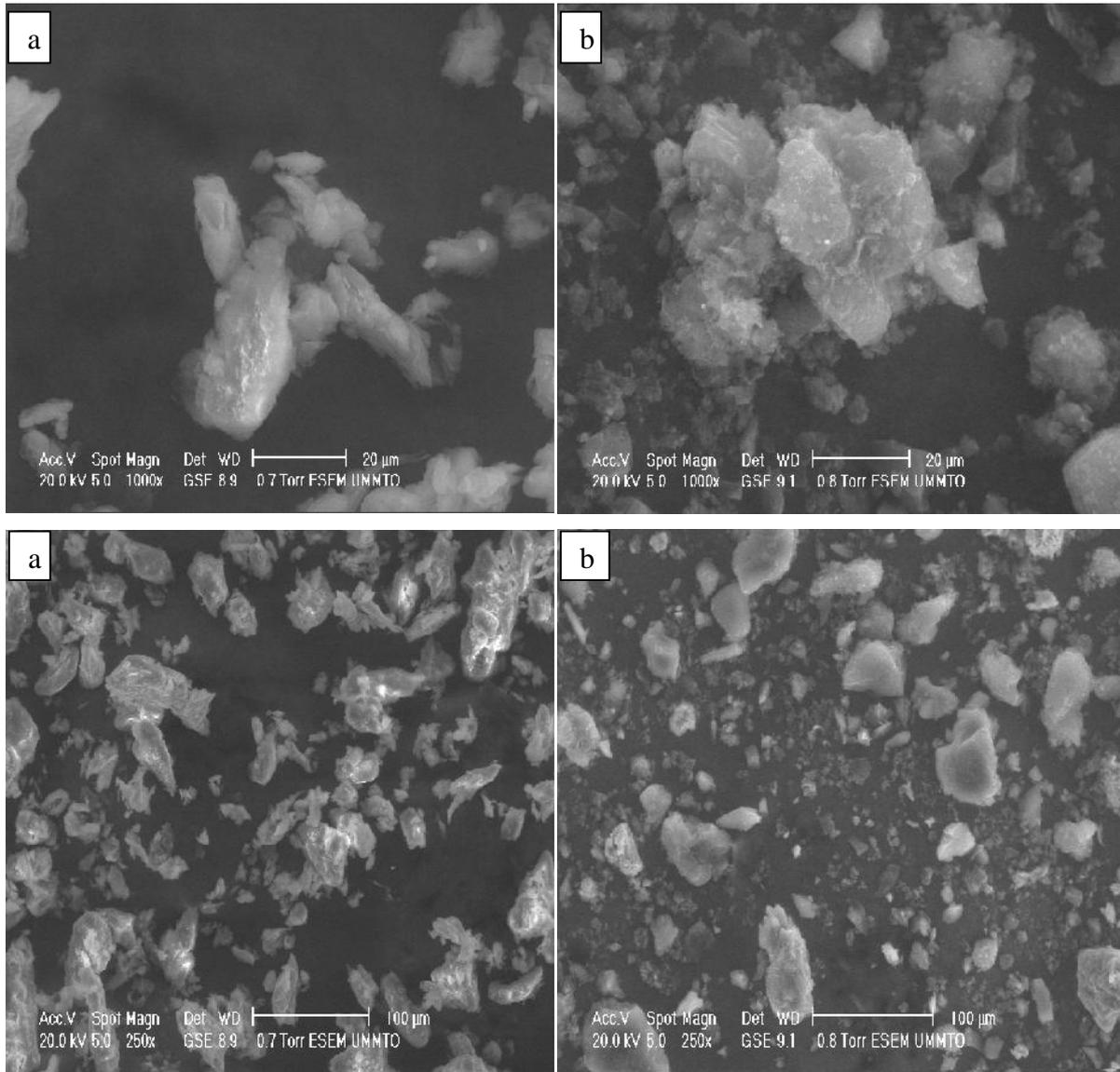


Figure V-2 : analyse par microscopie électronique à balayage de grignon d'olives en poudre

[(a) avant activation, (b) après activation].

La morphologie de grignon d'olives a été observée avec un microscope électronique à balayage (M.E.B) à différents agrandissements. La figure V-2 montre que la surface spécifique de grignon d'olives après activation est plus importante que la surface spécifique de grignon d'olives avant activation ce que signifie que la porosité augmente après activation.

Chapitre V : Résultats et discussion

La figure V-3 représente la morphologie de bois de chêne zeen en poudre avant activation (a) et après activation (b).

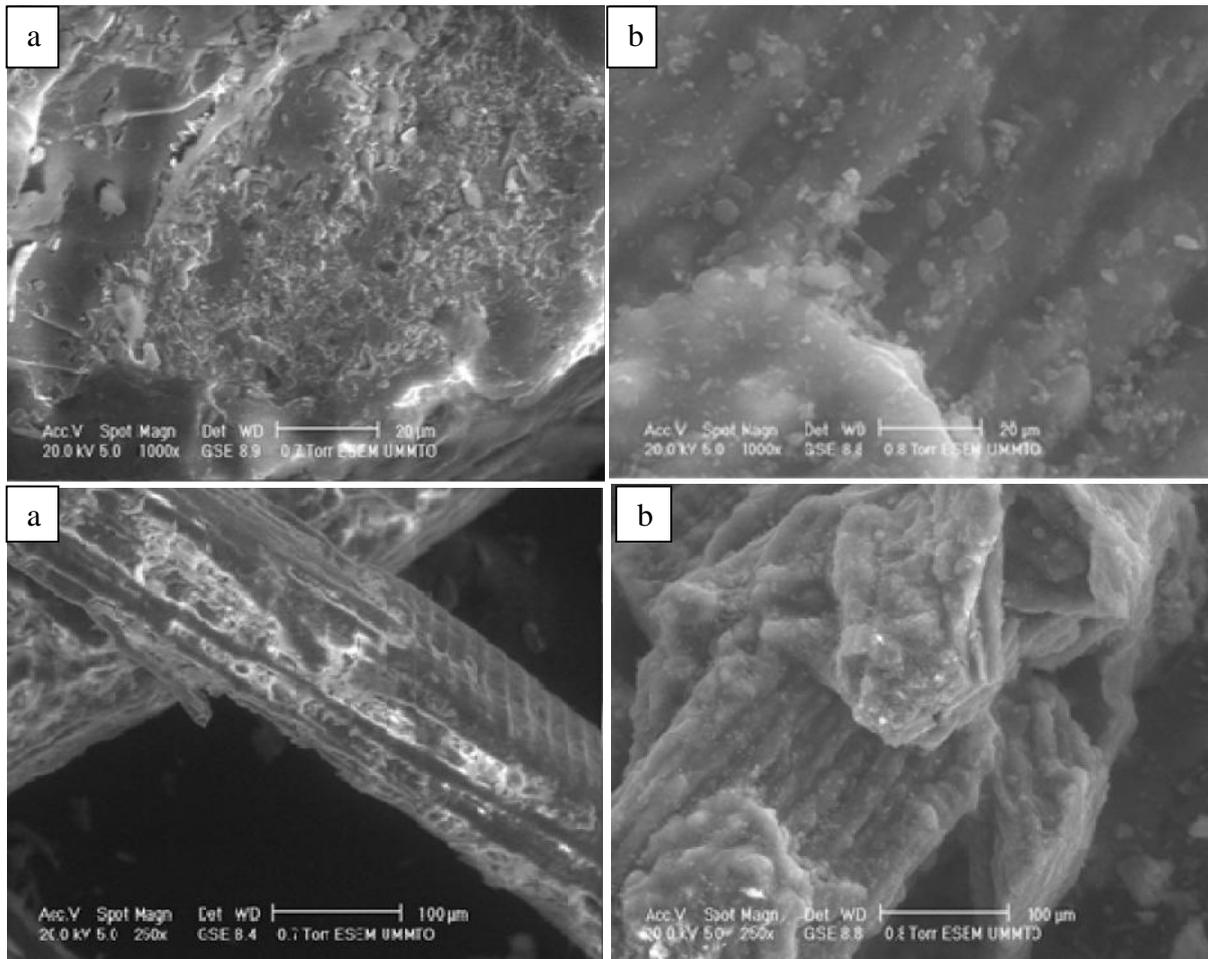


Figure V-3 : analyse par microscopie électronique à balayage de bois de chêne zeen en poudre (a : avant activation, b : après activation).

La morphologie de bois de chêne zeen a été observée avec un microscope électronique à balayage (M.E.B) à différents agrandissements. La figure V-3 montre que la surface spécifique de bois de chêne zeen après activation est plus importante que la surface spécifique de bois de chêne zeen avant activation ce qui signifie que la porosité augmente après activation.

Chapitre V : Résultats et discussion

V-3- Adsorption du phénol

V-3-1-Détermination de la courbe d'étalonnage

Les absorbances des solutions de phénol précédemment préparées sont mesurées sur le spectrophotomètre UV-Visible à 540 nm. Le tableau 1 dans l'Annexe illustre les résultats de cette mesure qui permet de tracer la courbe d'étalonnage montrée dans la figure V-4.

V-3-1-1-Courbe d'étalonnage du phénol

Une courbe d'étalonnage des absorbances en fonction des concentrations en phénol a été obtenue en employant les solutions du phénol de concentrations comprises entre 0.01 et 0.1 (mol/l). Les données expérimentales rapportées dans la Figure V-4 indiquent une relation linéaire entre l'absorbance et la concentration avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,931$.

La concentration initiale en phénol (C_i) déterminée en mg/g à partir de l'équation suivant:

$$C_i \text{ (mg/l)} = C_i \text{ (mol/l)} / M * 1000 \quad \text{avec } M = \text{masse molaire de phénol.} \quad \text{Eq : V-1}$$

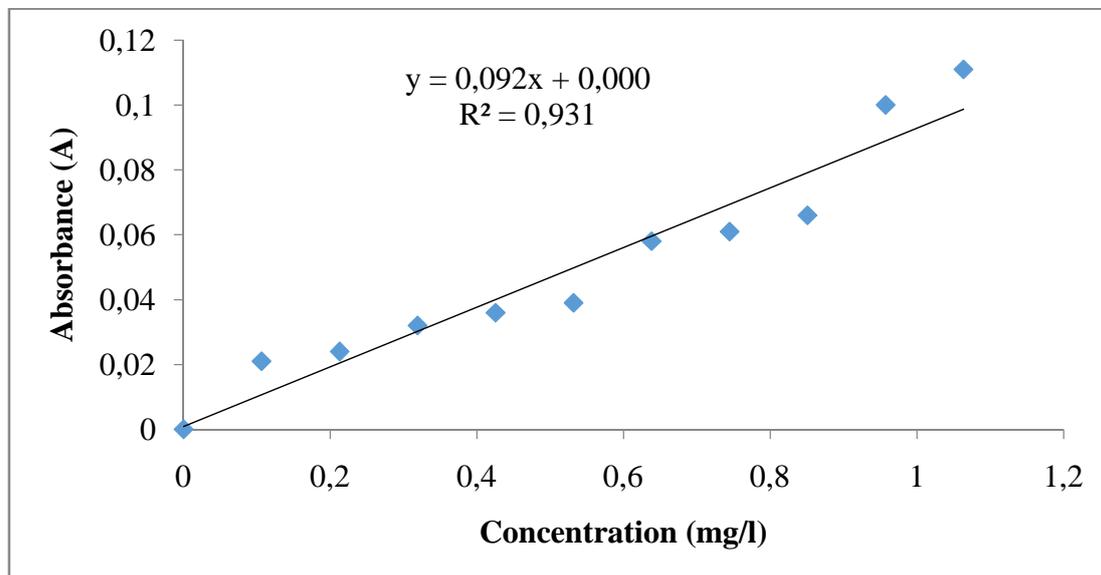


Figure V-4: Courbe d'étalonnage du phénol dans une solution aqueuse à 540 (nm).

Chapitre V : Résultats et discussion

V-3-2-Cinétique d'adsorption

L'équilibre thermodynamique entre l'adsorbat en phase liquide et l'adsorbat fixé sur le solide est atteint avec une vitesse qui dépend non seulement de la vitesse avec laquelle les constituants du mélange à séparer diffusent dans l'adsorbant et dans le fluide mais aussi de l'interaction adsorbant-adsorbat [21]. L'étude de l'adsorption du phénol sur un adsorbant nous permet d'examiner l'influence de quelques paramètres physicochimiques sur sa rétention.

V-3-2-1-Etude de quelque paramètre influençant sur l'adsorption du phénol sur les charbons actifs étudié

V-3-2- 1-1-Effet du temps de contact et de la concentration initiale du phénol

Pour la détermination du temps de contact, on introduit une masse de 1g de l'adsorbant (CC, CAP de GO et CAP de CZ) dans 50 ml de solution du phénol de concentrations 0.01 mol/l et 0.1 mol/l. La température est maintenue constante à 25°C, la vitesse est fixée à 500 tours /min et nous avons fait varier le temps d'agitation. Les résultats sont présentés dans les tableaux 3, 4, 5, 6, 7, 8 dans l'annexe illustrés sur la figure V-5.

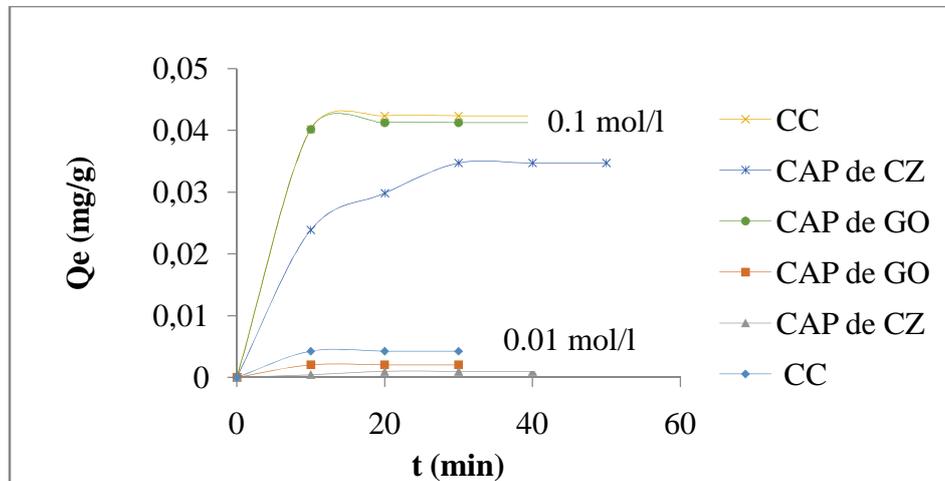


Figure V-5 : Influence du temps de contact et de la concentration initiale sur l'adsorption du phénol sur les différents adsorbants.

Les résultats présentés par la figure ci-dessus montrent que l'équilibre d'adsorption est rapidement atteint pour les faibles concentrations.

Nous observons que l'augmentation de la concentration initiale entraîne une augmentation de l'adsorption du phénol.

Chapitre V : Résultats et discussion

Nous remarquons que la cinétique de fixation du phénol sur les trois charbons est rapide, Le temps de contact peut être estimé à 20 minutes pour les deux adsorbants (GO et CC) et 30 min pour le bois de CZ, correspond à une quantité maximale d'adsorption, l'extension de ce temps jusqu'à 40 et 50 min ne conduit pas à une amélioration de rendement d'adsorption, ce qui justifie l'état de saturation des adsorbants [63].

V-3-3- Etablissement des isothermes d'adsorption

V-3-3- 1-Protocole expérimental

L'adsorption du phénol sur les différents charbons actifs (charbon de chêne, de grignon et le charbon commercial) a été étudiée sur tous nos échantillons. Une masse de 1g de CA est introduite dans 50 ml de solution du phénol avec différentes concentrations initiales dans la gamme 0.01 - 0.1 (mol/l). Le pH des suspensions est 7, une température ambiante de 25°C et une vitesse d'agitation de 500 (tour.min). Lorsque l'équilibre est atteint, on effectue des prélèvements qui seront filtrés et dosé par spectrophotométrie UV-visible à 540 nm. La quantité de soluté adsorbée est donnée par l'équation suivant :

$$q_e = (C_0 - C_e) \cdot m \cdot V \quad \text{Eq : V-2}$$

Où : q_e : La quantité de soluté adsorbée ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) ; V : Volume de solution (l) ; C_e : Concentration massique de soluté ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) ; C_0 : Concentration massique initiale de soluté ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) ; m : Masse d'adsorbant utilisé (g).

Les résultats des concentrations à l'équilibre du phénol sont illustrés sur les figures V-6, V-7 et V-8 présentée ci-dessous.

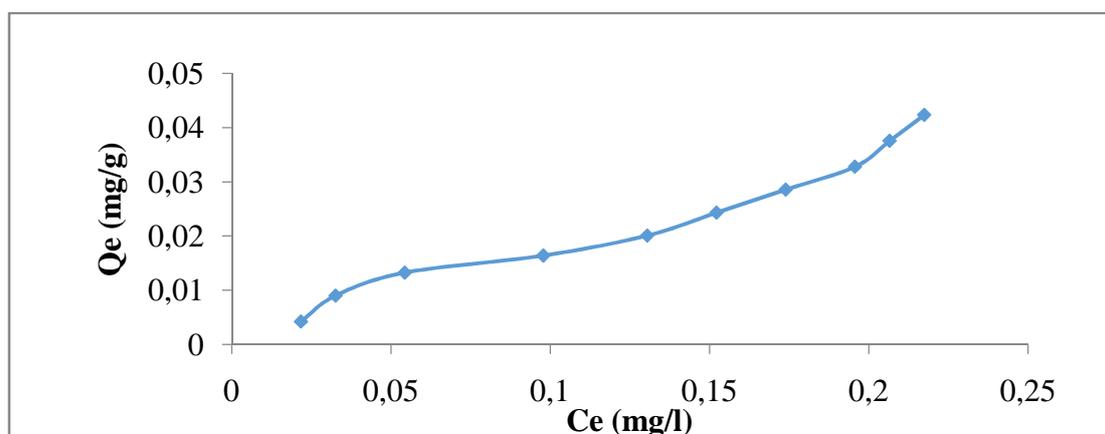


Figure V-6 : isotherme d'adsorption de phénol sur le charbon commercial.

Chapitre V : Résultats et discussion

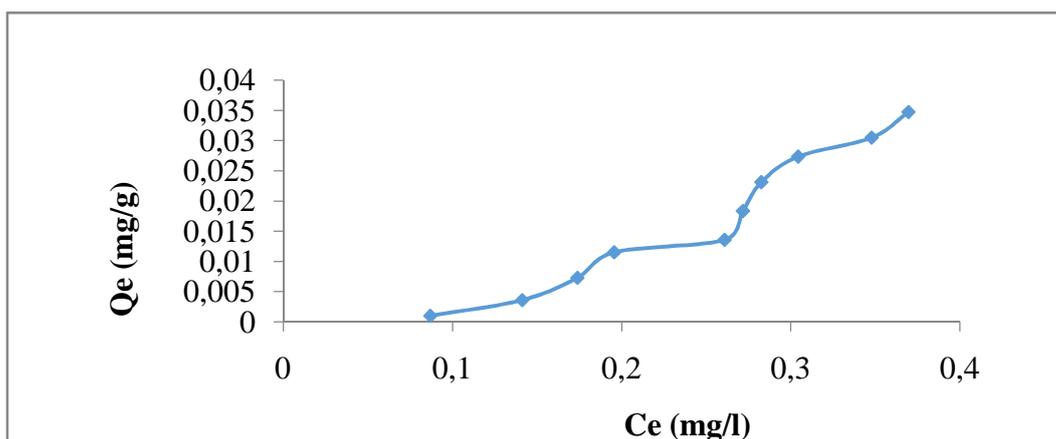


Figure V-7 : Isotherme d'adsorption de phénol sur le charbon de chêne zeen.

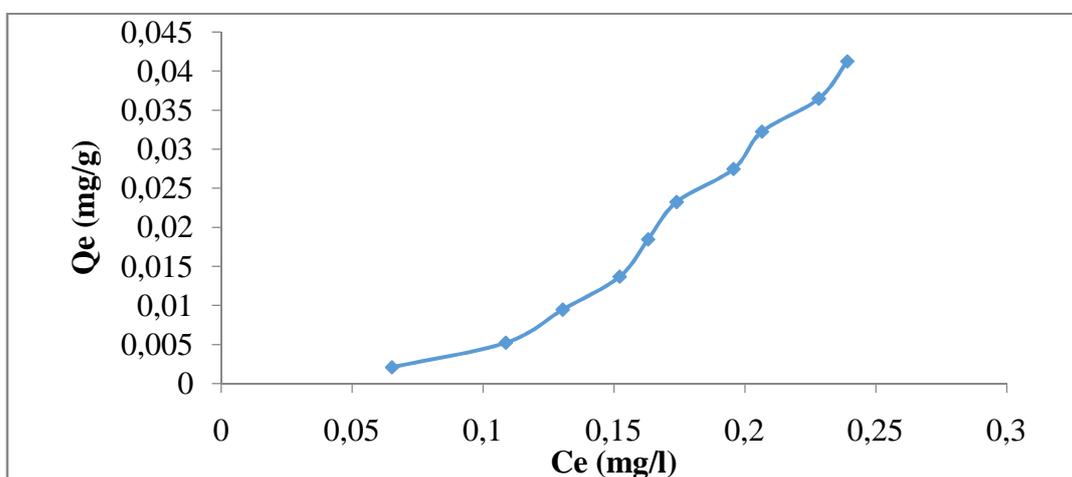


Figure V-8: Isotherme d'adsorption du phénol sur le charbon de grignon d'olives.

L'étude de l'équilibre mise en jeu entre l'adsorbant et le phénol par méthode d'isotherme d'adsorption (figure V-6) montre que l'allure de l'isotherme expérimentale est de type II, par conséquent, le CC est un adsorbant microporeux [63]. Par contre l'isotherme est de type IV et III pour la figure V-7 et V-8 respectivement.

L'étude de la cinétique en fonction de la concentration a montré que la quantité adsorbée augmente avec l'augmentation de la concentration des solutions du phénol en équilibre. Ainsi les quantités maximales adsorbées pour les charbons étudiés se rapprochent d'une manière significative ; sont de l'ordre de 0.034 mg/l pour le chêne zeen, 0.041 mg/l pour le grignon d'olives et 0.043 mg/l pour le charbon commercial.

Chapitre V : Résultats et discussion

V-3-3-2- Modélisation des isothermes

La modélisation des isothermes d'adsorption du phénol sur les adsorbants étudié par le modèle de Langmuir et de Freundlich, a été réalisée avec la forme linéaire.

V-3-3-2-1-modèle de Freundlich

L'équation de Freundlich est bien adaptée pour décrire l'équilibre en phase aqueuse [8]. Sa formule empirique est:

$$Q_e = K C_e^{1/n} \quad \text{Eq : V-3}$$

Q_e : quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g).

K et n sont des constantes de Freundlich, indicatives de l'intensité et de la capacité d'adsorption [8]. Cette formule a été exploitée sous sa forme linéaire:

$$\log\left(\frac{X}{m}\right) = \log K + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e \quad \text{Eq : V-4}$$

V-3-3-2-2-modèle de Langmuir

Le second modèle le plus communément utilisé est celui de Langmuir [26]. L'équation empirique donnée par Langmuir est représentée par la relation suivant :

$$\frac{X}{m} = \frac{q_m \cdot b \cdot C_e}{(1 + b C_e)} \quad \text{Eq : V-5}$$

x/m : quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g).

q_m : capacité d'adsorption ultime (mg/g).

C_e : concentration du soluté dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l).

b : la constante d'équilibre caractéristique de l'adsorbant ; elle indique également l'affinité de l'adsorbant pour l'adsorbant.

La linéarisation de l'équation de Langmuir permet de déduire la capacité ultime (q_m) et la constante de Langmuir b , cette linéarisation est donnée par la relation suivante :

$$\frac{1}{\left(\frac{X}{m}\right)} = \frac{1}{(q_m \cdot b \cdot C_e)} + \frac{1}{q_m} \quad \text{Eq : V-6}$$

Chapitre V : Résultats et discussion

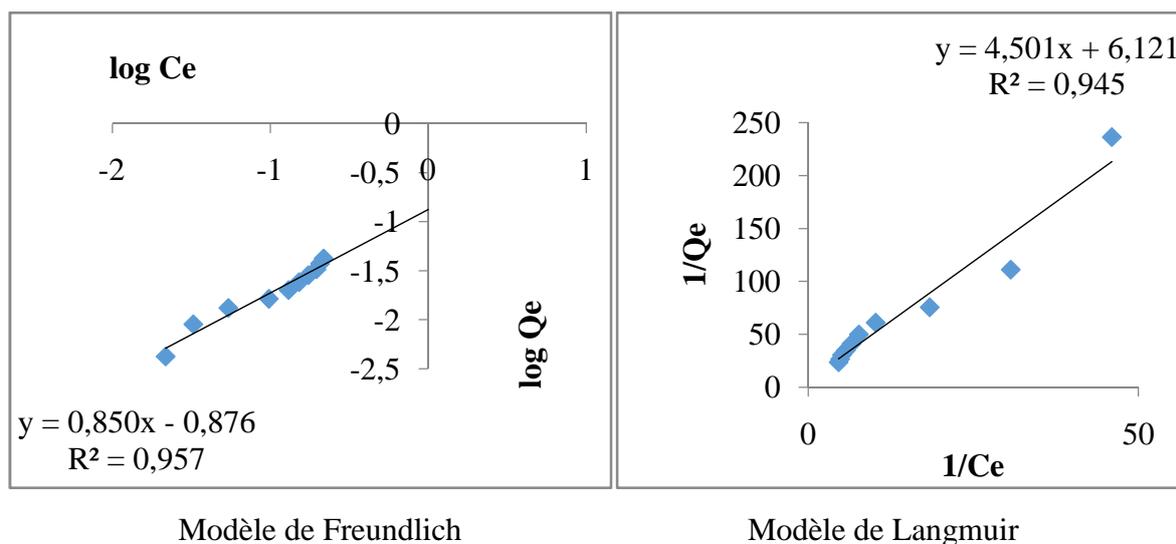


Figure V-9: Linéarisation des modèles d'adsorption du phénol sur charbon commercial.

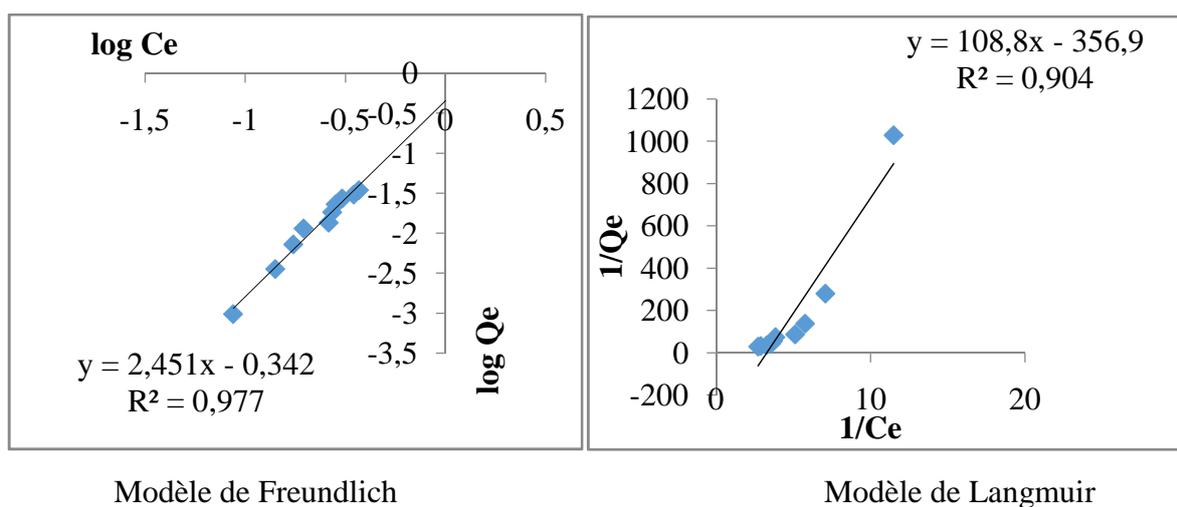
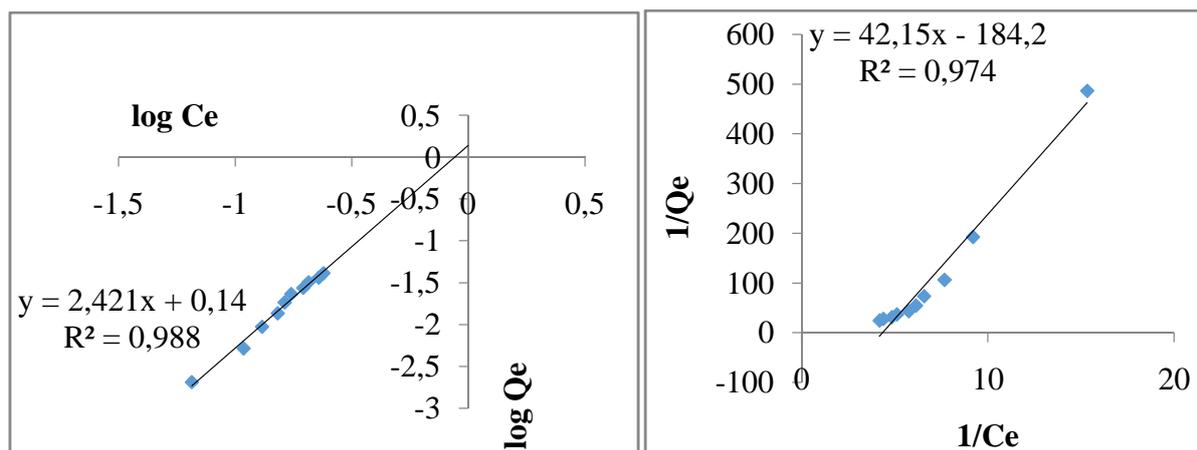


Figure V- 10 : Linéarisation des modèles d'adsorption du phénol sur charbon activé de chêne zeen.

Chapitre V : Résultats et discussion



Modèle de Freundlich

Modèle de Langmuir

Figure V-11: Linéarisation des modèles d'adsorption du phénol sur charbon activé de grignon d'olives.

Le tableau V-1 regroupe les paramètres des modèles d'adsorption de Langmuir et Freundlich pour le phénol. L'adsorption est effectuée à température ambiante 25°C.

Tableau V-1: Détermination des paramètres des modèles d'adsorption.

Composé organique	Langmuir			Freundlich		
	Equation linéaire Et coefficient de corrélacion	Qm (mg/g)	b (l/mg)	Equation linéaire Et coefficient de Corrélacion	(1/n) / n	K
Adsorption de phénol sur charbon commercial	Y = 4.501x + 6.121 R ² = 0.945	0.163	1.359	Y = 0.850 x - 0.876 R ² = 0.957	0.850 / 1.176	0.133
Adsorption de phénol sur charbon activé de chêne zeen	Y = 103.7x - 356.9 R ² = 0.904	0.0028	3.444	Y = 2.451 x - 0.342 R ² = 0.977	2.451 / 0.407	0.454
Adsorption de phénol sur charbon activé de grignon d'olives	Y = 42.15x - 184.2 R ² = 0.974	0.0054	4.393	Y = 2.421 x + 0.14 R ² = 0.988	2.421 / 0.413	1.380

Chapitre V : Résultats et discussion

D'après les valeurs reportées sur le tableau précédent concernant les facteurs de corrélation, nous pouvons conclure que l'adsorption du phénol par les différents adsorbants étudiés suit l'isotherme de Freundlich.

L'isotherme n'obéit pas au modèle de Langmuir et l'adsorption est de type multicouche.

Nous remarquons également que les paramètres caractérisant chaque modèle d'adsorption varient d'un support à l'autre.

Dans le cas de CAP de GO et CAP de CZ, les valeurs de la constante de Freundlich n sont inférieures à l'unité et comprises entre 0,1 et 1 (tableau V-1) à l'exception du CC la valeur de n supérieure à l'unité. Les valeurs de n révèlent une hétérogénéité de surface de CAP de GO et CAP de CZ. Il est bien admis, que plus la valeur de n est proche de 1 plus la surface est homogène [21].

Par ailleurs, la constante de Freundlich k traduit la capacité d'adsorption d'un polluant considéré par le solide [46]. Plus la valeur de k est élevée plus la quantité retenue est importante [21]. Dans notre cas, les résultats obtenus de k varient entre 0,133 et 1,380. Ces données permettent ainsi de classer les différents adsorbants étudiés selon la capacité d'adsorption.

Chapitre V : Résultats et discussion

V-4- Adsorption du benzène

V-4-1-Détermination de la courbe d'étalonnage :

Les absorbances des solutions de benzène précédemment préparées sont mesurées sur le spectrophotomètre UV-Visible à 540 nm. Le tableau 2 (Annexe) illustre les résultats de cette mesure qui permet de tracer la courbe d'étalonnage montrée dans la figure V-12.

V-4-1-1-Courbe d'étalonnage du benzène

Une courbe d'étalonnage des absorbances en fonction des concentrations en benzène a été obtenue en employant les solutions du benzène de concentrations comprises entre 0.01 et 0.1 (mol/l). Les données expérimentales rapportées dans la Figure V-12 indiquent une relation linéaire entre l'absorbance et la concentration avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,987$.

La concentration Initiale en benzène (C_i) déterminée en mg/g à partir de l'équation suivant:

$$C_i \text{ (mg/l)} = C_i \text{ (mol/l)} / M * 1000 \quad \text{avec } M = \text{masse molaire de benzène.} \quad \text{Eq : V-7}$$

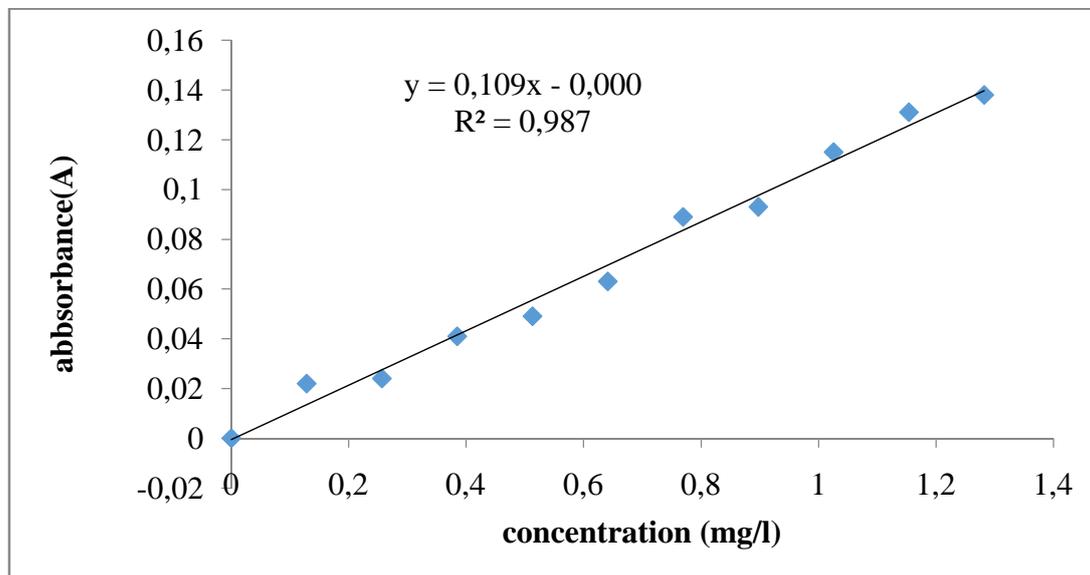


Figure V-12: Courbe d'étalonnage du benzène dans une solution aqueuse à 540 (nm).

Chapitre V : Résultats et discussion

V-4-2-Cinétique d'adsorption

L'étude de la cinétique d'adsorption nous a mené à tracer la courbe de la figure V-13 qui représentent la variation de $Q_e = f(t)$ à une température de 25 °C pour une concentration de 0.01 et 0.1 mol/l.

V-4-2-1-Etude de quelque paramètre influençant sur l'adsorption du benzène sur les charbons actifs étudié.

V-4-2-1-1-Effet du temps de contact et de la concentration initiale du benzène.

Notons que le même protocole expérimental cité dans le paragraphe (V-3-2- 1-1-Effet du temps de contact et de la concentration initiale du phénol) a été suivi. Les résultats sont présentés dans les tableaux 9, 10, 11, 12, 13, 14, (Annexe) illustrés sur la figure V-13.

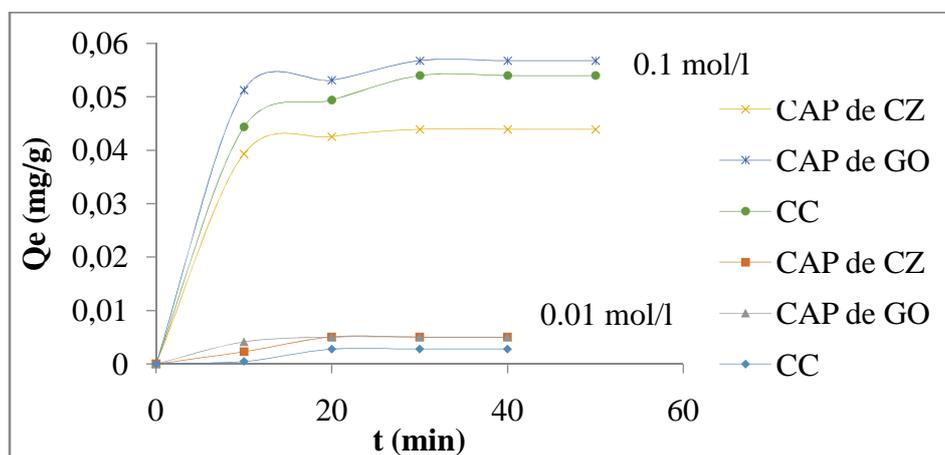


Figure V-13 : Influence du temps de contact et de la concentration initiale sur l'adsorption du benzène sur les différents adsorbants.

Les résultats obtenus dans la Figure V-13 montrent l'existence de deux phases ; l'une est rapide et la seconde est lente. Ceci est relatif à la grande disponibilité des sites actifs libres du support au début de l'expérience et qui devient faible au fur à mesure qu'on avance dans le temps, autrement dit une saturation des sites d'adsorption [16].

Nous observons que l'augmentation de la concentration initiale entraîne une augmentation de l'adsorption du benzène.

Pour tous les essais d'adsorption, un temps de contact peut être estimé à 30 minutes pour les adsorbants étudiés.

Chapitre V : Résultats et discussion

V-4-3- Etablissement des isothermes d'adsorption

L'adsorption du benzène sur les différents charbons actifs (CAP de CZ, de GO et le CC) a été étudiée sur tous nos échantillons. Une masse de 1g de CAP est introduite dans 50 ml de solution du benzène avec différentes concentrations initiales dans la gamme 0.01 - 0.1 (mol/l).

Le pH des suspensions est de 7, la température de travail est de 25°C et la vitesse d'agitation de 500 (tour.min).

Lorsque l'équilibre est atteint, on effectue des prélèvements qui seront filtrés et dosé par La spectrophotométrie UV-visible à une longueur d'onde de 540 nm. La quantité de soluté adsorbée est donnée par l'équation suivant :

$$q_e = (C_0 - C_e) * mV \quad \text{Eq : V-8}$$

Où : q_e : La quantité de soluté adsorbée (mg.g^{-1}) ; V : Volume de solution (L) ; C_e : Concentration massique de soluté (mg.l^{-1}) ; C_0 : Concentration massique initiale de soluté (mg.l^{-1}) ; m : Masse d'adsorbant utilisé (g).

Les résultats des quantités adsorbées en fonction des concentrations à l'équilibre du benzène sont illustrés sur les figures V-14, V-15 et V-16 présentée ci-dessous.

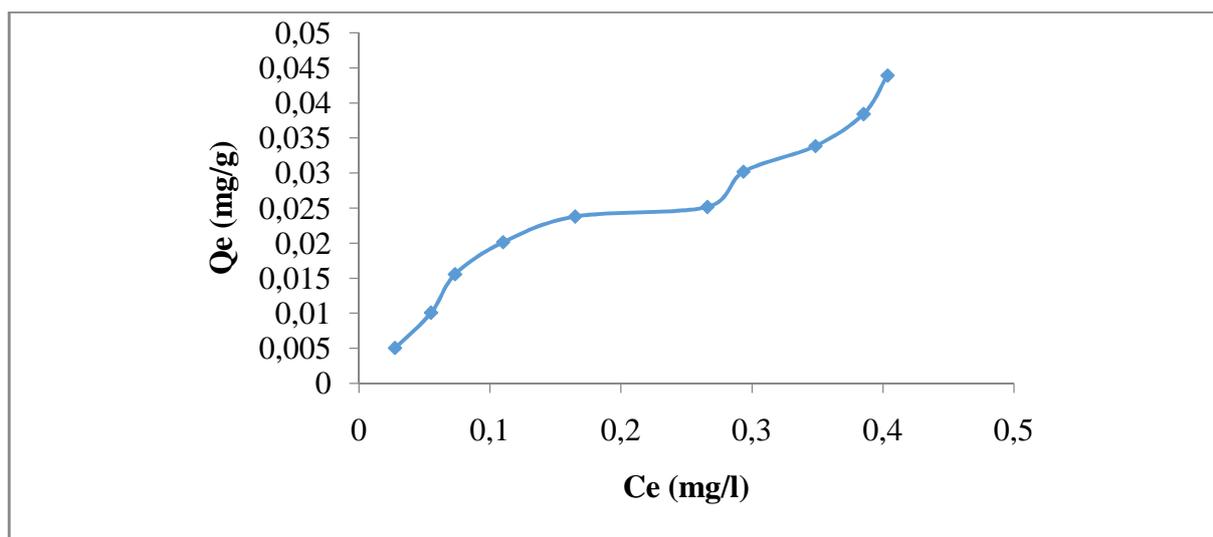


Figure V-14 : Isotherme d'adsorption du benzène sur charbon activé de chêne zeen.

Chapitre V : Résultats et discussion

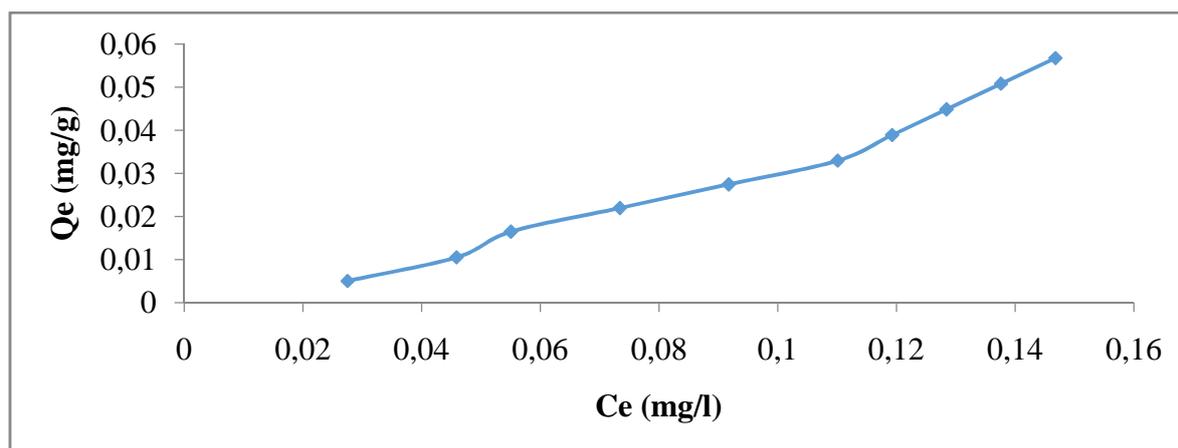


Figure V-15 : Isotherme d'adsorption du benzène sur charbon activé de grignon d'olives.

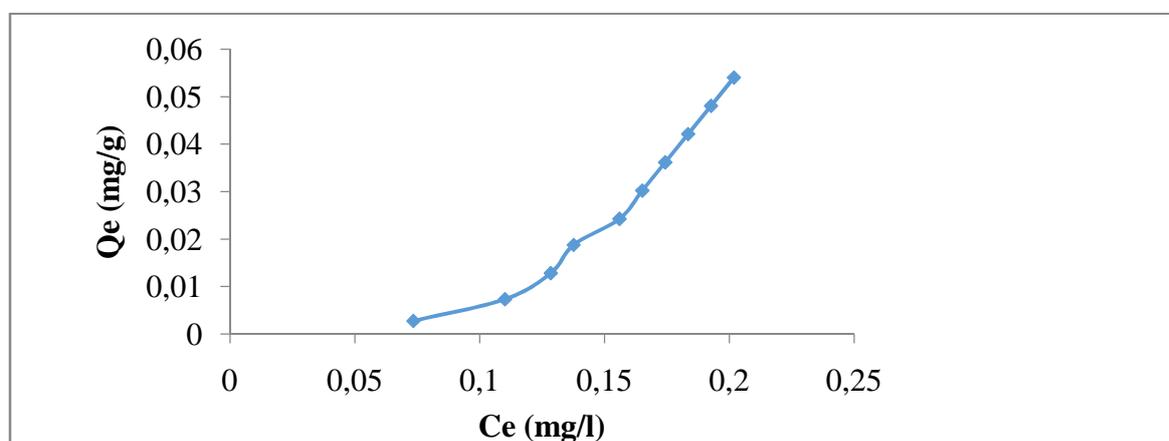


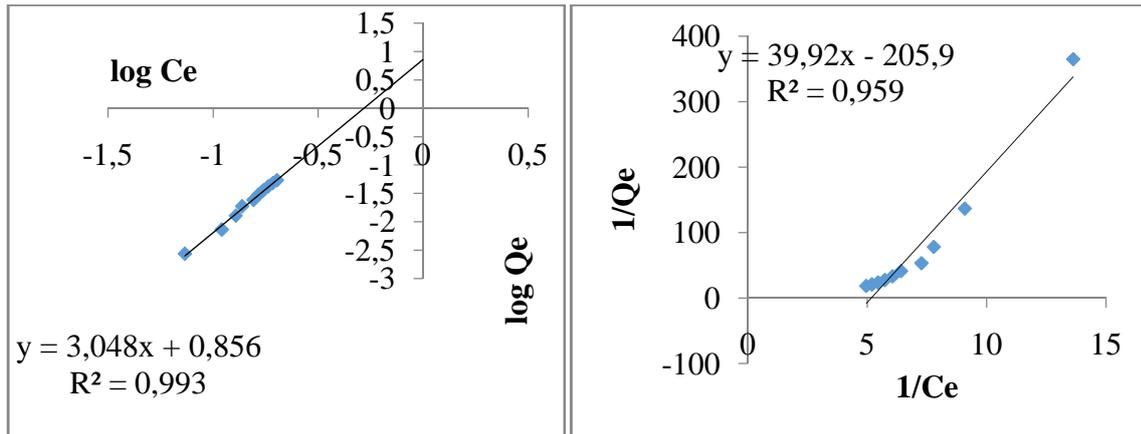
Figure V-16: Isotherme d'adsorption du benzène sur charbon commercial.

L'étude de l'équilibre mise en jeu entre l'adsorbant et le benzène par méthode d'isotherme d'adsorption (figure V-14 et V-15) montrent que l'allure de l'isotherme expérimentale est de type II, par conséquent, le CAP de CZ et GO est un adsorbant microporeux [63]. Par contre la figure V-16 montrent que les isothermes obtenu est de type III. On remarque également que la quantité adsorbée augmente avec l'augmentation de la concentration des solutions du benzène en équilibre. La quantité maximale adsorbée par le charbon actif issu du chêne zeen est égale à 0.043 mg/l cette quantité est légèrement plus faible que celles absorbées par le Charbon issu des grignons d'olives et le charbon commercial qui sont de 0.056 mg/l et 0.054 respectivement.

Chapitre V : Résultats et discussion

V-5- Modélisation de l'adsorption

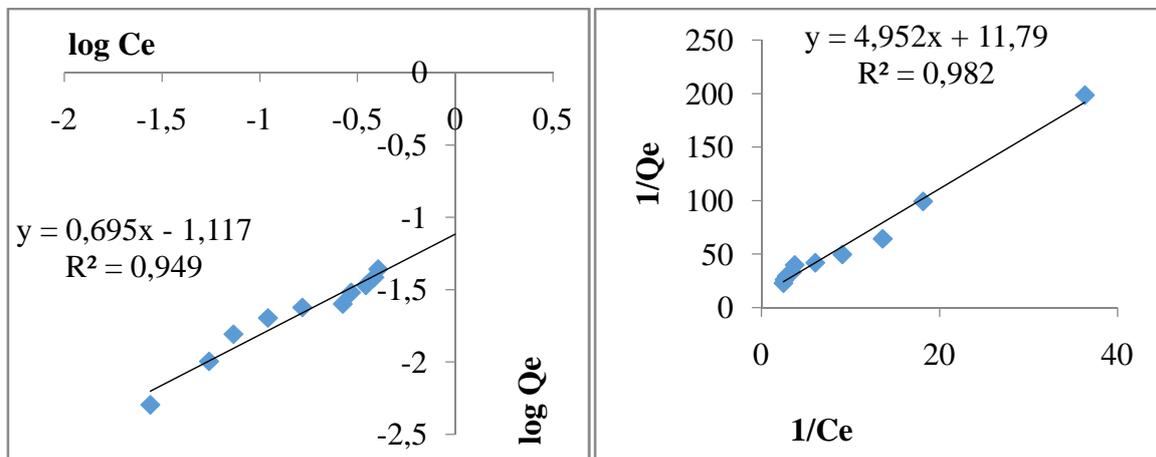
Pour décrire l'adsorption du benzène deux modèles les plus fréquemment utilisés sont essayés à savoir les modèles de Langmuir et de Freundlich qui permettent par régression linéaires d'obtenir les valeurs des constantes (Q_m , $1/n$, K , b), afin de mieux interpréter les résultats d'adsorption obtenus. L'ensemble des leurs équations ainsi que leurs linéarisations sont dictées dans le paragraphe (V-3-3-2- Modélisation des isothermes).



Modèle de Freundlich

Modèle de Langmuir

Figure V-17: Linéarisation des modèles d'adsorption du benzène sur charbon commercial.



Modèle de Freundlich

Modèle de Langmuir

Figure V-18: Linéarisation des modèles d'adsorption du benzène sur charbon activé de chêne zeen.

Chapitre V : Résultats et discussion

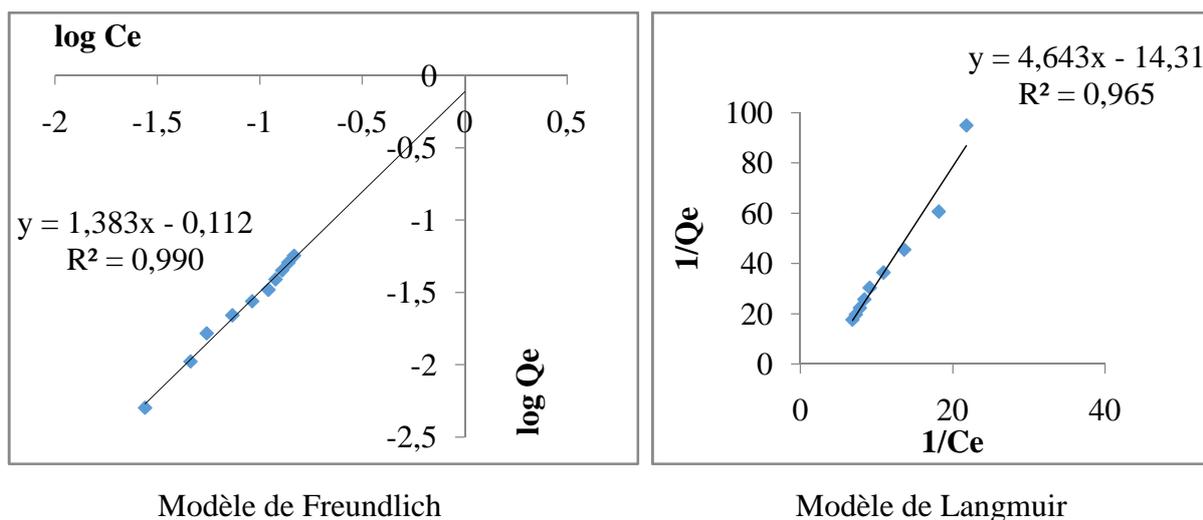


Figure V-19: Linéarisation des modèles d'adsorption du benzène sur charbon activé de grignon d'olives.

Le tableau V-2 regroupe les paramètres des modèles d'adsorption de Langmuir et Freundlich pour le benzène. L'adsorption est effectuée à température ambiante 25°C.

Tableau V-2: Détermination des paramètres des modèles d'adsorption.

Composé organique	Langmuir			Freundlich		
	Equation linéaire Et coefficient de corrélacion	Qm (mg/g)	b (l/mg)	Equation linéaire Et coefficient de corrélacion	(1/n) / n	K
Adsorption de benzène sur charbon commercial	Y = 39.92x - 205.9 R ² = 0.959	0.0048	5.218	Y = 3.048 x + 0.856 R ² = 0.993	3.048 / 0.328	7.177
Adsorption de benzène sur charbon activé de chêne zeen	Y = 4.952x + 11.79 R ² = 0.982	0.0848	2.381	Y = 0.695 x - 1.117 R ² = 0.949	0.695 / 1.438	0.076
Adsorption de benzène sur charbon activé de grignon d'olives	Y = 4.643x - 14.31 R ² = 0.965	0.0698	3.0856	Y = 1.383 x - 0.112 R ² = 0.990	1.383 / 0.723	0.772

Chapitre V : Résultats et discussion

D'après les valeurs reportées sur le tableau V-2, on conclut que l'adsorption du benzène sur les deux charbons à savoir le Charbon issu du grignon d'olives et le Charbon commercial suit l'isotherme de Freundlich. Tandis que l'isotherme d'adsorption du benzène sur le charbon activé de Chêne zeen est simulée très correctement par le modèle linéaire de Langmuir, à en juger par la valeur du coefficient de corrélation ($R^2 = 0.982$), affirmant une adsorption monocouche et homogène [10].

V-6- Comparaison de l'efficacité des adsorbants à éliminé les deux polluant étudié.

Nous avons suivi l'élimination des composés organiques (phénol et benzène) d'une concentration de 0.1 mol/l en fonction de trois adsorbants différents. Les rendements d'élimination est donnée sur les figures 20 et 21 rapportent les résultats obtenus.

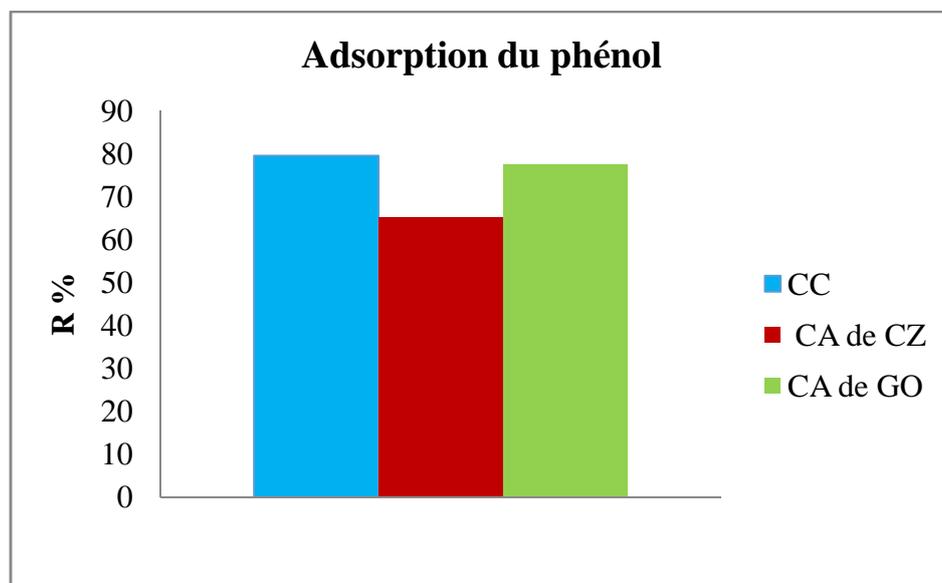


Figure V-20: Rendement d'adsorption du phénol sur les adsorbants étudiés

Condition : $T=25^{\circ}\text{C}$, $[C]=0.1 \text{ mol/l}$.

Chapitre V : Résultats et discussion

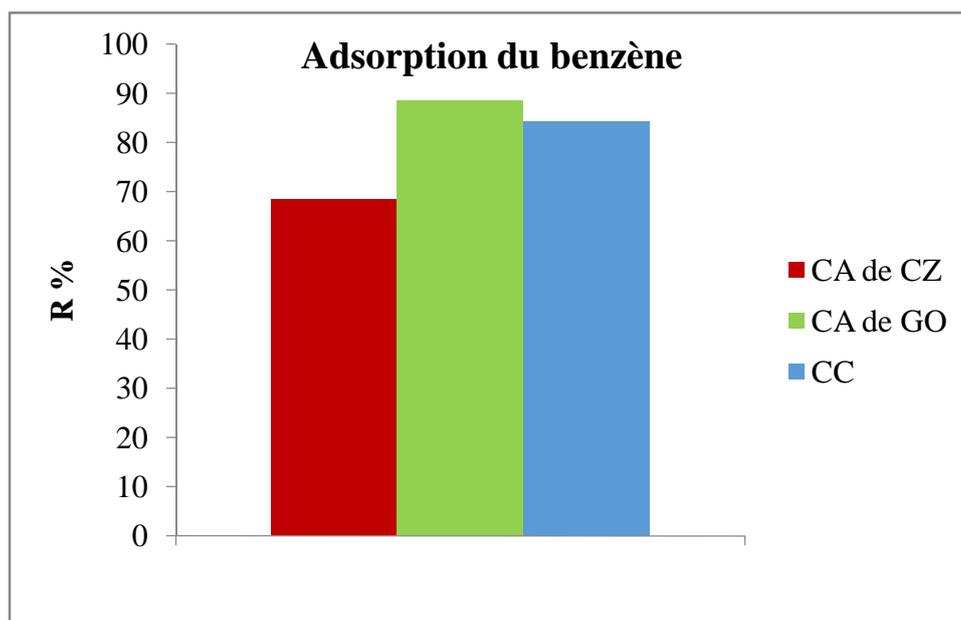


Figure V-21: Rendement d'adsorption du benzène sur les adsorbants étudié.

Condition : $T=25^{\circ}\text{C}$, $[C]=0.1 \text{ mol/l}$.

Au regard de ces résultats le charbon actif fabriqué à partir des grignons d'olives et de bois de chêne zeen montrent une efficacité importante et cela grâce à la comparaison au charbon commercial, avec un rendement d'adsorption du phénol sur le CAP de GO qui est de 77.52%, 65.26% sur le CAP de CZ et sur le charbon commercial on a un rendement de 79.56%, alors que pour l'adsorption du benzène sur le CAP de GO le rendement obtenu il est de 88.55% et sur le CAP de CZ est de 68.51%. Il faut de même noter que le rendement d'adsorption du benzène sur charbon issu de grignon d'olives est meilleur que ceux du charbon commercialisé estimé à 84.25% (une différence de 4%). En effet les grignons d'olives et le bois de chêne zeen constituent une source considérable pour la production d'un charbon actif efficace pour l'élimination des polluants organiques (benzène et du phénol).

Conclusion Générale

Conclusion générale

Les pays du monde sont conscients de la nécessité impérieuse de protection de la qualité de l'environnement, de plus en plus de travaux sont mis en œuvre pour trouver des solutions économiquement, socialement et environnementalement rentables.

Notre étude s'inscrit dans ce contexte de gestion durable de l'environnement, d'une part parce qu'elle prétend dépolluer des eaux contaminées et d'autre part parce qu'elle permet de valoriser un déchet abondamment disponible dans notre pays.

Après étude et comparaison avec le charbon commercial on a constaté que :

- Les charbons élaborés sont de bons adsorbants du Phénol et du benzène, cela se perçoit à travers les rendements obtenus qui sont très intéressants :

- 77.52% sur le charbon issu du grignons d'olive, 65.26% sur Chêne zeen et 79.56% sur charbon commercial obtenu pour le phénol ;
- 88.55% sur le charbon issu du grignons d'olive, 68.51% sur Chêne zeen et 84.25% sur charbon commercial obtenu pour le benzène ;

- La cinétique de fixation [20]. des molécules de phénol a un temps d'équilibre qui est de 30 min pour le bois de chêne zeen et 20 min pour le grignon d'olive et le charbon commercial.

- La cinétique de fixation des molécules de benzène a un temps d'équilibre qui est de 30 min pour tous les adsorbants étudiés.

- L'étude des isothermes indique que les données de l'adsorption peuvent être adéquatement modélisées à la fois par les isothermes de Langmuir et Freundlich où le modèle de Freundlich est plus descriptif de l'adsorption étudiée.

- Les capacités ultimes d'élimination des deux polluants étudiés déterminées par l'étude de l'adsorption sont de 0.042 mg/g, 0.034 mg/g et 0.041 mg/g obtenus pour le phénol et les valeurs obtenus pour le benzène sont de 0.054 mg/l, 0.043 mg/l et 0.056 mg/l respectivement pour le charbon commercial, charbons actifs de chêne zeen et grignon d'olives ;

- Le bois de chêne zeen et le grignon d'olives forme un résidu naturel non coûteux représentant aujourd'hui un avantage majeur pour fixer des polluants organiques. En effet, il est possible de les utiliser comme des adsorbants moins onéreux et très efficaces pour traiter des eaux.

Conclusion générale

Malgré la modestie des moyens utilisés, les résultats obtenus permettent de dégager une évidence que l'on ne saurait occulter : nous pouvons fabriquer aujourd'hui du charbon actif en Algérie avec des matériaux végétaux grignon d'olives et bois de chêne zeen, ce qui augmentera la rentabilité des exploitations oléicoles et l'implantation des arbres de chêne, qui à ce jour, ne trouvent pas la place qu'elles se doivent. Ainsi nous atteindrons un double objectif : valoriser et produire à des coûts moindres.

Notre contribution ouvre la voie à des investigations futures pour la valorisation des matériaux végétaux à savoir bois de chêne zeen et grignon d'olive en les exploitant dans le domaine d'épuration des eaux usées par le procédé d'adsorption étant donné que ces derniers sont très utiles pour minimiser le degré de pollution et aussi dans la purification des effluents industriels et de protection de l'environnement d'une manière générale.

Références bibliographiques

- [1] Abdelmadjid N, 2007. Traitement biologique des eaux usées par les bactéries anaérobies butyriques (*Clostridium butyricum*) qui produisent de l'hydrogène. 2IWH 2007, 27-29 Octobre 2007, Ghardaïa – Algeria.
- [2] Achour S, Ouakouak A E K, Youcef L, 2010. Elimination de l'atrazine par adsorption sur charbon actif en poudre, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, Septembre 2010, pp. 121-129.
- [3] Ahmed M J, Dhedan S K, 2012. Equilibrium isotherms and Kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural Wastes-based activated carbons. *Flui. Phas. Equil.* 317 (2012) 9-14.
- [4] AlMardini F, 2006. Etude de l'adsorption du pesticide bromacil sur charbon actif en poudre en milieu aqueux, Effet compétiteur des matières organiques naturelles. Thèse de doctorat. Université de Poitiers.
- [5] Amic A et Dalmaso C, 2013. Unité de valorisation complète de déchets oléicoles par lombricompostage : production de produits à haute valeur ajoutée : lombricompost, savon, collagène et lombrics. *Sciences de la Biodiversité et Ecologie (SBE)*. Université Aix-Marseille (AMU).
- [6] Aouar-Sadli M. et Doumandji S, 2011. Estimation des dégâts causés par les galles de l'hyménoptère cynipidé *Diplolepis lenticularis* sur le chêne *Quercus mirbeckii* dans un maquis de la région de Tizi-Ouzou (Algérie). Université de Tizi-Ouzou.
- [7] Arris S, 2008. Etude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sur des sous-produits de céréales. Thèse de doctorat. Université de Constantine.
- [8] Avom J, KetchaMbadcam J, Matip M R L, Germain P, 2001. Adsorption isotherme de l'acide acétique par des charbons d'origine végétale. *African Journal of Science and Technology (AJST)*. Science and Engineering Séries Vol 2, N° 2, pp. 1-7.
- [9] Belkebir Z, 2007. Valorisation des déchets agro-alimentaires cas des grignons d'olives. mémoire de magister. Université M'Hamed Bougara-Boumerdes.
- [10] Benamraoui F, 2014. Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture. Mémoire de magister. Université Ferhat Abbas Setif-1 (Algerie).

- [11] Bisson M, Diderich R, Lacroix G, Lefevre J P, Leveque S, Magaud H, Villey C, 2007. toxicologique du benzène. Institut National de Recherche et de sécurité.
- [12] Bisson M, Diderich R, Lacroix G, Lefevre J P, Leveque S, Magaud H, Villey C, 2006. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Fiche toxicologique du Phénol. Institut National de Recherche et de sécurité.
- [13] Bonnard N, Brondeau M T, Jargot D, Lofon D, Miraval S, Schneider O, 2011. Fiche toxicologique du phénol. Institut National de Recherche et de Sécurité.
- [14] Bortoluzzi J, Malatrait B, Ribstein L, 2012. Les microscopes électroniques. Projet tutoré. Université de STRASBOURG.
- [15] Botta A et Bellon L, 2004. Pollution chimique de l'eau et santé humaine. Service de médecine au travail, laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale (EA1784, IFR PMSE 112).
- [16] Bouacherine S, 2013. Eliminations des polluants spécifiques par adsorption sur charbon actif et argile traitée et non traitée. Mémoire de magister. Université Mohamed Chérif Messaadia –Souk-Ahras.
- [17] Bouchelta C, 2003. Etude de l'adsorption des métaux Hg^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{6+} sur charbon actif en grain. Mémoire de magister. Université Badjimokhta, Annaba.
- [18] Bouchemal F, Achour S, 2007. Essais d'adsorption de la tyrosine sur charbon actif en grains et en poudre. Larhyss Journal. ISSN 1112-3680. n° 06. pp. 81-89.
- [19] Bougdah N, 2007. Etude de l'adsorption de micro-polluants organiques sur la bentonite. Mémoire de magister. Université 20 Août 55, Skikda.
- [20] Boulkrah H, 2008. étude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants. Mémoire de Magister. l'université du 20 août 1955 SKIKDA.
- [21] Bouziane N, 2007. Elimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre. Mémoire de magister. Université Mentouri de Constantine.
- [22] Cherraye R, 2012. Préparation par voie chimique d'un charbon actif à partir des déchets de café (Effet de taux d'adjuvant). Mémoire de master académique. Université Kasdi Merbah Ourglia.
- [23] Chitour C E, 2002. Physico-chimie des surfaces, l'adsorption gaz-solide et liquide-solide. Tome 2, 2^{ème} édition. 1. Place central de Ben-Anon (Alger).

- [24] Chouchene A, 2010. Etude expérimentale et théorique de procédés de valorisation de sous-produits oléicoles par voies thermique et Physico-chimique. Thèse de doctorat. Université de Haute Alsace-Mulhouse. French.
- [25] Creanga C M, 2007. Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradables (par adsorption puis oxydation catalytique). Thèse de doctorat. École doctorale : transferts, dynamique des fluides, énergétique et procédés.
- [26] Dada A O, Olalekan A P, Olatunya A M, DADA O, 2012. Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin–Radushkevich, Isotherms Studies of Equilibrium Sorption of Zn²⁺ Unto Phosphoric Acid Modified Rice Husk. IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC) ISSN: 2278-5736. Volume 3, Issue 1(Nov. – Dec. 2012). PP 38-45.
- [27] Di Benedetto M, Anfossi S, Billiard E, Bonnet M, Henriot F, Kraemer F, Lechenne L, Le Herissier M, Lorin S, 1997. méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation. Génie des Procédés. centre SPIN. Ecole des Mines de Saint-Etienne.
- [28] Djadouf S, Tahakourt A, Chelouah N, Merabet D, 2011. Utilisation du grignon d'olives et foin comme ajouts dans la fabrication des briques de terre cuite. INVACO2 séminaire international, Innovation et valorisation en génie civil et matériaux de construction N° 10-15. Rabat – Maroc/23-25 Novembre 2011.
- [29] Djilani C, Zaghoudi R, Djazi F, Bouchekima B, 2012. Adsorption des composés organiques volatils chlorés par l'alumine et le charbon actif. Revue des Energies Renouvelables Vol. 15 N°3 (2012) 407 - 415. Reçu le 11 Octobre 2011 - accepté le 29 Septembre 2012.
- [30] Elabed A, 2007. Réactivité thermique et cinétique de dégradation du bois d'argnier application à l'élaboration de charbon actif par activation chimique à l'acide phosphorique. thèse de doctorat. Université Mohammed V-AGDAL.
- [31] Faerber J, 2004. Microscopie électronique à balayage, Microanalyse X par sonde électronique. Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg.
- [32] Froment-Vedrine M, 2008. Valeurs guides de qualité d'air intérieur, Le benzène. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail. 253 Avenue du Général Leclerc – 94701 Maisons-Alfort Cedex – n° siren 180092348.
- [33] Gueyel M, Blin J, Brunschwig C, 2011. Etude de la synthèse des charbons actifs à partir de biomasses locales par activation chimique avec H₃PO₄. 6ème édition. compus 2iE Ouagadougou.
- [34] Hadj Salah N, 2012. Etude de la dégradation photocatalytique de polluants organiques en présence de dioxyde de titane, en suspension aqueuse et en lit fixe.

Thèse de doctorat. Université de Grenoble; Université Mentouri de Constantine. France.

- [35] Hatem R, 2007. Elimination de la matière organique par adsorption sur charbon magnétique. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- [36] Houas A, Bakir I, Ksibi M, Elaloui E, 1999. Etude de l'élimination de bleu de méthylène dans l'eau par le charbon actif commercial CECA40. EN1 Gabes, route de Medenine, 6029 Gabés Tunisie.
- [37] Jagtoyen M, Derbyshire F, 1998. Activated carbons from yellow poplar and white oak by H_3PO_4 activation, Carbon Vol. 36, No. 7-8, p. 1085-1097.
- [38] Kafack F T, 2012. étude des performances des charbons actifs préparés à partir de biomasses tropicales pour l'élimination du chrome et diuron en milieu aqueux. mémoire de master. Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement.
- [39] Kanouri R et Labide A, 2013. Adsorption du phénol sur la bentonite de maghnia. Mémoire Master Académique. Université Kasdi Merbah Ourgla.
- [40] Lakhtar H, 2009. Culture du lentinulaedo des (Berk.) pegler sur résidus oléicoles en fermentation en milieu solide : transformation des polyphénols des margines. Thèse. Université Paul Cézanne, Aix Marseille III.
- [41] Marsteau S, 2005. Adsorption, traitements des gaz dangereux captés sur les lieux de travail, édition 4263. Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS).
- [42] Mermillod-blondin R, 2003. Minéralogie quantitative au microscope électronique à balayage et analyse d'images, Application à la caractérisation minéralogique de résidus miniers. Rapport technique. Chaire CRSNG Polytechnique – UQAT & LEM – INPL.
- [43] Metahri M S, 2012. Elimination simultanées de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, des procédés mixtes. Cas de la step est de la ville de Tizi-ouzu. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [44] Mimanne G, Benhabib K, Benghalem A, Taleb S, 2014. Etude de l'adsorption des métaux lourds (Pb et Cd) en solution aqueuse sur charbon actif et montmorillonite sodée de ouest algérien. J. Mater. Environ. Sci. 5 (4) (2014) 1298-1307. ISSN : 2028-2508. CODEN: JMESCEN.
- [45] Moletta R, 2012. L'eau, sa pollution, et son traitement. 1504 Route des Bottières 73470 Novalaise (France).

- [46] Monarrez I M, 2004. Rétention de pesticides dans les sols des dispositifs tampon, enherbés et boisés rôle des matières organiques. Thèse doctorat. institue agronomique Paris – Grignon.
- [47] Mouhamed L, 2008. Adsorption de métaux lourds dans des eaux usées par des charbons actifs préparés à partir de biomasse locales. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'équipement rural. Institut Internationale D'ingénierie de L'eau et de L'environnement.
- [48] Moulin S, Rozen-Rechels D, Stankovic M, 2013. Traitement des eaux usées. Centre d'enseignement et de recherches sur l'environnement et la société. 24 rue Lhomond 75005 Paris.
- [49] Moumenine S, 2011. Elimination de polluants des eaux d'usines par adsorption sur charbon de chêne en combinaison avec un désinfectant. Mémoire d'ingénieur. Université Abou BekrBelkaid – Tlemcen.
- [50] Mouton R, 2012. Grignons d'olives et compost. Agricultures et territoires chambres d'agriculture Provence-alpes côte d'azur.
- [51] NaitMerzoug N, 2014. Application des tiges de dattes dans l'adsorption de polluants organiques. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister. Université Mohamed Cherif Massaadia Souk-Ahras. Algérie.
- [52] Neagu V, Untea I, Tudorache E et Orbeci C, 2007. étude thermodynamique concernant l'adsorption du phénol des solutions aqueuses sur copolymères styrène-divinyl benzène. Revue Roumaine de Chimie. N° 52(4).pp 431–435.
- [53] Nefzaoui A ,1991. Valorisation des sous-produits de l'olivier. Laboratoire de nutrition animal INRA de Tunisie 2080 Arianna, Tunisie.
- [54] Nicolas, 2000. Mesure des niveaux moyens de benzène de la région de l'ouest des Bouches-du-Rhône. Association pour la surveillance de la qualité de l'air de la région de l'ouest des Bouches-du-Rhône.
- [55] Oudjiane A, 1995. Contribution à l'étude de comportement hydrique estivale chez le chêne zeen (*Quercus faginea* Willd) et le chêne a fares (*Quercus afares* Pomel) dans la forêt de l'akfadou (kabylie). Thèse de doctorat. Université de Tizi-Ouzou.
- [56] Ounas A, Bergach N, Ennaciri K, Yaacoubi A, Bacaoui A, 2009. préparation des charbons actifs à partir des déchets de l'industrie oléicole. Symposium international AGDUMED « agriculture durable en région méditerranéenne » Rabat, Maroc, 14-16 2009.

- [57] Perera P et Baudot B, 1991. Guide, procédé extensifs d'épuration des eaux usées adapté aux petite et moyenne collectivités (500-5000eq- hap). mise en œuvre de la directive de conseil n°91/271 du 21 mai 1991.
- [58] RabhiK, 2011. Ajustement de modèles hauteur – circonférence – âge pour le chêne zéen (*Quercus canariensis*Willd) dans la forêt d'Akfadou (Tiziouzou); effet de la densité et de la station. Mémoire de magister. Université Aboubekr Belkaïd – Tlemcen.
- [59] Rahmani A, 2012. Etude de l'activité cambiale chez le chêne zeen (*Quercus canariensis*Wild), au niveau de la foret des Ait-Ghobri. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- [60] Raymand D, 1990. Le traitement des eaux. Deuxième édition revue et enrichie. Presses internationales polytechnique IBN 978- 2- 553- 00643- 2, Monterial.
- [61] Reffas A, 2010. Étude de l'adsorption de colorants organiques (rouge nylosan et bleu de méthylène) sur des charbons actifs préparés à partir du marc de café. Thèse de doctorat. Université Mentouri-Constantine.
- [62] Roussas S, Perraud-GaimeI,Lakhtar H, Aouidi1 F, Labrousse Y, Belkacem N, Macarie H, Artaud J, 2009. Valorisation biotechnologique des sous-produits de l'olivier par fermentation en milieu solide. Route de l'aéroport- B.P. 1087-3000 Sfax (Tunisie).
- [63]Ruiti M, 2015. Elimination du fer par procédés d'oxydation et d'adsorption sur charbon de pin d'alep, International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 10 No. 2 Feb. 2015. pp. 694-700.
- [64] Sedira N, 2013. Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes. mémoire de magister. Université Mohamed Chérif Massaadia Souk-Ahras.
- [65] Thévenot D et Varrault Cereve G, 2005. Traitement des eaux usées. Université Paris XII-Val de Marne, ENPC, ENGREF (UMR-MA 102).
- [66] Touati L, 2013. Valorisation des grignons d'olive études en cas : essais de valorisation en biocarburant. Mémoire de magister. Université M'Hamed Bougara-Boumerdes.
- [67] Vandermeersch S, 2006. Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes. Diplôme d'études spécialisées en gestion de l'environnement. Université Libre de Bruxelles.
- [68] Yahaoui N, 2012. Etude de l'adsorption des composés phénologiques des margines d'olives sur carbonate de calcium, hydroxyapatite, et charbon actif. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.

- [69] Youcef L, Ouakouak A, Boulanouar D, Achour S, 2014. étude du pouvoir adsorbant du charbon actif en poudre pour l'élimination des phosphates des eaux naturelles. Larhyss Journal. ISSN 1112-3680. n°17. Mars 2014. pp. 35-46.
- [70] Zarrouki M, 1990. Étude de l'adsorption dans un système liquide-solide: Solution d'ion dicyanoaurate-charbon actif. Thèse de doctorat. de l'institut national polytechnique de Grenoble et de l'école nationale supérieure des mines- de Saint-Etienne. 29 Novembre 1990.
- [71] Ziati M, Hazourli S, Nouacer S, Khelaifia F. Z, NaitMerzoug N, 2013. Adsorption de l'arsenic (III) sur un résidu naturel lego-cellulosique valorisé en charbon actif-exempte des noyaux de datte. Lebanese Science Journal, Vol. 14, N°1.
- [72] Zine El Abidine A, 1988. Analyse de la diversité phyto-écologique des forêts du chêne zeen (*Quercus jaginea* Lamk.) au Maroc. Bull. Inst. Sei, Rabat. n° 12. p. 69-77.

Annexe

Annexe

Tableau 1 : étalonnage pour le phénol.

Concentration (mg/l)	0	0,106382	0,212765	0,319148	0,425531	0,531914	0,638297	0,744680	0,85106	0,957446	1,063829
Absorbance (A)	0	0,021	0,024	0,032	0,036	0,039	0,058	0,061	0,066	0,1	0,111

Tableau 2 : étalonnage pour le benzène.

Concentration (mg/l)	0	0,128205	0,256410	0,384615	0,512820	0,641025	0,769230	0,897435	1,025641	1,153846	1,282051
Absorbance (A)	0	0,022	0,024	0,041	0,049	0,063	0,089	0,093	0,115	0,131	0,138

Tableau 3 : variation de la quantité adsorbée en fonction de temps pour l'adsorption de phénol sur charbon activé à base de bois de chêne zeen pour la concentration de 0,01 N.

temps d'agitation (min)	0	10	20	30	40
quantité adsorbé (mg/g)	0	0,000427845	0,000971323	0,000971323	0,000971323

Tableau 4 : variation de la quantité adsorbée en fonction de temps pour l'adsorption de phénol sur charbon activé à base de bois de chêne zeen pour la concentration de 0,1 N.

temps d'agitation (min)	0	10	20	30	40	50
quantité adsorbé (mg/g)	0	0,023843663	0,029821924	0,034713228	0,034713228	0,034713228

Annexe

Tableau 5 : variation de la quantité adsorbée en fonction de temps pour l'adsorption de phénol sur charbon activé à base de grignon d'olives pour la concentration de 0,01N.

temps d'agitation(min)	0	10	20	30
quantité adsorbé (mg/g)	0	0,002058279	0,002058279	0,002058279

Tableau 6 : variation de la quantité adsorbée en fonction de temps pour l'adsorption de phénol sur charbon activé à base de grignon d'olives pour la concentration de 0,1 N.

temps d'agitation(min)	0	10	20	30	40
quantité adsorbé (mg/g)	0	0,040148011	0,041234968	0,041234968	0,041234968

Tableau 7 : variation de la quantité adsorbée en fonction de temps pour l'adsorption de phénol sur charbon commercial pour la concentration de 0,01 N.

temps d'agitation (min)	0	10	20	30
quantité adsorbé (mg/g)	0	0,004232192	0,004232192	0,004232192

Tableau 8 : variation de la quantité adsorbée en fonction de temps pour l'adsorption de phénol sur charbon commercial pour la concentration de 0,1 N.

temps d'agitation (min)	0	10	20	30	40
quantité adsorbé (mg/g)	0	0,040148011	0,042321924	0,042321924	0,042321924

Annexe

Tableau 9 : variation de la quantité adsorbée en fonction de temps pour l'adsorption de benzène sur charbon activé à base de bois de chêne zeen pour la concentration de 0,01 N.

temps d'agitation (min)	0	10	20	30	40
quantité adsorbée (mg/g)	0	0,002281816	0,00503411	0,00503411	0,00503411

Tableau 10 : variation de la quantité adsorbée en fonction de temps pour l'adsorption de benzène sur charbon activé à base de bois de chêne zeen pour la concentration de 0,1 N.

temps d'agitation (min)	0	10	20	30	40	50
quantité adsorbée (mg/g)	0	0,039331922	0,042542931	0,043919078	0,043919078	0,043919078

Tableau 11 : variation de la quantité adsorbée en fonction de temps pour l'adsorption de benzène sur charbon activé à base de grignon d'olives pour la concentration de 0,01N.

temps d'agitation (min)	0	10	20	30	40
quantité adsorbée (mg/g)	0	0,004116678	0,00503411	0,00503411	0,00503411

Tableau 12 : variation de la quantité adsorbée en fonction de temps pour l'adsorption de benzène sur charbon activé à base de grignon d'olives pour la concentration de 0,1 N.

temps d'agitation (min)	0	10	20	30	40	50
quantité adsorbée (mg/g)	0	0,051258527	0,05309339	0,056763115	0,056763115	0,056763115

Annexe

Tableau 13 : variation de la quantité adsorbée en fonction de temps pour l'adsorption de benzène sur charbon commercial pour la concentration de 0,01 N.

temps d'agitation (min)	0	10	20	30	40
quantité adsorbée (mg/g)	0	0,000446954	0,002740532	0,002740532	0,002740532

Tableau 14 : variation de la quantité adsorbée en fonction de temps pour l'adsorption de benzène sur charbon commercial pour la concentration de 0,1 N.

temps d'agitation (min)	0	10	20	30	40	50
quantité adsorbée (mg/g)	0	0,044377793	0,049423665	0,054010821	0,054010821	0,054010821

Résumé

L'objectif de ce travail est l'élimination de deux polluants organiques phénol et benzène par adsorption sur charbon actif d'origine végétale : grignons d'olive et bois de chêne zeen qui ont subis une transformation par voie thermo-chimique utilisant l'acide phosphorique comme agent d'activation, puis procéder à une comparaison avec le charbon commercial. Nous avons été amenés à évaluer l'influence des paramètres réactionnels tels que le temps d'équilibre et la concentration initiale sur la quantité adsorbée des polluants étudiés en solution. Les résultats d'adsorption ont été exploités à l'aide des modèles de Langmuir et de Freundlich ; les rendements maximaux d'adsorption sont comme suite :

- 77.52% sur le charbon issu du grignons d'olive, 65.26% sur Chêne zeen et 79.56% sur charbon commercial obtenu pour le phénol ;
- 88.55% sur le charbon issu du grignons d'olive, 68.51% sur Chêne zeen et 84.25% sur charbon commercial obtenu pour le benzène.

En effet les grignons d'olives et le bois de chêne zeen constituent une source considérable pour la production d'un charbon actif efficace pour l'élimination des polluants organiques.

Mots clés : Charbon actif, adsorption, chêne zeen, grignon d'olives, polluant organique.

Abstract

The objective of this work is the elimination of two organic pollutants phenol and benzene by adsorption on activated carbon of vegetable origin: olive pomace and zeen oak wood that have undergone a transformation by thermo-chemical route using acid phosphoric as activating agent, and then make a comparison with the commercial coal. We have been led to evaluate the influence of reaction parameters such as time of equilibrium and the initial concentration on the adsorbed quantity of the pollutants studied in solution. The adsorption results were exploited using the Langmuir model and Freundlich the maximum adsorption yields are as followings:

- 77.52% on coal produced with the olive residue, 65.26% on zeen Oak and 79.56 on trading carbon obtained for phenol;
- 88.55% on coal produced with the olive residue, 68.51% on zeen Oak and 84.25 % on trading carbon obtained for benzene.

-In Fact, the olive cake and zeen oak wood are an important source for the production of an efficient activated carbon to remove organic pollutants.

Keywords: activated carbon, adsorption, zeen oak, olive cake, organic pollutant.