



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université MOULOUD MAMMERRI de TIZI-OUZOU
Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques
Département des sciences agronomiques

Mémoire

de fin de cycle
En vue de l'obtention du diplôme de Master
En sciences agronomiques
Spécialité : Eau et Environnement

Thème

Régénération des filtres à charbon actif d'une station de
dé-ionisation des eaux

Présenté par :

M^{elle} Zerrouki Amel

M^{elle} Taib Hayet

Soutenu le 29 Décembre 2020 devant le jury :

M^r BERRADJ O.	Maître de conférences B	UMMTO	Président
M^r METAHRI MS.	Maître de conférences A	UMMTO	Promoteur interne
M^{me} BERROUANE N.	Doctorante	UMMTO	Promotrice interne
M^r LOUCIF SIAD M.	Maître de recherche B	CDTA	Promoteur externe
M^r SMAIL A.	Maître de conférences B	UMMTO	Examineur

Promotion : 2019/2020

Remerciement

En premier lieu, on adresse nos vifs remerciements à notre professeur et encadreur interne Dr Metahri MS de l'université Mouloud Mammeri. On tient à lui exprimer toute notre reconnaissance pour tous ses efforts et pour le soutien qu'il nous a témoigné tout au long de cette étude, placée sous son encadrement.

Nos sincères remerciements vont aussi à notre encadreur externe Dr Loucif Siad M du centre de recherche et de développement des technologies avancées d'avoir proposé ce sujet, de nous avoir accueilli au sein du laboratoire des milieux ionisés et laser et de nous avoir permis de préparer une partie de notre travail dans les meilleures conditions. Et pour son aide, sa disponibilité et ses conseils et de nous avoir fourni d'excellentes conditions de travail lors de notre passage au laboratoire pour effectuer ce travail.

Ce travail n'aurait pas pu voir le jour sans les précieux conseils et l'aide de Mme Berrouane N. pour laquelle on adresse nos sincères remerciements pour sa générosité, le temps et la patience qu'elle nous a accordé. Nous sommes très honorées de l'avoir eu comme enseignante et promotrice.

On adresse nos sincères remerciements à tous les membres de jury qui nous ont fait l'honneur de participer à l'évaluation de notre travail.

Nous sommes très honorés que Mr Berradj à l'Université Mouloud Mammeri ait accepté de présider ce jury nous tenant à lui exprimer notre profonde gratitude.

Nous remercions aussi Mr Smail maitre de conférences à l'Université Mouloud Mammeri, qui nous a fait l'honneur d'examiner ce travail.

Nous tenons à remercier tout le personnel du CDTA, et particulièrement Mr Nait bouda de nous avoir accueilli dans son laboratoire et pour son aide, ses conseils et sa patience.

Mr. Filali W. et Mr. lekoui F. pour leur conseils leur aide et surtout leur gentillesse et pour leur côté humain et professionnel. On a beaucoup appris à leur côtés même dans cette brève période et nous sommes très honoré de les avoir rencontré.

On adresse nous remerciement aussi à Mr. Guedouar, Mme Outmani DJ pour leur aide et conseils lors de notre passage dans le laboratoire des milieux ionisées et laser du centre de recherche et développement des technologies avancées « CDTA » ALGÈRIE.

Nous remercions également Mme Ihaddaden, ingénieur du labo de traitement des Eaux à l'Université de Mouloud Mammeri pour son aide et sa gentillesse.

Très nombreux sont les gens qui, de près ou de loin, ont participé à la réalisation de ce travail, on leur exprime nos vifs remerciements.

Dédicaces

A la lumière qui me montre le chemin quand je me sens perdue, Ma très chère mère

A mon chère père qui surveillait mon confort et cherchait mon sucées «merci papa je vous promets que je ne vous décevrai jamais »

A Mes deux chers frères : Abdelhak et Jugurtha qui m'ont toujours encouragé et qui étaient toujours présents pour moi.

A toute ma famille particulièrement « Célia et Mouloud »

A mon binôme Hayet et sa famille

A mes copines « Rabea, Ines, Lylia, Lamou, Rosa, Meriem, Syhem »

A tous mes amis

A tous les enseignants qui ont pris part à ma formation,

A tous ceux qui me sont chers et qui m'ont soutenu.

Amel

Dédicaces

Avant toute chose, je remercie ALLAH Tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour accomplir cet humble travail, fruit de mes années de labeur.

J'ai le plaisir de dédier ce travail :

À mon très cher papa pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

À ma chère maman, la plus merveilleuse et adorable des mamans, tu es la meilleure, je suis vraiment fier d'être ta fille. Puisse DIEU la garder.

À mes chers frères pour leurs encouragements incessants afin de finaliser ce travail.

À mes adorables sœurs qui m'ont permis de dépasser les obstacles de la vie et m'ont encouragé à toujours aller de l'avant.

À mon oncle Saïd et sa famille

À mes chers neveux et nièces.

Sans oublier Slimane, Salîha et son mari Brahim.

À ma chère binôme Amel et sa famille.

A mes amis Ahmed, Naila, Lylia, Rosa, Radia, Celina

À tous mes camarades de Master "Eau et Environnement" promo 2019-2020.

À Tous mes enseignants pour leur participation à mon éducation et ma formation depuis mon enfance jusqu'à ce jour.

À tous ceux qui m'ont offert leur amitié et des moments inoubliables.

Hayet

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
1	Taille des pores et surface spécifique des charbons actifs	15
2	avantages et inconvénients des CAP en comparaison avec les CAG	19
3	les avantages et les inconvénients de (CAG)	20
4	Différents types d'adsorbant	23
5	Comparaison entre eau de robinet et eau dé-ionisée.	35
6	Masses volumiques et porosités du CAG saturé	43
7	Masses volumiques et porosités du CAG après régénération par la méthode ultrasonore, effet du temps de contact	44
8	Masses volumiques et porosités du CAG après régénération par la méthode ultrasonore effet de température	45
9	Masses volumiques et porosités du CAG après régénération chimique (Méthode chimique)	47
10	Masses volumiques et porosités du CAG après régénération avec les deux méthodes chimique-ultrasonore "effet du temps"	49
11	Masses volumiques et porosités du CAG après régénération avec les deux méthodes chimique-ultrasonore "effet de température "	50
12	Masses volumiques et porosités du CAG après régénération avec la méthode thermique "effet du temps "	52
13	Masses volumiques et porosités du CAG après régénération avec la méthode thermique "effet de la température «	53
14	rendement de chaque méthode de régénération	55

Liste des figures

Figure	Titre	Page
1	Différentes étapes d'un procédé d'ultra purification de l'eau	09
2	Procédé de distillation par thermocompression	10
3	Principe de la distillation simple	10
4	Principe de la dé- ionisation des eaux	11
5	Structure du charbon actif vu sous un microscope électronique à balayage	14
6	Représentation schématique d'un grain de charbon actif et la structure des pores	15
7	Représentation schématique de la surface interne et externe d'un charbon	17
8	Charbon actif en poudre (CAP)	18
9	Charbon actif en grain (CAG)	18
10	Phénomène d'adsorption	21
11	Représentation graphique de la théorie de la double couche	22
12	Etapes de la cinétique d'adsorption	23
13	Synthèse des techniques de régénération des charbons actifs	27
14	Photographie de l'entrée du CDTA	32
15	Ultrason de marque Reverberi	33
16	Conductimètre de marque Consort	33
17	Haute chimie	33
18	Four à moufle	33
19	Spectroscopie Raman	34
20	Microscopie électronique MEB de marque JEOL	34
21	Cartouche a charbon actif saturé	34
22	Etape de détermination de l'humidité du charbon	35

23	Procédure de la méthode par Ultrason	36
24	Procédure de la méthode chimique	37
25	Procédure de la méthode thermique	39
26	Schéma de principe de microscope électronique à balayage	40
27	Schéma de principe d'un spectromètre Raman	41
28	Effet du temps de régénération sur la conductivité (méthode ultrasonore)	45
29	Effet de température sur la conductivité (Méthode ultrasonore)	46
30	Effet de la normalité de NaOH sur la conductivité	48
31	Effet du temps de contact sur la désorption du charbon actif (combinaison de la méthode chimique et la méthode ultrasonore).	49
32	Effet de la température sur la désorption du charbon actif (combinaison de la méthode chimique et la méthode ultrasonore)	51
33	Effet du temps de passage dans le four sur la désorption du charbon actif (méthode thermique)	53
34	Effet de la température sur la désorption du charbon actif (Méthode thermique)	54

Liste des abréviations et des symboles

Ag : Argent

Al : Aluminium

Al₂O₃ : Oxyde d'aluminium

As : Arsenic

C : Conductivité

C° : Degré Celsius

CA : Un Charbon Actif

Ca²⁺ : ion Calcium

CAG : Charbon Actif en Grain

CAP : Charbon Actif en Poudre

CDTA : Centre de Développement des Technologies Avancées

Cl⁻ : ion Chlorure

CO₂ : Dioxyde de Carbone

CO₃²⁻ : ion Carbonate

EPST : Etablissement Public à Caractère Scientifique et Technologique

H⁺ : ion d'hydrogène

H₃O⁺ : ion hydronium

HCO₃⁻ : ion Hydrogénocarbonate

IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry

K : Constante liée à l'équilibre d'adsorption

K⁺ : ion Potassium

Kcal : Kilocalorie

Kg : Kilogramme

KHz : Unité de fréquence (Hertz)

m : Masse du charbon (g).

M : Masse de l'échantillon

m² : mètre carré

MEB : Microscope Electronique à balayage

Mn²⁺ : ion Manganèse

mS : millisiemens

N : Normalité

Na²⁺ : ion Sodium

Na₂SO₄ : Sulfate de Sodium

NaCl : Chlorure de Sodium

NaHCO₃ : Bicarbonate de Sodium

NaOH : Hydroxyde de Sodium

nm: Nanomètre

NO₂⁻: ion Nitrites

NO₃⁻ : ion Nitrates

NTU: Nephelometric Turbidity Unit

OH⁻ : ion Hydroxyde

Pb : Plomb

ppb: partie par milliard

R : Rendement de la désorption (%)

S: Siemens

SEM: Scanning Electron Microscope

SiO₂: dioxyde de silicium

SO₄²⁻ : ion Sulfates

T : Température

t : temps (min)

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

US : Ultrasons

UV: Ultraviolet

Zn : Zinc

ε : Porosité

μS : Micro Siemens

ρ: Résistivité

ρ_{abs} : Masse Volumique Absolue

ρ_{ap} : Masse Volumique Apparent

$\Omega \cdot m$: Ohm-mètre

v_t : Volume de Charbon Actif en Poudre (ml)

v_1 : Volume initial d'eau distillée (ml)

v_2 : Volume de la solution eau & charbon (ml)

$^{\circ}F$: Degré Français

SOMMAIRE

Introduction.....	01
--------------------------	-----------

Chapitre I : Généralité sur l'eau

1. introduction	04
2. Classification des eaux	04
2.1. Eau naturelle	04
2.2 Eau de surface	04
2.3 Eau souterraine	04
2.4 Eau potable	04
3. Paramètres de qualité des eaux	05
3.1. Paramètres organoleptique	05
3.2. Paramètres physico-chimiques	05
3.3. Paramètres indésirables	08
3.4. Paramètres microbiologiques.....	08
4. Pureté de l'eau	08
4.1. Eau ultra pure	08
4.2. Eau distillée.....	09
4.3. Dé-ionisation	10
4.4. Comparaison Eau dé-ionisée et eau distillée.....	11
4.5. Utilisations courantes	11

Chapitre II Adsorption-désorption

1. Charbon actif	14
1.1. Caractéristiques du charbon actif	14
1.2. Formes du charbon actif	17
1.2.1. Charbon actif en poudre (CAP).....	18
1.2.2. Charbon actif en grain (CAG)	18

2. Phénomènes d'adsorption.....	20
2.1. Caractéristiques de l'adsorption	21
2.2. Cinétique d'adsorption	22
2.3. Principaux types d'adsorbant.....	23
2.4. Facteurs influençant l'adsorption	24
3. Désorption	25
3.1. Aspect de base sur la désorption	25
3.2. Régénération.....	26
3.3. Différentes méthodes de régénération.....	26
3.3.1. Méthodes de régénération par déplacement de la pollution.....	27
3.3.2. Méthodes de régénération par destruction de la pollution	28

Chapitre III Matériels et Méthodes

1. Introduction.....	32
2. Présentation du CDTA	32
3. Matériels	33
4. Méthodes	35
4.1. Détermination de l'humidité du charbon actif	35
4.2. Détermination de la porosité du charbon actif CAG	36
4.3. Méthodes de régénération.....	36
4.3.1 Méthode par ultrason	36
4.3.2 Méthode chimique.....	37
4.3.3. Combinaison des deux méthodes chimique et ultrasonique	37
4.3.4. Méthode thermique	38
4. 4. Techniques de caractérisation	39

Chapitre IV Résultats et Discussions

1. Caractérisation du charbon actif saturé.....	43
1.1. Calcul de la porosité.....	43

2. Méthode par ultrason	43
2.1 Effet du temps de régénération	43
2.2 Effet de la température	44
3. Régénération par la méthode chimique	47
4. Combinaison de la méthode chimique-ultrason	48
4.1. Effet du temps de régénération.....	48
4.2. Effet de la température	50
5. Régénération par la méthode thermique	51
5.1 Effet du temps de la régénération	51
5.2 Effet de la température d'incinération	53
6. Calculs des rendements de régénération	54
Conclusion	57
Références bibliographiques.....	60
Annexes	

Introduction

Introduction

Depuis toujours, l'eau est indissociable de l'activité humaine. La révolution industrielle du 19^{ème} siècle, en valorisant la vapeur d'eau, a permis le développement de la capacité de sa production (Maloum, 2016). L'eau a été la clef du développement de toutes les sociétés et des générations depuis l'existence de l'humanité sur terre (Mahmoud, 2014).

Le monde a pris cette fortune en considération. Il a consacré tous ces efforts et moyens pour assurer et garantir une alimentation sanitaire, et une meilleure qualité d'eau par des méthodes de traitement contrôlable. Il est nécessaire de contrôler les paramètres physico-chimiques et microbiologiques, ainsi l'enchaînement de plusieurs étapes afin d'assurer une qualité normalisée (Sahla, 2018).

La demande en eau ultra pure a fortement augmenté ces dernières décennies, autant en terme de quantité qu'en terme de qualité. Les procédés d'obtention d'eau de très haute pureté sont constitués d'un ensemble d'opérations unitaires. L'enchaînement de ces opérations dépend de la qualité d'eau qui constitue la matière première et de la qualité requise du « produit » fini (Monzie, 2003).

L'eau ultra pure est l'eau qui approche au mieux les niveaux théoriques de la pureté en termes de résistivité, concentrations en matière organique, particules et microorganismes. Ce niveau de pureté peut être obtenu par différentes techniques, qui peuvent parfois être combinées. Certaines de ces techniques sont l'échange ionique et les filtres à charbon actif ou leur combinaison (Guenouche, 2013).

De nos jours, l'utilisation de charbon actif pour l'élimination de micropolluants de par est très fréquente, grâce à ses caractéristiques très importantes telles que, son pouvoir adsorbant, sa grande surface spécifique, sa structure poreuse et sa thermostabilité (Bouchemal, 2007 et Mahmoud, 2014). Au fur et à mesure de son utilisation, le charbon actif perd de son efficacité et finit par être saturé. Il est alors nécessaire de le régénérer (John Cockerill, 2020).

L'objectif de notre travail est d'étudier le procédé de la régénération du charbon actif en grain (CAG) contenu dans les filtres d'une station dé-ionisation des eaux, des laboratoires de recherches du CDTA pour une éventuelle réutilisation et surmonter les coûts d'achats de ce dernier.

Afin de bien structurer notre mémoire, nous l'avons divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre, porte sur les généralités sur l'eau, dans le deuxième chapitre nous présentons les caractéristiques du charbon actif, les phénomènes d'adsorption et de désorption.

Le troisième chapitre comprend une présentation du matériel et des méthodes utilisés au cours de la pratique. Les résultats de la régénération par différentes méthodes et leurs interprétations seront présentés dans le dernier chapitre. Et nous terminerons par une conclusion.

Chapitre I

Généralité sur l'eau

1. Introduction

L'eau est d'une importance biologique et économique capitale, l'hydrosphère est le fondement de la vie et des équilibres écologiques. L'eau est nécessaire pour tous les êtres vivants mais aussi pour le développement des sociétés humaines. Elle participe à de nombreux usages (domestiques, industrielles, agricoles, etc...). Cependant, certains usages peuvent avoir un impact sur la ressource et compromettre à la fois le bon fonctionnement du milieu naturel et les autres usages qui en dépendent. La question est de savoir comment la conserver et l'utiliser de façon durable et équitable (Bernard *et al.*, 2003).

2. Classification des eaux :

La classification des eaux peut se faire suivant son origine, suivant son utilisation, on distingue :

2.1 Eaux naturelles :

L'homme a recours généralement, à deux types de ressources hydriques pour satisfaire ses besoins en eau et permettre son usage dans ses diverses activités L'eau à l'état naturel n'est jamais pure ; c'est un milieu vivant qui se charge d'éléments très divers en fonction des formations géologiques traversées, elles peuvent être d'origine souterraine ou de surface (Berrouane *et al.*, 2018).

A. Eau de surface

Les eaux continentales de surface (lacs, cours d'eau, les eaux de mers et océans) sont alimentées par les eaux de pluies et les eaux de ruissellement. Elles peuvent contenir des impuretés qui ont pour origine la dissolution des encaissants (roche, terrains traversés) (Guenouche, 2013)

B. Eau souterraine

Les eaux qui ne se sont pas évaporées, s'infiltrent dans le sol et le sous-sol et s'y accumulent pour constituer les eaux souterraines. Elles sont généralement d'excellente qualité physico-chimique et bactériologique, elles se réunissent en nappes (nappes captives et nappes libres). L'aquifère ou encore la nappe d'eau souterraine est constituée par l'ensemble des eaux qui occupent les interstices des roches poreuses dans un domaine défini par son épaisseur et son étendue (Berrouane *et al.*, 2018).

2.2 Eaux potables

Selon le code de la santé publique de la législation française (titre II-Articles 1321-2 (Eaux potable) et 1322 (Eaux minérales), les eaux destinés à la consommation humaine doivent, dans les conditions prévues à la présente section :

- Ne pas contenir un nombre ou une concentration de microorganisme, de parasites ou de toutes autres substances constituant un danger potentiel pour la santé des personnes ;
- Être conformes aux limites des qualités, portant sur des paramètres microbiologiques et chimiques, définie par arrêté du ministre chargé de la santé.

Une eau de source et une eau d'origine souterraine microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution, apte à la consommation humaine sans traitement ni adjonctions. Elle doit satisfaire aux exigences de qualité définies par les dispositifs réglementaires prises en application de l'article I.25-1 du code de la santé publique. Elle doit être introduite au lieu de son émergence, telle qu'elle sort du sol, dans des récipients de livraison au consommateur ou dans des canalisations l'amenant directement dans ces récipients (Décret n°89-369 du 6 juin 1989. Art 13.).

3. Paramètres de qualité des eaux

3.1. Paramètres organoleptique

Ces paramètres concernent les qualités sensibles de l'eau : la couleur, la saveur, l'odeur, la transparence. Ils n'ont pas de valeur sanitaire directe, une eau de consommation doit être inodore et incolore (Benaouda, 2016).

3.2 Paramètres physico-chimiques

A. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH mesure la quantité d'ions H_3O^+ présents dans une solution, la valeur du pH donne une indication sur le caractère acide ou basique d'une solution (l'eau dans notre cas). Son échelle s'étale de 0 à 14. La valeur souhaitable du pH dans l'eau potable est située entre 6.5 et 8.5 (Depiereux, 2013).

- pH = Eau neutre
- pH < 7 Eau acide
- pH > 7 Eau basique

B. Turbidité

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence, elle donne une idée sur sa teneur en matières en suspension (grains de silice, matière organique, limons...). Les eaux troubles forment des flocs d'importants dépôts dans les tuyauteries et dans les réservoirs (Abdenour, 2015).

C. Minéralisation globale

La minéralisation traduit la teneur globale en sels minéraux dissous, tels que les carbonates CO_3^{2-} , les bicarbonates HCO_3^- , les chlorures Cl^- , les sulfates SO_4^{2-} , le calcium Ca^{2+} , le sodium Na^+ , le potassium K^+ , le manganèse Mn^{2+} (Chaden, 2014).

D. Conductivité (C)

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. Elle est symbolisée par la lettre grecque sigma σ , l'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m) (Taib, 2014)

$$1\text{S/m}=10^4 \mu\text{S/cm}=10^3\text{mS/m.}$$

La conductivité d'une solution dépend directement de la nature des ions présents et de leurs concentrations (eq 01). Plus la concentration sera importante, plus la conductivité sera élevée.

$$\sigma = \sum \lambda_i C_i \dots \dots \dots (01)$$

Où :

σ est la conductivité en S/m, λ_i est la conductivité molaire ionique d'un ion i en $\text{S.m}^2.\text{mol}^{-1}$, C_i est la concentration d'un ion i en mol.m^{-3} . (<https://www.lenntech.fr>)

L'eau pure n'est pas un bon conducteur d'électricité. L'eau distillée, en équilibre avec le dioxyde de carbone de l'air, a une conductivité d'environ $10 \times 10^{-6} \text{ W}^{-1}.\text{m}^{-1}$ (20 dS/m). Du fait que le courant électrique est transporté par les ions de la solution, la conductivité augmente lorsque la concentration des ions augmente.

On donne quelques valeurs de la conductivité des eaux selon leurs natures :

- Eau ultra-pure $5.5 \times 10^{-6} \text{ S/m}$,
- Eau potable 0.005 – 0.05 S/m,
- Eau de mer 5 S/m.

Il existe également une relation avec la dureté de l'eau, une eau douce affiche normalement une conductivité basse, par contre une eau dure affiche une conductivité élevée (NHA Naturolistique, 05-11-2020).

E. Résistivité (ρ)

La résistivité est la valeur inverse de la conductivité (eq 02). Moins une eau possède d'ions, plus sa résistance sera importante. La résistivité, généralement symbolisée par la lettre grecque rho (ρ), représente sa capacité à s'opposer à la circulation du courant électrique. La résistivité

correspond à la résistance d'un tronçon de matériau d'un mètre de longueur et d'un mètre carré de section et est exprimée en ohms-mètres ($\Omega \cdot m$) (NHA Naturolistique, 05-11-202).

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \dots \dots \dots (02)$$

ρ est la résistivité en $\Omega \cdot m$,

σ est la conductivité en S/m.

L'eau potable du réseau urbain de distribution a une résistivité de l'ordre de 1000 à 5000 MW.cm (200 à 1000 mS.cm⁻¹).

F. Salinité

La salinité d'une eau correspond à la teneur globale en cations et en anions, elle s'exprime en mg/l. Dans la nature, la salinité croît sur les plans d'eau qui font objet d'une forte évaporation et décroît sur ceux qui sont sensibles ; les basses eaux et les étiages ont les teneurs les plus fortes, car les eaux proviennent des nappes où elles ont séjournées longtemps au contact de la roche. Les hautes eaux et les crues ont des teneurs plus faibles, les eaux de ruissellement mettent moins de temps à exercer leurs actions corrosives (Ilourmane *et al.*, 2016).

G. Dureté total

Produite par les sels de calcium et de magnésium contenus dans l'eau on distingue : une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg et une dureté non carbonatée produite par les autres sels. La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français) ; 1°F correspond à 10 mg de carbonate de Calcium CaCO₃ dans 1 litre d'eau. Elle résulte principalement du contact des eaux souterraines avec les formations rocheuses : Le calcium dérive de l'attaque du CO₂ dissout par les roches calcaire (dolomies) ou de la dissolution sous forme de sulfate dans le gypse. La dureté d'une eau naturelle dépend de la structure géologique des sols traversés (Arab et Oudafal, 2015).

H. Alcalinité

Correspond à la capacité d'une eau à réagir avec les ions hydrogène (H⁺) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO₃⁻), carbonate (CO₃²⁻) et hydroxyde (OH⁻). Autrement dit, on est amené à considérer deux types d'alcalinité qui correspondent, encore une fois à deux bornes de pH :

Alcalinité au virage du rouge de méthyle : elle correspond à l'alcalinité totale au pH de 4.5, ce qui revient à déterminer les ions HCO₃, CO₃²⁻ et OH⁻. Cette alcalinité se nomme également titre alcalimétrique complet TAC.

Alcalinité au point de virage de la phénophtaléine (alcalinité composite) : elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-} . Cette alcalinité composite est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égale à 8,3. L'alcalinité composite se nomme également titre alcalimétrique (TA) (Ilourmane et Megdoul, 2016).

3.3 Eléments indésirables

Les chlorures(Cl), nitrites(NO_2), nitrates(NO_3), plomb »Pb), l'aluminium (Al) et l'arsenic(As) sont des paramètres dont la présence est indésirables dans l'eau potables n'empêche qu'ils peuvent exister. Mais avec des concentrations très faibles chacun est définit par une norme à ne pas dépasser (Benaouda, 2016).

3.4 Paramètres microbiologiques

L'eau doit présenter également une potabilité du point de vue microbiologique, elle doit être dépourvue de tout type de germes pathogènes (virus, Bactéries, protozoaires) qui peuvent causer une gêne ou des maladies infectieuses (Kouidri, 2006).

4. Pureté de l'eau

L'eau potable n'est pas souvent adéquate pour une utilisation directe dans certains domaines (industries, usages pharmaceutiques), car elle contient diverses substances indésirables, donc elle nécessite des traitements adoptés en fonction de l'usage auquel elle est destinée. Parmi les eaux purifier on peut citer : l'eau ultra pure, l'eau distillée et l'eau dé-ionisée (Guenouche, 2013)

4.1. Eau ultra pure

Cette eau est définie théoriquement comme étant une eau ne contenant que les molécules H_2O , en équilibre avec des ions H^+ et OH^- en très faibles teneurs (10^{-7} mol/l) à 25 °C lui assurant une neutralité (pH=7) (Guenouche, 2013). Dans la pratique, on appelle généralement « eau ultra pure », une eau contenant moins de 1.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb) d'impuretés ioniques ainsi qu'un très faible taux de particules et contaminants microbiens.

La production d'eau ultra pure passe par divers procédés constitués d'un enchaînement d'opérations unitaires. Les techniques les plus couramment employées sont : la microfiltration, l'ultrafiltration, l'osmose inverse, l'adsorption sur charbon actif, la stérilisation par rayonnement ultraviolet et l'échange d'ions. La figure 1 décrit un arrangement type de l'ensemble de ces opérations unitaires, avec une partie destinée au prétraitement et une partie qualifiée de finition (Monzie, 2003)

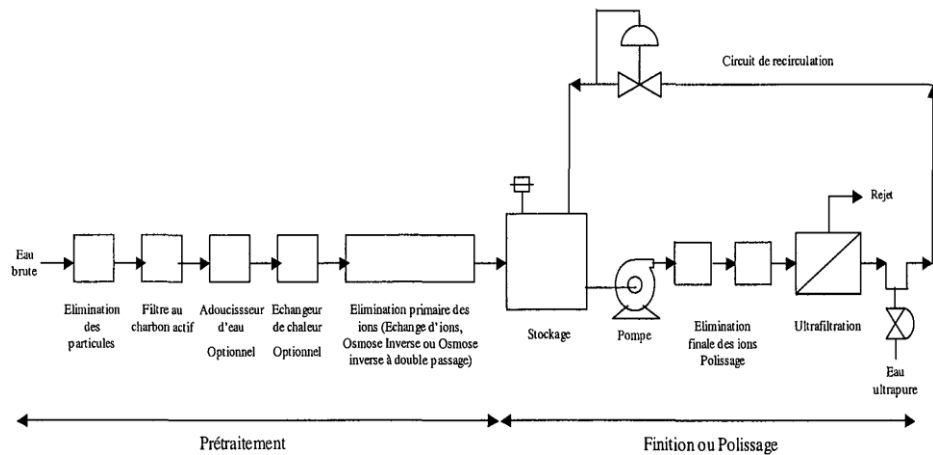


Figure 1 : Différentes étapes d'un procédé d'ultra purification de l'eau (Monznie, 2003).

La première étape dans ces systèmes est le prétraitement, il permet d'éliminer les contaminants qui risquent de perturber les traitements ultérieurs; on cite la clarification pour éliminer les matières en suspension, notamment les particules colloïdales, la décarbonatation à la chaux pour réduire la dureté de l'eau, une désinfection au chlore ou à la chloramine, pour détruire les bactéries et les particules organiques, une filtration sur sable pour la rétention particulaire ainsi qu'une adsorption sur charbon actif, qui est presque incontournable pour enlever le chlore et les matières organiques.

L'étape suivante est l'osmose inverse qui élimine 90 à 99 % de tous les contaminants présents dans l'eau. Elle constitue donc le cœur d'un système de purification, elle est associée à un stockage qui permet de satisfaire des débits importants ou des besoins réduits. L'eau obtenue par osmose inverse présente encore une salinité résiduelle non négligeable nécessitant un polissage sur résine à lit mélangé ou par électrodéionisation. Pour assurer l'affinage fin de l'eau, le système comporte également des microfiltres et des postes d'UV. Il convient de signaler que la qualité de l'eau obtenue ne peut être maintenue qu'en recyclant l'eau à travers divers procédés de purification, via le réservoir de stockage. Il est évident qu'il s'agit ici d'une présentation non exhaustive et qu'il existe d'autres combinaisons de procédés donnant la même qualité de l'eau (Guenouche, 2013).

4.2. Eau distillée

L'eau distillée est une eau qui a été portée à ébullition et dont les vapeurs ont été recondensé dans une unité de refroidissement (ondensateur) pour rendre l'eau à l'état liquide. Les polluants dissous comme les sels ne sont pas entraînés par la vapeur d'eau et restent dans le bouilleur. Si les polluants étaient volatils, ils pourraient être portés à ébullition et être recondensé et ainsi repolluer l'eau. Certains évaporateurs sont capables de condenser de manière sélective l'eau,

mais dans la plupart des processus de distillation, le transfert de quelques substances volatiles et d'un peu de matériel non volatile (porté dans le flot de vapeur d'eau) dans l'eau distillée est inévitable.

La pureté de l'eau distillée est d'ordinaire de 1.0 MWcm ; et puisqu'il n'y a aucune protection contre la dissolution du dioxyde de carbone (CO_2) dans le distillat, les valeurs du pH sont généralement comprises entre 4.5 et 5 (Bronkhorst, 2020).

La distillation peut se faire par deux procédés différents : le procédé de distillation par thermocompression et la distillation simple (voir figures 2 et 3).



Figure 2 : Procédé de distillation par thermocompression (Sahla, 2018).

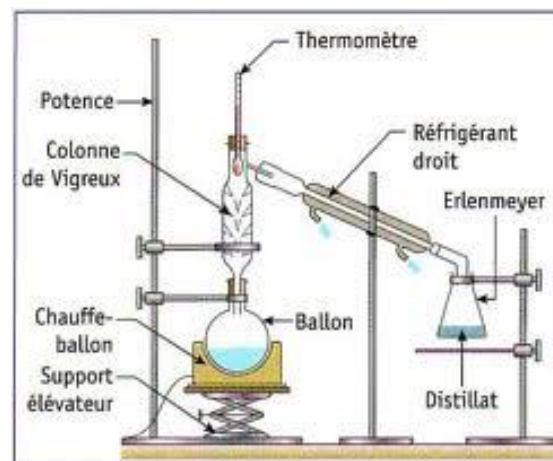


Figure 3 : Principe de la distillation simple (Taib, 2014).

4.3. Dé-ionisation

L'eau dé-ionisée ou également appelée eau déminéralisée est une eau qui ne contient en principe aucun ion ; par contre, il peut rester des matières non chargées. Le procédé utilisant un filtre au charbon actif permet d'éliminer les matières organiques par adsorption, et des résines échangeuses d'ions qui peuvent retenir les ions contenus dans l'eau. Il peut théoriquement enlever 100 % des sels. La dé-ionisation n'élimine pas les composés organiques, ni les virus ou les bactéries sauf par une prise au piège "accidentelle" dans la résine et particulièrement avec les résines d'anioniques de base fortes qui élimineront des bactéries gram-négatives. La dé-ionisation permet l'élimination de substances dissoutes (ionisées) électriquement chargées en les liants aux sites positivement ou négativement chargés, d'une résine lorsque l'eau traverse une colonne remplie de cette résine. Ce processus est appelé échange d'ions et peut être utilisé de différentes façons pour produire l'eau dé-ionisée de qualités diverses (Bronkhorst, 2020).

La figure 4 montre l'un des processus de production de l'eau dé-ionisée.

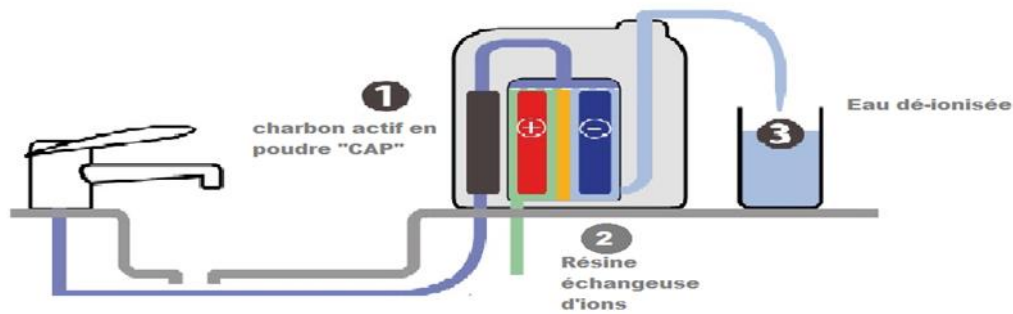


Figure 4 : Principe de la dé- ionisation des eaux (Rosenfeld, 2020).

4.4. Comparaison Eau dé-ionisée et eau distillée

La principale différence entre l'eau dé-ionisée et l'eau distillée est que l'eau distillée a généralement moins de contaminants organiques, la dé-ionisation ne retire pas les molécules non chargées comme les virus ou les bactéries. L'eau dé-ionisée a la plupart du temps moins d'ions minéraux, cela dépend de la manière dont elle est produite. La dé-ionisation est une production plus propre et laisse derrière elle moins de dépôts dans les installations dans lesquelles elle est utilisée. Lors de l'utilisation d'eau dé-ionisée, il faut tenir compte des matériaux de vos instruments. Tous les matériaux ne sont pas appropriés pour servir à la conduction d'une eau dé-ionisée, cela dépend également des températures employées car la température élevées et la nature des matériaux conduisent à une dégradation de la surface du matériau qui provoque la modification de la composition (chimique, organoleptique et microbiologique de cette eau) (Bronkhorst, 2020).

4.5. Utilisations courantes

L'eau dé-ionisée est employée à des fins industrielles et scientifiques parmi ces dernières on cite (Bronkhorst, 2020) :

- Applications et tests en laboratoire ;
- Eau de lavage pour la fabrication des puces électroniques ;
- Utilisations pour l'automobile, par ex. batteries acides au plomb et systèmes de refroidissement ;
- Alimentation des chaudières ;
- Découpe au laser ;
- Optimisation des piles à combustible ;
- Fers à vapeur et applications générateurs de vapeur ;

- Fabrication pharmaceutique ;
- Cosmétiques ;
- Aquariums ; Extincteurs d'incendie

Chapitre II

Adsorption-désorption

1. Charbon actif

En traitement des eaux, on utilise presque exclusivement le charbon activé comme adsorbant. C'est un matériau qui permet d'éliminer une grande quantité de polluants, il fait partie d'une gamme de substances présentant une très grande porosité et une surface spécifique importante de l'ordre de 500 à 1500 m²/g de charbon. Ces qualités confèrent au charbon actif un grand pouvoir d'adsorption. Ce processus physico-chimique est utilisé dans les filières d'eau potable pour fixer les substances impossibles à éliminer par un traitement classique (Asnoun, 2015). Un charbon actif (CA) est un matériau constitué essentiellement de matière carbonée et à structure amorphe composée principalement d'atomes de carbone (Kassouri, 2018).

1.1. Caractéristiques du charbon actif

A. Structure

Le charbon actif est un squelette carboné, qui a acquis une intense porosité. Sa structure est voisine de celle du graphite, elle se présente sous la forme d'un empilement de couches planes d'atomes de carbone ordonnées en hexagones réguliers. Cette structure définit des pores à l'intérieur de la particule de charbon (figure 5) (Asnoun, 2015).

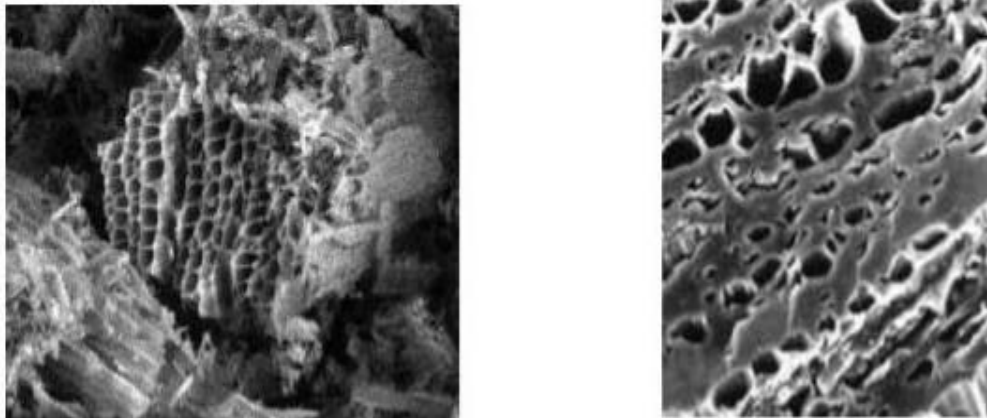


Figure 5 : Structure du charbon actif vu sous un microscope électronique à balayage (Sedira, 2013).

B. Propriétés physiques

L'adsorption est un phénomène de surface d'où l'intérêt de connaître les propriétés physiques des matériaux adsorbants : la porosité, la surface spécifique, les densités apparente et réelle (Boukrah, 2008).

- **Porosité** : elle est définie selon la classification recommandée par l'IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). Les tailles des pores sont réparties en 3 groupes (tableau 1).

Tableau 1 : Taille des pores et surface spécifique des charbons actifs (Beriber, 2016).

Types de pores	Diamètre (Å°)	Volume des pores (cm ³ . g ⁻¹)	Aire massique (m ² .g ⁻¹)
Micropores	< 20	0,2 – 0,6	400-900
Mésopores	20 – 500	0,02 – 0,1	20-70
Macropores	> 500	0,2 – 0,8	0,5-2

Le volume poreux et la distribution des tailles sont mesurés par adsorption d'azote à 77 °K et par porosimétrie au mercure (pour les macropores le volume poreux total des charbons actifs est de 0,5 à 1 cm³.g⁻¹ (50 à70 % en volume)). Les macropores sont essentiellement ouverts vers l'extérieur de la particule de l'adsorbant. Les pores de transition sont reliés aux macropores et ils contrôlent le passage des molécules à adsorber vers les micropores (figure 6) (Bamba, 2007).

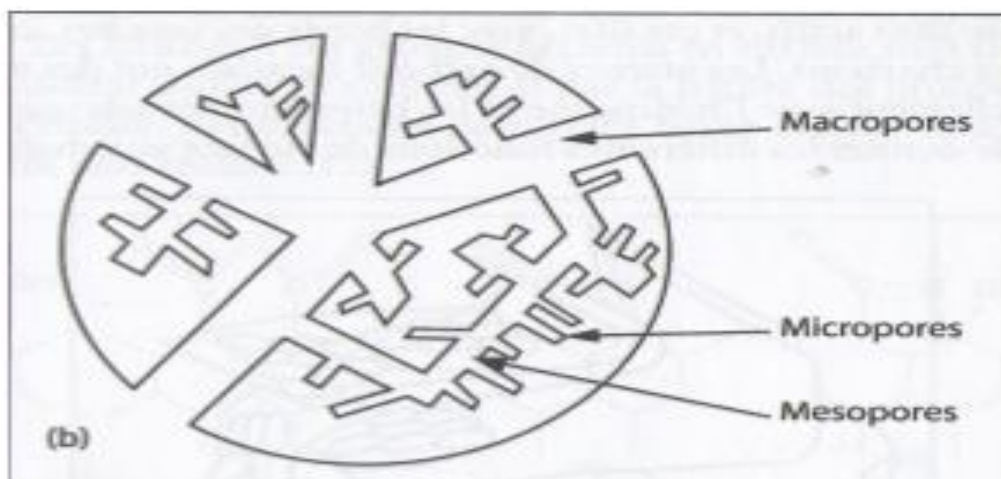


Figure 6 : Représentation schématique d'un grain de charbon actif et la structure des pores (Abdelbaki, 2010).

La caractérisation d'un charbon actif se fait par le calcul de sa porosité en suivant ces étapes (Loucif Siad, 2012).

- 1) Détermination de la masse volumique absolue avec le rapport suivant :

$$\rho_{abs} = \frac{m}{v_2 - v_1} \dots \dots \dots (03)$$

- 2) Détermination de la masse volumique apparente avec le rapport suivant :

$$\rho_{app} = \frac{m}{vt} \dots \dots \dots (04)$$

- 3) Détermination de la porosité à partir du rapport suivant :

$$= \left[\left(1 - \left(\frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right) \right) * 100 \right] \dots \dots \dots (05)$$

Avec:

ρ_{app} : Masse volumique apparente (g/cm³)

ρ_{abs} : Masse volumique absolue (g/cm³)

ϵ : la porosité (%)

v_1 : Volume initial d'eau distillée (ml)

v_2 : Volume de la solution eau & charbon (ml)

V_t : Volume de charbon actif en poudre (ml)

m : Masse de charbon actif après séchage (g)

- **Surface spécifique**

Correspond à la surface des pores par unité de masse. Elle est exprimée en (m²/g) en général, la capacité d'adsorption d'un adsorbant est proportionnelle à sa surface spécifique, plus la surface est importante, plus grande sera la quantité de molécules adsorbées. La surface spécifique comprend la surface externe et la surface interne d'un adsorbant (Benarima ,2017). Pour les charbons actifs, cette surface varie entre 100 et 2000 m².g⁻¹. Il est nécessaire de distinguer la surface interne de la surface externe d'un adsorbant. La première est la surface microporeuse représentée par les parois des micropores ; elle peut atteindre plusieurs mètres carrés par gramme. La deuxième est la surface non microporeuse qui comprend les parois des mésopores et des macropores (figure 7) (Loucif seiad, 2012).

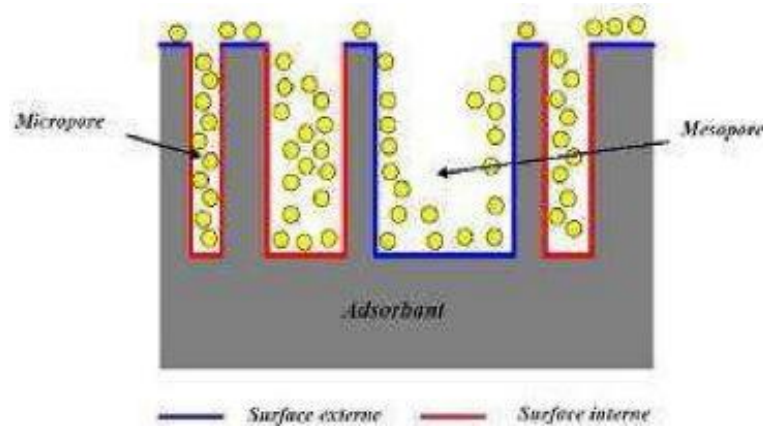


Figure 7 : Représentation schématique de la surface interne et externe d'un charbon

- **Densité apparente**

C'est un paramètre utilisé surtout pour les charbons actifs en grains, c'est le poids de charbon par unité de volume exprimé en kg/m^3 ou d'un certain cas g/cm^3 .

La densité indique le niveau d'activation du charbon, plus le charbon est activé, plus il est léger. Elle conditionne l'efficacité des traitements ; la densité du charbon actif utilisé pour le traitement de l'eau en générale est comprise entre $0,20$ et $0,55 \text{ g/cm}^3$ (Bounif, 2017 ; Jinyain, 2015).

- **Teneur en humidité**

Le taux d'humidité est un rapport exprimé en pourcentage, du poids de l'eau contenue dans le charbon actif, au poids du même matériau sec (Bounif, 2017).

- **Granulométrie**

Elle conditionne la vitesse d'adsorption (plus le grain est petit, plus le transfert vers le centre est rapide) et la perte de charge à travers le lit (Ismahane, 2013).

- **Teneur en cendres**

Elle est importante car elle peut gêner la mise en place du charbon. La teneur en cendres du charbon actif appliqué au traitement de l'eau devra être le plus bas possible, surtout si l'eau est dure, et en aucun cas, dépasser 10% (Jinyain, 2015).

1.2. Formes du charbon actif

Les différentes formes du charbon actif selon leurs applications, les CA sont généralement classés en fonction de leur apparence physique (Zeroual, 2007).

1.2.1. Charbon actif en poudre (CAP)

Les charbons actifs en poudre présentent une granulométrie inférieure à 100 μm (figure 8), avec un diamètre moyen situé entre 15 et 25 μm . Ils ont une surface externe et une faible profondeur de diffusion. Ce qui engendre une vitesse d'adsorption très rapide (Villa, 2003).



Figure 08 : Charbon actif en poudre (CAP) (Medekhél, 2018).

1.2.2. Charbon actif en grain (CAG)

La forme granulaire du charbon actif, est caractérisée par une taille de particule supérieure à 1 mm (figure 9), 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 vapeurs, ils sont couramment utilisés pour le traitement de l'eau (Yahiaoui, 2012).



Figure 9 : Charbon actif en grain (CAG) (Messaoudene, 2015).

Le charbon actif granulé est utilisé dans des différents types de traitements des eaux, il est reconnu comme étant le support le plus efficace pour l'adoption des goûts et odeurs. Son utilisation à plusieurs avantages et inconvénients (tableau 2) (Krazini, 2014).

Tableau 2 : Avantages et inconvénients des CAG (Bounif, 2017).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Le charbon actif granulé utilise sous forme de lit filtrant ➤ La durée de vie du charbon actif granulé dépend de l'abattement de la matière organique et du lissage des points de pesticide. Le choix du type de charbon actif est également déterminant sur le rendement de l'élimination. ➤ Le charbon actif granulé a une capacité d'adsorber une partie de presque toutes les vapeurs. ➤ Il a une grande capacité d'adsorption pour les substances organiques en particulier les solvants. ➤ Il retient un grand nombre de substances chimiques en même temps. ➤ Il fonctionne bien dans un domaine large de température et d'humidité. ➤ Il est inerte et on peut l'utiliser en toute sécurité. ➤ Il est facilement disponible et de bon marché ➤ Il est facile à manipuler ➤ Sa régénération est possible. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Durée de vie limitée ➤ Préfiltration : Les carburants dissous et matières en particules peuvent rapidement encrasser le charbon, nécessitant un prétraitement dans la plupart des cas. ➤ Il est plus coûteux que le charbon actif en poudre ➤ La cinétique d'adsorption est lente ➤ Déchets dangereux : tout le charbon doit être finalement jeté, il peut être jeté comme déchet dangereux, ce qui augmenterait le coût et responsabilité.

L'adsorption par le charbon actif présente le pouvoir d'être appliquée au traitement des sources à débit presque nul ainsi qu'aux concentrations très faibles ou fluctuantes.

L'adsorption permet d'apporter des réponses aux exigences réglementaires de certains usages ainsi que l'utilisation de ces adsorbants ont plusieurs avantages et inconvénients (tableau 3) (Stéphanie, 2006).

Tableau 3 : Avantages et inconvénients des CAP en comparaison avec les CAG (Sedira, 2013).

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Le charbon actif en poudre est 2 à 3 fois moins cher que le charbon en granulé ➤ Des quantités supplémentaires peuvent être rajoutées en cas de pointes de pollution accidentelles ou temporaires. ➤ L'adsorption est rapide dans la mesure où une grande partie de la surface de contact est directement disponible. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ le charbon actif ne peut pas être régénéré quand il est mélangé avec des boues d'hydroxyde. Il est difficile d'enlever les dernières ➤ traces d'impuretés sans ajouter une quantité très importante de charbon actif en poudre. ➤ la détection des pointes de pollution est problématique et sa concentration applicable est limitée à 80 mg. l⁻¹

2. Phénomène d'adsorption

Le terme d'adsorption est apparu en 1881, utilisé par KAYZER pour décrire le phénomène de condensation d'un gaz sur une surface, par opposition au terme « absorption » qui fait référence à une molécule de gaz qui pénètre dans le solide sans interagir, alors tout atome ou molécule qui s'approche d'une surface subit une attraction qui peut conduire à la formation d'une liaison entre la particule et la surface. Ce phénomène constitue « l'adsorption » (Benarima, 2017).

Dans l'environnement, l'adsorption est un procédé de traitement utilisé pour séparer ou éliminer une très grande diversité des composés toxique dans la nature (Loucif Seiad, 2012).

Cette technique est très fréquemment adoptée pour le traitement de l'eau et des effluents industriels (Boukhal, 2008).

L'adsorption est un phénomène de surface spontané par lequel des molécules de gaz ou de liquides se fixent sur les surfaces des solides selon divers processus plus ou moins intenses. Le terme surface correspond à la totalité de la surface du solide, surface géométrique pour un solide non poreux, à laquelle s'ajoute pour un solide poreux, la surface interne des pores, accessible aux molécules du fluide. Elle est traduite par une augmentation de la densité du fluide à l'interface des deux phases. Elle peut donc aller de quelques molécules sur la surface, puis une monocouche et jusqu'à plusieurs couches formant une véritable phase liquide, surtout dans les micropores (figure10). On appelle « adsorbat » la molécule qui s'adsorbe et « adsorbant » le solide sur lequel s'adsorbe la molécule. Le phénomène inverse par lequel les molécules se détachent est la désorption (Boukrah, 2008).

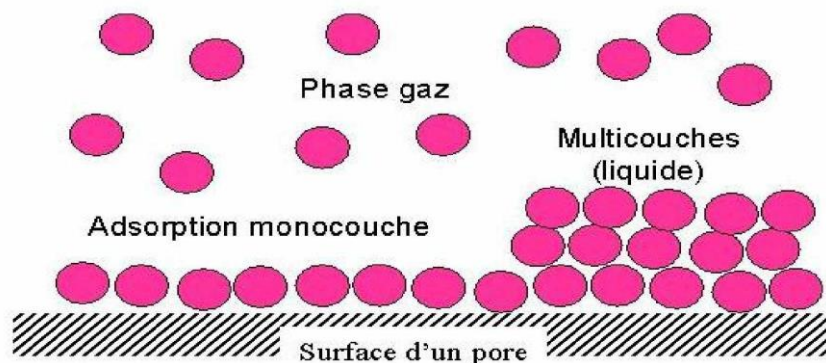


Figure 10 : Phénomène d'adsorption (Bamba, 2007).

2.1 Caractéristiques de l'adsorption

Selon les forces d'interaction intervenant entre les molécules de l'adsorbat et la surface d'adsorption (l'adsorbant), on distingue les types d'adsorption suivants (Terchi, 2009).

A. Adsorption physique (physisorption)

L'adsorption physique se produit à des températures basses. Les molécules s'adsorbent sur plusieurs couches (multicouches) avec des chaleurs d'adsorption souvent inférieures à 20 kcal/mol. Les interactions entre les molécules du soluté (adsorbat) et la surface du solide (adsorbant) sont assurées par des forces électrostatiques type dipôles, liaison hydrogène ou Van

der Waals (La liaison physique est plus faible) (Benamraoui, 2014). La physisorption est rapide, réversible et n'entraîne pas de modification des molécules adsorbées (Touati, 2014).

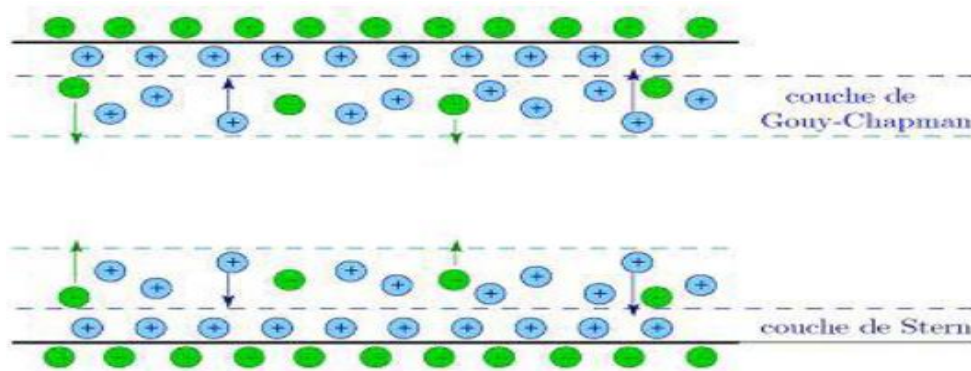


Figure 11 : Représentation graphique de la théorie de la double couche (Maloum, 2016).

B. Adsorption chimique (chimisorption)

La chimisorption est un phénomène qui met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbat et l'adsorbant. La chimisorption est généralement irréversible, et produit une modification des molécules adsorbées. Ces dernières ne peuvent pas être accumulées sur plus d'une monocouche. Par ce type d'adsorption, les molécules sont directement liées au solide. La chaleur d'adsorption, relativement élevée est comprise entre 20 et 200 Kcal/mol (Benamraoui, 2014).

2.2. Cinétique d'adsorption

Le phénomène d'adsorption, contrôlé par la diffusion des molécules, atteint son équilibre rapidement (quelques secondes à quelques minutes). Il peut se prolonger sur des temps très longs pour les adsorbants microporeux en raison du ralentissement de la diffusion des molécules dans ces structures de dimensions voisines du diamètre des molécules du fluide. Le processus d'adsorption passe par plusieurs étapes (Figure 13) (Boukrah, 2008).

- **1^{ère} étape (très rapide)** : transfert de l'adsorbat de la phase liquide vers la couche limite du film liquide liée à la particule solide (par convection ou diffusion).
- **2^{ème} étape (rapide)** : Transfert de l'adsorbat à travers le film liquide vers la surface externe de l'adsorbant.
- **3^{ème} étape (lente)**: Diffusion à l'intérieur de la particule d'adsorbant selon deux voies, sous l'influence du gradient de concentration.

- ✓ **3 a** : Sous l'état adsorbé, par diffusion de surface.
- ✓ **3 b** : A l'état libre, par diffusion de pore.

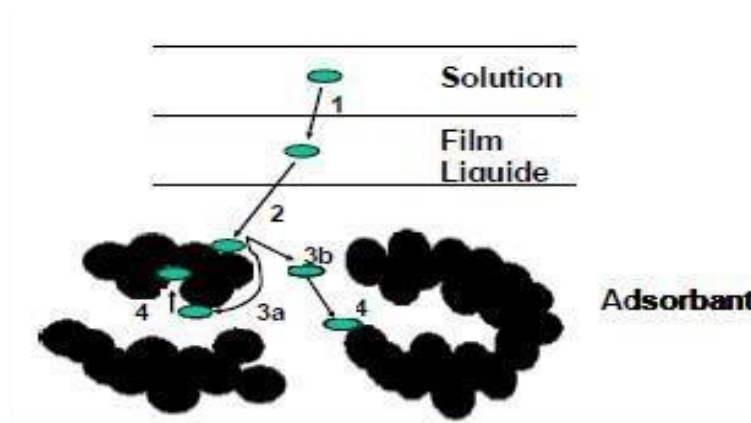


Figure 12 : Etapes de la cinétique d'adsorption (Medekhel, 2018).

2.3. Principaux types d'adsorbant

Autre que le charbon actif il existe d'autres types d'adsorbant utilisés en industrie, On cite les Zéolites, les alumines activées, les argiles et le gel de silice (tableau 4) (Messaudene, 2015).

Tableau 4 : Différents types d'adsorbant (Maloum, 2016).

Types d'adsorbants	Caractéristiques	
	Origine (précurseur)	Méthodes d'obtention et principales Caractéristiques
Charbons Actifs	Charbon ou matériaux végétal	- Préparés par pyrolyse. - Plusieurs centaines de qualités suivant le précurseur et les conditions de traitement.
Zéolites	Aluminosilicates cristallisés microporeux de formule globale $(AlO_2 M n SiO_2)$ (M est un métal ou alcalinoterreux, $n \geq 1$)	- Cristaux de synthèse - plus de 100 espèces différentes par la valeur de n et la structure cristallographique Les alumines activées Al_2O_3 .

Alumines Activées	$\text{Al}_2\text{O}_3, 5\text{H}_2\text{O}$	<ul style="list-style-type: none"> - Produit de synthèse - Surface couverte de groupements Al OH - Adsorption préférentielle par liaison hydrogène - Adsorbant amorphes, Moyennement polaire et hydrophiles. - Surface spécifique 150 à 300 m²/g.
Gels de Cilice	$(\text{SiO}_2)_n, (\text{H}_2\text{O})_x$	<ul style="list-style-type: none"> - Procédés hydrothermal (formation du $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ puis Polycondensation progressive). - Surface couverte de groupements Si OH. - Adsorption préférentielle par liaison hydrogène. - Surface spécifique 350à 800 m²/g
Noir Animal	Os d'animaux	<ul style="list-style-type: none"> - Carbonisation en absence d'air. - Surface spécifique de l'ordre de 120m²/g
Argiles Activées	Des aluminosilicates de formule brute proche des zéolithes	<ul style="list-style-type: none"> - Produits naturels, utilisés surtout pour le séchage. - Structure cristalline différente de celle des zéolites.

2.4. Facteurs influençant l'adsorption

Plusieurs paramètres influent sur l'adsorption, les plus importants sont (Sedira, 2013 ; Bounif, 2017 ; Maloum, 2016) :

- ✓ **Le pH** : Dans la plupart des cas, les meilleurs résultats sont acquis aux pH les plus faibles.
- ✓ **La Température** : la quantité adsorbée à l'équilibre augmente quand la température diminue, de plus, l'adsorption libère une chaleur d'adsorption comme toute réaction exothermique, elle est donc favorisée par les basses températures.

- ✓ **La Concentration** : plus la concentration du substrat est élevée plus la capacité d'adsorption est importante.
- ✓ **Nature de l'adsorbant** : l'adsorption d'une substance donnée croît avec la diminution de la taille des particules de l'adsorbant qui permet aux composés de la solution de pénétrer dans les capillaires de la substance.
- ✓ **Nature d'adsorbât** : toutes les substances ne sont pas adsorbables au même titre. La capacité de rétention d'un polluant est fonction de l'énergie de liaison de la substance à adsorber et la structure des molécules en plus de sa solubilité.
- ✓ **Polarité** : l'adsorption va être fortement influencée par les dimensions du composé à piéger (surface, volume), donc un soluté aura plus d'affinité pour un solvant ou pour l'adsorbant le plus polaire mais aussi par les groupements fonctionnels de la molécule.
- ✓ **Surface spécifique** : la surface spécifique est une donnée essentielle de la caractérisation des solides et des matériaux poreux.
- ✓ **Présence d'espèces compétitives** : en général la présence de la compétition diminue la capacité de chaque espèce sur l'adsorbant.
- ✓ **Masse de l'adsorbant** : la capacité d'adsorption est d'autant plus grande que la masse de l'adsorbant dans la solution est importante.

2. Désorption

La désorption est le phénomène inverse de l'adsorption, les liaisons ioniques entre ions, molécules et substrat se brisent et les ions ou molécules précédemment adsorbés se détachent du substrat. C'est un processus qui n'a pas été aussi bien étudié que l'adsorption, en particulier au niveau théorique (Beriber ,2016).

3.1. Aspect de base

Les principaux aspects à l'origine de la désorption sont classés en deux catégories physico-chimiques et physiques (Beriber ,2016).

A. Perturbation chimique

Lorsque la chimie de la solution qui sature le milieu poreux est soumise à des changements, une désorption des particules peut avoir lieu. Parmi ces changements, celui de la force ionique est le plus courant, de même des forces répulsives de la double couche (Beriber ,2016).

Des études montrent qu'une diminution de la force ionique engendre des conditions propices à la désorption.

En effet, en diminuant la force ionique des forces répulsives sont favorisées à tel point que les forces d'adhésion ne seront plus en mesure d'assurer l'ancrage de la particule sur la surface collectrice, à ce point-là on marque le début de la désorption. Au-delà de cette concentration critique, les forces de répulsions deviennent supérieures aux forces d'attraction.

- Un autre aspect concernant la force ionique est l'influence de la valence des ions sur le processus de désorption
- La littérature montre que lorsque les particules s'adsorbent en présence d'ions divalents, il est plus difficile de les désorber par rapport à des particules adsorbées avec des ions monovalente à force ionique égale. La variation du pH a aussi une incidence sur le processus de désorption, plusieurs travaux montrent qu'une augmentation du pH de la solution permet de désorber des particules (Beriber ,2016).

B. Perturbations physiques

Les perturbations d'origines physiques sont associées à la vitesse de l'écoulement et donc aux forces hydrodynamiques. L'augmentation de la vitesse de l'écoulement se traduit par la désorption partielle des particules ou les forces et le couple de trainée, joue un rôle important (Beriber ,2016).

3.2. Régénération

Le charbon actif est un adsorbant efficace pour l'élimination des composés organiques dissous dans l'eau. Néanmoins, ces adsorbants sont des produits coûteux et leur utilisation n'est économiquement viable que si leur régénération est possible. Une fois tous les sites d'adsorption remplis, le charbon actif est dit saturer ou sursaturé. Si le contact avec le fluide à traiter est maintenu, le charbon actif ne pourra plus jouer son rôle : d'une part, l'épuration n'aura pas lieu et, d'autre part, une désorption pourra se produire lorsque le matériau est mis en contact avec de l'air ou que la température ou l'hygrométrie varie. Il faut donc changer le matériau adsorbant saturé et devenu inefficace ou le régénérer pour une nouvelle application

La régénération, appelée aussi réactivation, consiste à désorber et/ou à détruire les molécules captées par le charbon actif. Plusieurs procédés existent (Guilane, 2016).

3.3. Différentes méthodes de régénération

Il existe un certain nombre de techniques de régénération des CA (extractive, thermique, chimique, électrochimique, ultrasonique, à la vapeur d'eau, par tirage au vide ou encore biologique).Plusieurs procédés existent parmi lesquelles on cite les méthodes par déplacement

du polluant et les méthodes par destruction du polluant (Figure 13) (Benhamed, 2015 ; Kassouri,2018).

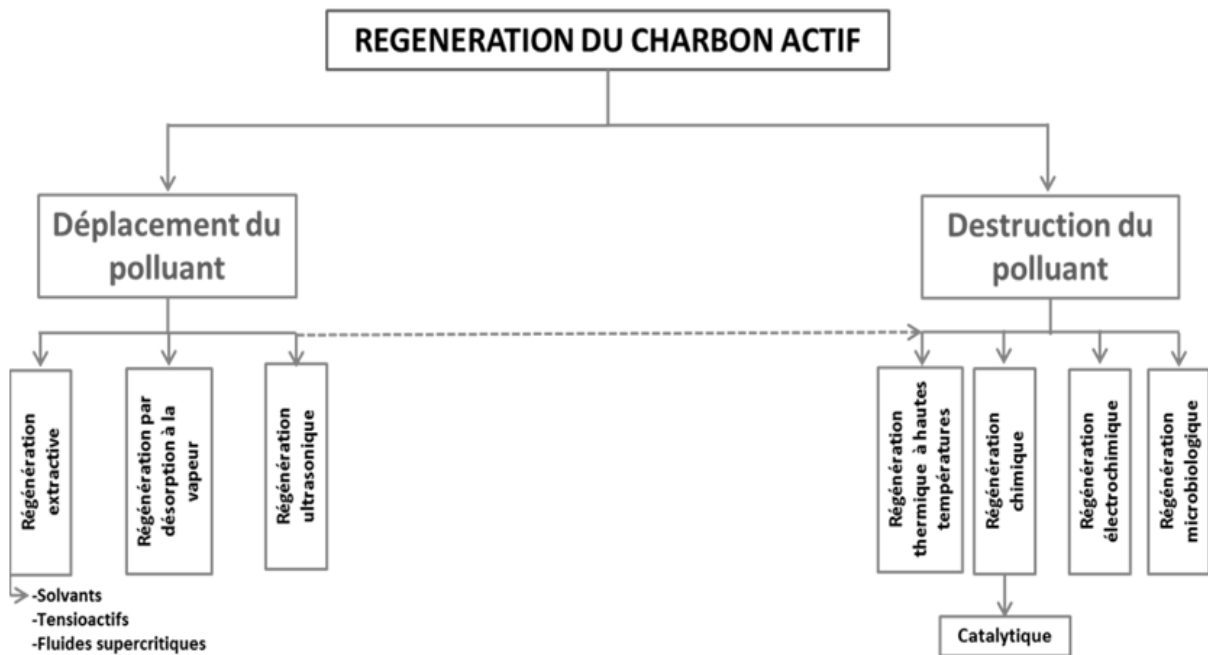


Figure 13 : Synthèse des techniques de régénération des charbons actifs (Benhamed, 2015).

3.3.1. Méthodes de régénération par déplacement de la pollution

Elles mettent en jeu un simple transfert des polluants vers un autre milieu.

A. Régénération extractive (oxydation humide)

Cette technique peut mettre en jeu un solvant organique volatil, un fluide supercritique comme le CO₂ ou une solution aqueuse chauffée à 150-200°C, pour extraire les polluants du charbon actif sous des conditions modérées de température et de pression. Des traitements nécessaires pour recycler le solvant (distillation) et détruire les polluants (par incinération). La présence de solvant résiduel peut aussi affecter les propriétés d'adsorption du charbon actif. L'utilisation de CO₂ supercritique (qui présente aussi l'avantage d'être un bon solvant avec les caractéristiques de transfert d'un gaz) permet d'éliminer ce problème tout en facilitant la séparation ultérieure des polluants extraits (par simple abaissement de la pression). Cependant, sa mise en œuvre reste coûteuse mais moins que les régénérations thermiques. Le rendement d'élimination du phénol lors de l'oxydation par de l'air humide en solution aqueuse peut atteindre 99,9% (Benhamed, 2015 ; Kassouri, 2018).

B. Régénération par désorption à la vapeur d'eau

Cette régénération thermique s'effectue à température assez faible, typiquement 105 à 140°C, permettant juste de déplacer l'équilibre d'adsorption. L'utilisation de vapeur d'eau assure que le mélange gazeux récupéré soit facilement condensable à une température de 15 à 20°C. Cette méthode est toutefois limitée à la régénération des charbons actifs qui ont adsorbé des composés très volatils (Benhamed, 2015).

C. Régénération ultrasonique (par micro-ondes)

Ultrasons est le terme employé lorsque l'on se réfère à des ondes vibratoires dont la fréquence est supérieure à la limite maximale de l'audibilité de l'oreille humaine (16 kHz). Ils ne présentent pas de différence physique avec les sons. Ils sont généralement classés en deux domaines suivant la puissance qu'ils peuvent transmettre au milieu réactionnel. La gamme de fréquence des ultrasons peut être divisée en ultrasons de diagnostic et ultrasons de puissance (Guilane, 2016).

L'usage des ultrasons (US) est également étudié pour la régénération du charbon actif, mais plutôt à l'état de recherches. Les US peuvent aider à désorber les polluants par effet thermique et mécanique. Cette méthode peut être aussi considérée comme destructive, du fait de la formation associée de radicaux $\text{OH}\cdot$ à partir des molécules d'eau, qui viennent oxyder les polluants (Benhamed, 2015). Les matériaux de charbon doivent être de bons absorbeurs de micro-ondes, où l'énergie fournie pénètre directement dans le lit de charbon. L'énergie micro-onde est convertie en chaleur dans la matrice CA. La régénération par micro-ondes nécessite moins d'énergie par rapport aux processus de régénération classiques et conduit à une meilleure récupération du charbon utilisé en termes de capacité d'adsorption (Kassouri, 2018).

3.3.2. Méthodes de régénération par destruction de la pollution

A. Régénération thermique à hautes températures

La méthode la plus courante est de chauffer à environ 900°C le charbon actif sous atmosphère contrôlée pour éviter de l'enflammer. Cette opération se fait dans des fours verticaux à plateaux où le temps de séjour est de 90 minutes. Le charbon actif est alors refroidi à l'eau via un trommel (pas de contact direct) tandis que les fumées subissent un traitement d'épuration humide. Cette méthode régénère parfaitement les charbons actifs. Ainsi, il est possible d'atteindre 100% de récupération de la capacité d'adsorption de CA. Cependant, cette méthode est très coûteuse car nécessite l'achat de plusieurs fours. De plus, il y a une perte de charbon de l'ordre de 7-10%. L'utilisation de fours électriques ou de résistances à l'intérieur des systèmes d'adsorption réduit ces pertes (Kassouri, 2018).

B. Régénération chimique

Elle s'effectue en présence de réactifs chimiques acides ou alcalins, permettant la dégradation des polluants adsorbés, voir leur minéralisation totale en eau et dioxyde de carbone. Cette régénération est souvent une oxydation, réalisée en utilisant soit l'oxygène de l'air sous pression et température modérée (entre 100°C et 250°C), soit des oxydants puissants comme l'ozone ou le peroxyde d'hydrogène aux conditions ambiantes, et éventuellement en présence d'un catalyseur métallique supporté ou non sur le charbon (Benhamed, 2015).

L'efficacité de ce type de régénération dépend donc de la solubilité et de la réactivité des adsorbants avec les réactifs chimiques, et du type de contaminant dans le courant alternatif épuisé. Une fois les contaminants éliminés chimiquement, les réactifs eux-mêmes doivent être retirés pour récupérer le CA régénéré à une efficacité de 70 % (Kassouri, 2018).

C. Régénération électrochimique

La régénération des charbons actifs par voie électrochimique peut être réalisée sous pression atmosphérique et à température ambiante, en présence d'électrolyte, tel que NaCl, Na₂SO₄ ou NaHCO₃. Une configuration assez souvent rencontrée utilise deux électrodes en platine et deux compartiments distincts. Les mécanismes impliqués correspondent à une électro sorption des polluants (suivie de leur destruction en phase liquide) et/ou à leur dégradation directement en phase adsorbée. L'efficacité de la technique dépend de plusieurs paramètres comme le choix de l'emplacement du charbon actif (à la cathode ou à l'anode, le premier étant préféré), le choix l'électrolyte (NaCl conduisant à de meilleurs résultats mais à la formation de composés organochlorés toxiques). Des taux de régénération jusqu'à 80% sont reportés pour le cas de charbons saturés par du phénol (Benhamed, 2015).

La régénération électrochimique s'effectue après l'adsorption et la sédimentation par gravité des contaminants dans l'eau. Dans ce processus, l'oxydation électrochimique à l'anode convertit les contaminants en dioxyde de carbone et en eau (Kassouri, 2018).

D. Régénération biologique

Elle est réalisée par l'action de microorganismes et résulterait de deux mécanismes principaux de biodégradation des polluants (biodégradable) : le premier en phase adsorbée, le second en phase liquide. Les enzymes excrétées par les bactéries agiraient directement sur les polluants adsorbés en surface du charbon. Cependant, il est indiqué que ces exoenzymes ne peuvent diffuser que dans des pores de taille supérieure à 10 nm, et que la biorégénération du charbon est une désorption du polluant suivie d'une dégradation en phase liquide dans des conditions opératoires (température, pH, présence d'oxygène dissous, de minéraux ...) et elle est limitée

en présence de polluants peu biodégradables ou lorsque les niveaux de concentration atteignent les seuils d'inhibition ou de toxicité (Benhamed, 2015).

Chapitre III

Matériel et Méthodes

1. Introduction

L'étude expérimentale de ce travail a été menée dans le laboratoire de recherche des milieux ionisés et lasers du Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA) d'Alger, sur une période d'un mois du 27/09/2020 au 26/10/2020 et aussi au niveau du laboratoire de traitement des eaux de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

2. Présentation du CDTA

Le Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA) est un établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST). Il a été créé en 1982 en tant que Centre de Développement des Techniques Avancées. Le centre est implanté géométriquement à Baba Hassan sur une surface de 14000 m² (figure 14).



Figure 14 : Photographie de l'entrée du CDTA

Le CDTA a pour mission essentielle de mener des actions de recherche scientifique, d'innovation technologique, de valorisation et de formation dans les domaines des sciences et des technologies de l'information, des technologies industrielles et de la robotique, des dépôts et des traitements des matériaux.

Les projets de recherche sont exécutés par vingt (20) équipes de recherche organisées au sein de (04) divisions de recherche qui sont :

- La microélectronique et la nanotechnologie
- L'architecture des systèmes et le multimédia
- La productique et la robotique,
- Les Milieux ionisés et Lasers où on a effectué notre travail.

3. Matériel

Nous donnons dans cette partie une description générale du matériel et des méthodes utilisées durant notre travail.

Appareillage

- ❖ Ultrason
- ❖ Conductimètre
- ❖ Etuve réglable
- ❖ Dessiccateur
- ❖ Agitateur magnétique
- ❖ Balance de précision ;
- ❖ Filtres
- ❖ Microscope Electronique à balayage (MEB)
- ❖ RAMAN
- ❖ Four à moufle

Verrerie et autre matériels

- ❖ Bêchers gradués ;
- ❖ Eprouvettes graduées ;
- ❖ Pissette ;
- ❖ Pince ;
- ❖ Spatules ;
- ❖ Erlenmeyers ;
- ❖ Fioles jaugées ;
- ❖ Verres de montres ;
- ❖ Haute chimique ;
- ❖ Entonnoir ;
- ❖ creusé ;
- ❖ lunettes de sécurité



Figure 15: Ultrason de marque

Reverberi



Figure 16 : Conductimètre de marque

Consort



Figure 17: Haute chimique



Figure 18 : Four à moufle

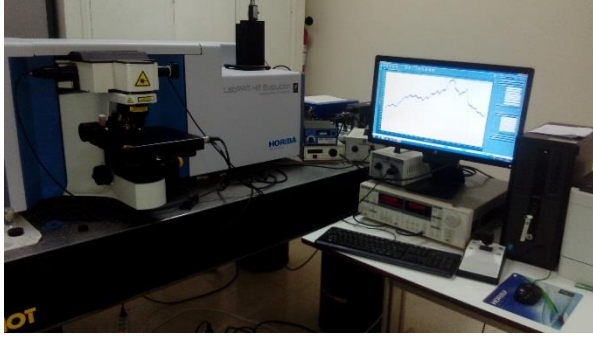


Figure 19 : Spectroscopie Raman



Figure 20: Microscopie électronique MEB de marque JEOL

A. Charbon utilisé

Le charbon actif utilisé au cours de ce travail est un charbon actif en grain saturé (figure 21), pris d'une cartouche utilisée (Purite Select) dans le désioniseur (PRESTIGE^{SATELLITE}RENAL REVERSE OSMOSIS UNIT). Un autre charbon actif commercial non saturé est utilisé comme charbon de référence afin de faire une comparaison par la suite.



Figure 21: Cartouche à charbon actif saturé

B. Eau utilisée

Dans l'objectif d'étudier la régénération du charbon actif des filtres du dé-ioniseur du laboratoire des milieux ionisés et laser du CDAT, il est important de connaître à la fois la composition de l'eau de robinet qui alimente le centre et l'eau après dé-ionisation, pour avoir une idée sur les éléments que le charbon actif des filtres a adsorbé.

La SEAAL nous a fourni les résultats des analyses des paramètres physicochimiques de l'eau de robinet de baba Hassen (voir annexe1), concernant l'eau dé-ionisée les paramètres sont indiqués dans le manuel d'utilisation de l'appareil (Renal Reverse Osmosis Unit).

La comparaison entre l'eau du robinet et l'eau dé-ionisée est résumée dans le tableau suivant (tableau 5). Ces résultats peuvent nous renseigner sur la variété et la quantité des éléments adsorbés par ce charbon.

Tableau 5 : Comparaison entre quelque paramètres de l'eau de robinet et eau dé-ionisée

Paramètres physico-chimique	Eau de robinet région baba Hassen		Eau dé-ionisée	Unités
	13/05/2015	18/05/2015		
Turbidité	3.0	1.9	/	NTU
pH	7.47	7.71	7	/
Température	22	23	de 0 à 35°C	°C
Conductivité électrique	1008	987	1-10	µs/cm
Nitrates	/	11	/	mg/l
Nitrites	<0.03	<0.03	/	mg/l
Orthophosphates	<0.04	<0.04	/	mg/l
Ammonium	<0.03	<0.03	/	mg/l

4. Méthodes

4.1. Détermination de l'humidité du charbon actif

L'humidité du CAG est déterminée par la différence du poids de l'échantillon avant et après le séchage à 105 °C pendant 20 min (voir schéma synoptique 22)

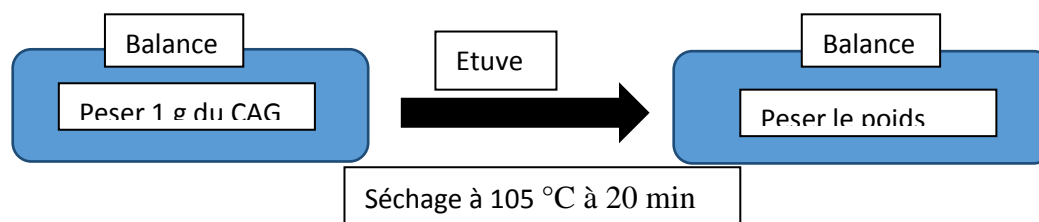


Figure 22 : Etape de détermination de l'humidité du charbon

4.2. Détermination de la porosité du charbon actif CAG

La porosité est le volume de vide contenu dans un volume total de solide. Elle est calculée par l'expression (05) citée dans le chapitre II.

a. Masse volumique absolue

La détermination de la masse volumique a été faite par la méthode de l'éprouvette graduée. Une masse donnée du CAG séché est introduite dans une éprouvette graduée, contenant un volume V_1 en eau distillée ; le volume final V_2 en présence du charbon est lu sur l'éprouvette graduée après un temps de stabilisation.

b. Masse volumique apparente

La mesure est faite aussi par la méthode de l'éprouvette graduée. L'éprouvette est remplie cette fois par un volume V connu de CAG séché, la masse du CAG est déterminée par pesée.

4.3. Méthodes de régénération utilisées

Au cours de ce travail de recherche quatre méthodes ont été utilisées pour la régénération du charbon actif : la méthode par ultrason, la méthode chimique, la combinaison des deux méthodes chimique et ultrasonique ainsi que la méthode thermique.

4.3.1 Méthode par ultrason

Afin de régénérer le charbon actif saturé avec la méthode par ultrason nous avons suivi le protocole suivant :

a. Fixation de la température et variation du temps de contact

La température fixée au préalable à 25 °C, Une masse d'1 g de CAG est séchée dans une étuve à 105°C pendant 20 min. l'échantillon est versé dans un bécher de 50 ml, ajusté avec de l'eau distillé jusqu'à 20 ml, le tout est introduit dans un appareil a ultrason. L'opération s'effectue à des intervalles de temps réguliers (5min, 10min, 15min, 20min et 25 min). La solution est filtrée par la suite, le filtrat est récupéré pour la mesure de la conductivité et le résidu sera conservé pour les analyses morphologiques et structurales par MEB et RAMAN (figure 23).



Figure 23 : Procédure de la méthode par Ultrason

b. Fixation du temps de contact et variation de la température

La même procédure est effectuée comme indiquée dans la section précédente (a), par contre le temps de contact dans l'ultrason est maintenu cette fois constant à 20 min avec une variation de la température à des intervalles fixés (25°C, 35°C, 45°C, et 55°C).

4.3.2 Méthode chimique

Le réactif utilisé pour la régénération du charbon actif saturé est l'hydroxyde de sodium NaOH (M= 40g/mol). Les solutions de l'hydroxyde de sodium ont été préparées à différentes normalités à savoir 0,25 N, 0,35 N, 0,45N et 0,55N.

Une fois les solutions préparées, nous avons suivi la procédure suivante (figure 24) :

- On a Pesé 1g de CAG saturé, et mettre ce dernier dans l'étuve pour séchage à 105°C pendant 20min,
- Nous avons Versé la solution de NaOH dans un erlenmeyer et rajouter le CAG et un barreau magnétique,
- La solution est agitée avec une vitesse de pré réglée à 2.5 tours par minute pendant 20min,
- Filtrage de la solution,
- Nous avons mesuré la conductivité des filtrats, et avons conservé les résidus après séchage pour une caractérisation avec MEB et RAMAN.



Figure 24 : Procédure de la méthode chimique

4.3.3. Combinaison des deux méthodes chimique et ultrasonique

Dans cette méthode nous avons préparés des solutions de NaOH à des concentrations identiques de 0.55N, cette valeur est choisie par rapport au travail précédent, ou nous avons trouvé le meilleur résultat du point de vu conductivité.

Les mêmes procédures ont été suivies dans cette partie de travail, à savoir les partie a et b décrites au-dessus en détails (voir section 2.6). Elles sont développées comme suit :

a. Fixation de la température et variation du temps de contact

- Nous avons pesé 1 g de CAG après séchage ;
- Nous avons mélangé avec 50 ml de solution NaOH à 0.55N dans un erlenmeyer ;
- Nous avons mis l'erlenmeyer dans l'ultrason à température ambiante et varier le temps de 5 min ; 10 min ; 15 min ; 20 min et 25min.
- Nous avons filtré la solution,
- Nous avons récupérer le filtrat et mesurer la conductivité,
- Nous avons conservé les résidus après séchage pour caractérisation avec MEB et RAMAN.

b. Fixation du temps de contact et variation de température

La même procédure est effectuée comme indiquée dans la section précédente (a), par contre le temps de contact dans l'ultrason est maintenu cette fois constant à 15 min avec une variation de la température à des intervalles fixés (25 °C ; 35 °C ; 45 °C ; 55 °C et 65 °C).

4.3.4. Méthode thermique

Cette méthode est réalisée en brûlant les matières organiques adsorbées par le charbon actif dans un four chauffé à différentes températures (525°C, 700°C et 900°C), en variant à chaque température le temps de calcination pour chaque échantillon (40 min, 60 min et 90min) sous une atmosphère contrôlée. L'opération s'est effectuée comme suit :

- Peser une masse de charbon actif
- Introduire dans le four dans un récipient approprié
- Récupérer le charbon après refroidissement
- Peser une autre fois pour estimer les pertes
- Verser 50 ml d'eau distillée dans un bécher puis rajouter 1g de charbon régénéré
- Filtrer la solution
- Mesurer la conductivité
- Caractérisation du charbon régénéré avec MEB et RAMAN.



Figure 25 : Procédure de la méthode thermique

4. 4. Techniques de caractérisation

a. Conductimètre

Un conductimètre est un appareil qui mesure la conductivité d'une solution. Il est constitué de deux parties : un boîtier électronique pour l'affichage des valeurs de la conductivité et d'une cellule pour la mesure. L'appareil mesure la tension aux bornes d'une cellule émergée dans la solution à étudier et l'intensité du courant qui y circule. Cette mesure se fait en courant alternatif pour éviter la polarisation des électrodes. L'appareil peut afficher la conductance ou directement la conductivité. Afin d'étalonner le conductimètre il faut avoir recours à des solutions étalons ou des solutions dont la conductivité est connue (IG Instrument, 2004).

b. Microscopie électronique à balayage (MEB)

Le microscope électronique à balayage (MEB) (ou SEM Scanning Electron Microscope) est un appareil, pouvant fournir rapidement des informations sur la morphologie et la composition chimique d'un objet solide. Son utilisation est courante en biologie, chimie, métallurgie, médecine, géologie...etc. Il faut savoir que le grandissement des microscopes optiques est limité à une valeur d'environ 1000 fois. En effet il n'est pas possible de séparer deux points plus proches l'un de l'autre que la longueur d'onde de la lumière utilisée. De plus la profondeur de champ aux forts grandissements devient très faible et nécessite alors des moyens plus sophistiqués.

Le MEB utilise un faisceau d'électron à la place des photons utilisés dans un microscope optique. Ceci permet de résoudre les deux inconvénients de la source lumineuse. La longueur d'onde du faisceau électronique est 100000 fois plus faible que celle de la lumière, et d'autre part l'ouverture de ce faisceau est très faible. Il en résulte que cette technique permet de faire des agrandissements jusqu'à 100 000 fois sur la plupart des matériaux solides (Egerton, 2016). Cette technique peut être utilisée pour plusieurs fins en plus de l'étude morphologique. Elle permet aussi d'avoir la taille des grains et la composition élémentaire. La figure 26, schématise le fonctionnement d'un microscope électronique à balayage.

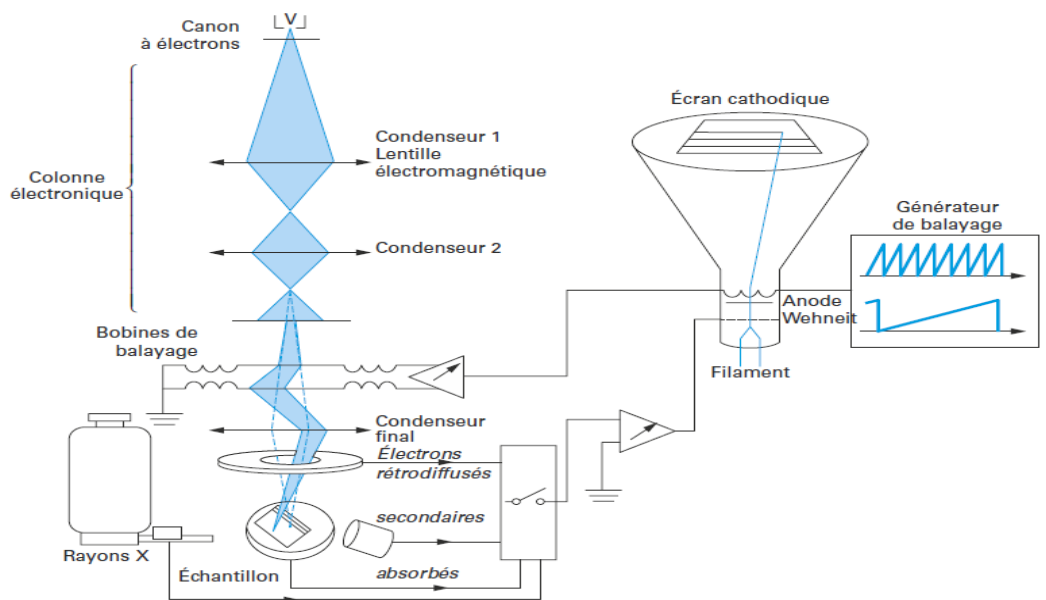


Figure 26 : Schéma de principe de microscope électronique à balayage.

c. Spectroscopie Raman

La spectroscopie de diffusion Raman permet de caractériser de manière non-destructive la structure moléculaire et la composition chimique des échantillons à l'état solide, liquide ou gazeux. Elle est utilisée pour l'étude des structures internes des molécules et fournit des informations sur les modèles moléculaires, l'espacement et la liaison. La complémentarité avec l'analyse infra-rouge permet une meilleure détection des vibrations en provenance de groupements peu polaires, par exemple C=C, S-S, etc.

En spectrométrie Raman, l'analyse se fait par excitation du matériau. Porté à un niveau énergétique virtuel par une puissante source lumineuse monochromatique de type laser, il réémet ensuite une radiation qui est collectée puis analysée par un détecteur adéquat voir (figure 27)(Smith, 2005)

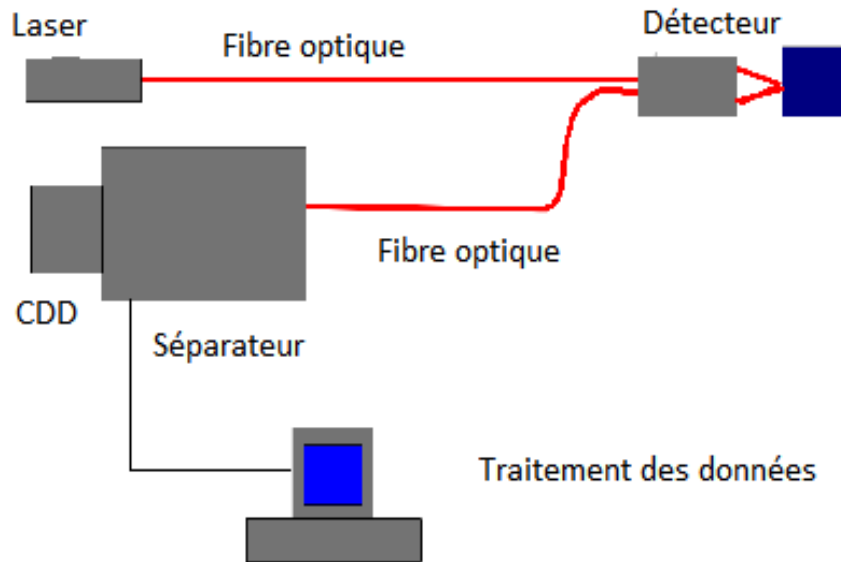


Figure 27 : Schéma de principe d'un spectromètre Raman.

Chapitre IV

Résultats et discussion

Dans ce chapitre nous présenterons les résultats de l'étude de la régénération du charbon actif granulé CAG par les méthodes de désorption utilisées : ultrasonique, chimique, combinaison de la méthode chimique et ultrasonique et enfin la méthode thermique.

La caractérisation morphologique a été effectuée grâce à la microscopie électronique à balayage (MEB) et spectroscopie Raman. Pour la détermination de l'efficacité de la régénération on a opté pour la mesure de la conductivité électrique et le calcul de la porosité avant et après la régénération.

1. Caractérisation du charbon actif saturé

1.1 Calcul de la porosité

La porosité du charbon actif saturé pris directement des filtres de la station sont calculés à partir de la masse volumique absolue et la masse volumique apparente, (équations 03,04 et 05 citées en chapitre II) illustre l'équation mathématique de la porosité. Les résultats sont rapportés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Masses volumiques et porosités du CAG saturé

Echantillons	porosité ε (%)	porosité moyenne ε_{moy} (%)
Ech1	23.07	27.28%
Ech2	23.07	
Ech3	35.71	

Les valeurs de la porosité sont comprises entre 23.07 % et 35.71 %, la porosité moyenne est de l'ordre de 27.28 %. Ces résultats montrent que la porosité du CAG saturé est faible par rapport aux valeurs rencontrées dans la littérature pour le charbon actif non saturé.

2. Méthode par ultrason

Pour cette méthode nous avons étudié l'effet du temps de régénération et celui de la température.

2.1 Effet du temps de régénération

A. Sur la porosité du CA

Les résultats de l'étude de l'effet du temps de régénération par la méthode ultrason sur la porosité du charbon actif sont illustrés dans le tableau 7 :

Tableau 7 : Masses volumiques et porosités du CAG après régénération par la méthode ultrason (effet du temps).

Echantillons	Porosité ε (%)
ech1- 10 min	50.00
ech2- 15 min	66.66
ech3- 20 min	75.00

En variant le temps de passage du CA dans l'appareil ultrason de 10 min à 20 min, on remarque que la porosité augmente de 50 % à 75 %. Ces résultats montrent que la régénération du charbon actif par cette méthode est favorisée positivement par l'effet du temps de passage ; Cela implique l'augmentation de la surface spécifique du charbon.

B. Sur la conductivité

L'étude de l'effet de la variation du temps de passage du charbon actif dans l'ultrason nous montre qu'il est proportionnel à la conductivité. Plus le temps de passage du charbon actif dans l'ultrason augmente plus la conductivité augmente (figure 28), ceci s'explique par l'effet physique ou mécanique des ondes ultrasonores qui affectent constamment la surface de l'adsorbant (CA). Ces effets engendrent un affaiblissement des liaisons entre les molécules de l'adsorbat et l'adsorbant, et favorise donc la désorption. Les ions et les impuretés sont résorbés ou détacher des pores du charbon actif et diffusés dans la solution. La courbe de tendance explique parfaitement l'influence du temps sur l'augmentation de la conductivité les valeurs suivent une loi polynomiale d'ordre 2, $C (\varepsilon \text{ s/cm}) = 0.025 t^2 + 0.0617t + 48.32$, avec un coefficient de corrélation égale à 0.99 ($R^2=0.99$).

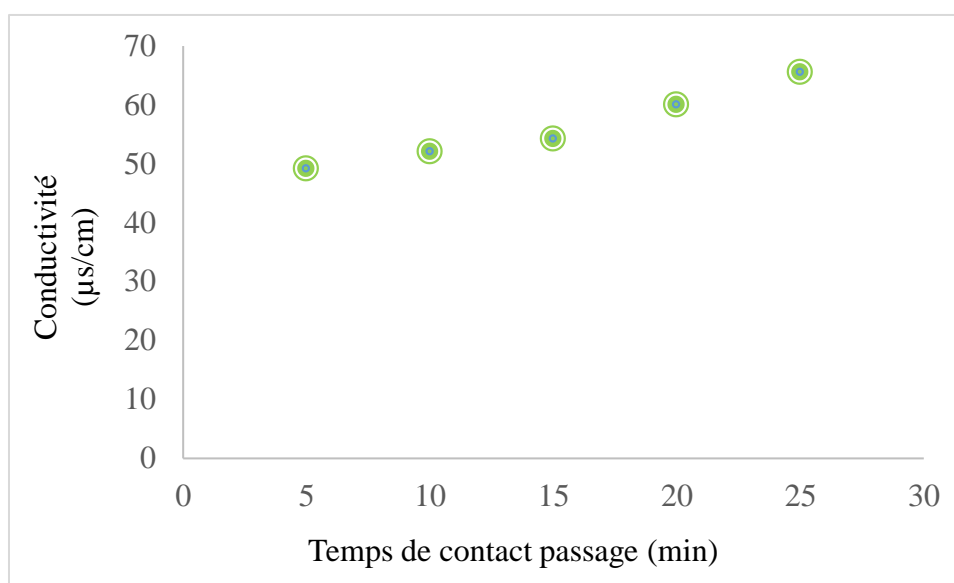


Figure 28 : Effet du temps de régénération sur la conductivité (méthode ultrason).

2.2 Effet de la température

A. Sur la porosité du CA

Pour l'étude de l'effet de la température nous avons fixé le temps de passage à 10 min et nous avons varié la température (25°C et 45°C). Les résultats de la porosité obtenus sont illustrés dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Masses volumiques et porosités du CAG après régénération par la méthode ultrason (effet de température)

Echantillons	porosité ε (%)
Ech 1-25°C	50
Ech 2- 45°C	66.66

La valeur de la porosité révèle un écart en travaillant à température à 25 et 45°C, on effect la porosité du charbon actif passe de 50 % à la température ambiante (25°C), à 66.66 % à une température plus élevée (45°C). Il est important de savoir que la méthode par ultrason est une méthode exothermique (l'ultrason libère de l'énergie sous forme de chaleur). La température joue un rôle important dans le phénomène de désorption, ainsi les ions et les molécules se détachent plus facilement sous l'effet d'une température plus élevée.

A. Sur la conductivité

La température est un paramètre majeur dans les processus d'adsorption et désorption (Loucif Siad, 2012). La figure 29 montre clairement que les valeurs de la conductivité augmentent avec l'élévation de la température. Les valeurs de la conductivité augmentent dans l'intervalle de température (25 °C à 55 °C). L'augmentation de la température peut évidemment favoriser la rupture des liaisons entre les impuretés et le charbon actif et accélère les phénomènes de diffusion. Par conséquent, la désorption, qui est un processus endothermique, est accélérée lorsque la vitesse des ondes augmente sous l'effet de température d'où la rupture et le détachement des impuretés du charbon et la libération des pores, de ce fait les molécules adsorbées sur cette zone passent dans la solution. L'amélioration de la désorption est due aux effets physiques et thermiques des ultrasons.

La baisse de la valeur de la conductivité à 65 °C peut être expliquées par une réadsorption, vu que les deux phénomènes sont réversibles, les impuretés reconstituent des liaisons avec le charbon actif et remplissent les pores qui étaient vidés après désorption.

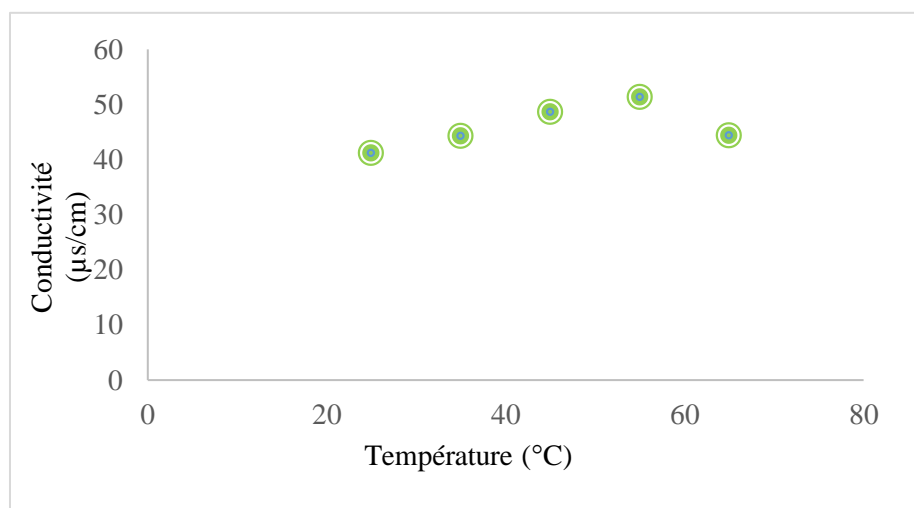


Figure 29 : Effet de la température sur la conductivité (Méthode ultrason).

La variation des valeurs de la conductivité en fonction de la température suit une courbe polynomiale d'ordre 3. ($C = -0,0009 T^3 + 0,1082T^2 - 3,7271T + 81,024$), avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0.993$.

Ces résultats confirment ceux de Guilane 2015, qui a montré que la température optimale de régénération est 45°C et le temps aussi affecte positivement la désorption sonolytique, mais y'a un optimum à prendre en considération afin que le phénomène inverse ne se produit pas.

3. Régénération par la méthode chimique

Pour cette méthode nous avons étudié seulement l'effet de la normalité sur la régénération du charbon saturé.

A. sur la porosité du charbon actif

Les résultats du calcul de la porosité du CA après régénération par voie chimique en utilisant NaOH à 0.35, 0.45 et 0.55 N sont illustrés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Masses volumiques et porosités du CAG après régénération chimique

Echantillons	Porosité ϵ (%)
Ech 1- 0.35	54.16
Ech 2-0.45	69.23
Ech 3-0.55N	78.57

On remarque que l'augmentation de la porosité et la concentration de NaOH pour la régénération est proportionnel à l'augmentation de la porosité du CA. La valeur de la porosité montre un résultat très élevé (78.57 %) pour une concentration en NaOH de 0.55N, ce qui nous permet de dire que l'augmentation de la normalité a un effet sur l'augmentation de la porosité d'une part et sur l'augmentation de surface spécifique d'autre part.

B. Sur la conductivité

Dans cette méthode nous avons étudié l'effet de la variation des normalités sur la régénération du charbon actif. La figure 30 montre clairement l'augmentation de la conductivité en fonction de la normalité des solutions NaOH utilisées.

Le NaOH est un électrolyte fort, sa présence dans la solution provoque un effet très réactif. Il agit directement sur les liaisons entre les polluants et le charbon actif, libérant des pores de ce dernier et augmente sa surface spécifique. Les ions et les impuretés diffusent dans la solution et engendre un accroissement de la conductivité en conséquence.

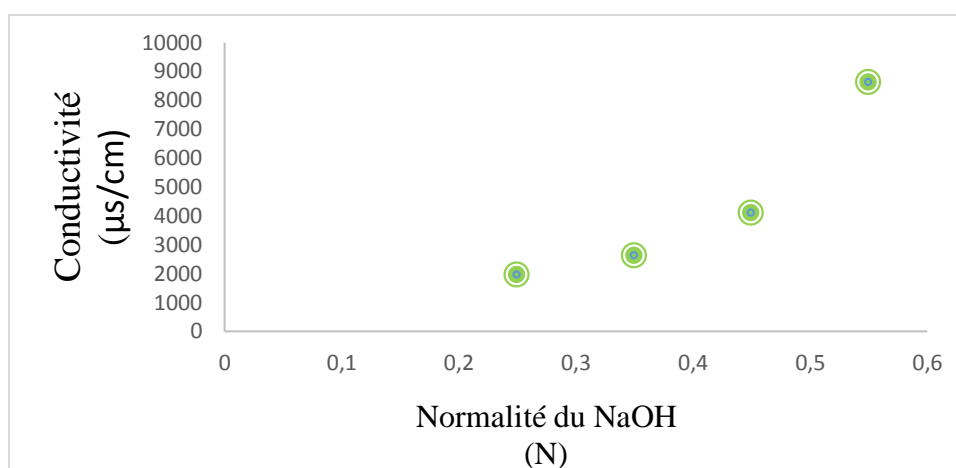


Figure 30 : Effet de la normalité de NaOH sur la conductivité (Méthode chimique).

La variation des valeurs de la conductivité en fonction de la normalité suit une loi polynomiale d'ordre deux $C = 96500T^2 - 55680T + 9950,7$. Selon la courbe de tendance tracée avec un coefficient de corrélation $R^2=0.9908$,

Les résultats qu'on a obtenus dans notre étude corroborent avec ceux de Salvador 2015, qui ont montré que les solutions tensioactives comme le NaOH sont une alternative possible qui améliore la désorption.

4. Combinaison de la méthode chimique-ultrason

Les résultats des deux méthodes (chimique et ultrason) précédentes séparément montrent une augmentation significative de la quantité de pollution désorbée en présence de l'hydroxyde de sodium (NaOH) pour la méthode chimique et les ultrasons pour la méthode ultrason. À partir de ces constatations, nous voulions examiner l'effet de leur combinaison en la régénération, pour cela, nous avons étudié l'effet de leur combinaison en variant la température et le temps de contact.

4.1. Effet du temps de régénération

A. Sur la porosité du charbon actif

Le tableau 10, représente les résultats obtenus après les calculs de la porosité du charbon après Régénération par les deux méthodes chimique et ultrasonique combinées.

Tableau 10 : Masses volumiques et porosités du CAG après régénération avec les deux méthodes chimique-ultrasonore "effet du temps "

Echantillons		Porosité ε (%)
Ech1	5 min	66.66
Ech2	10 min	80
Ech3	15min	70

Les valeurs de la porosité sont comprises entre 66.66% et 80%. Ces résultats montrent que l'augmentation du temps de passage du CA dans l'ultrason génère une augmentation de la porosité, elle favorise d'autre part l'augmentation de la surface spécifique. Il est remarqué aussi que la porosité diminue lorsque le temps de passage dans l'ultrason dépasse les 10 min. Cela est dû probablement au phénomène d'adsorption qui est un phénomène réversible.

B. Sur la conductivité

Les résultats expérimentaux, présentés dans la figure 31, montrent que l'introduction d'un électrolyte fort dans un milieu des ondes vibratoires entraîne une augmentation des valeurs de la conductivité jusqu'à atteindre une valeur maximale de l'ordre de 8910 $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 10 min. Cette augmentation s'explique par une libération des pores qui était occupés par les ions et d'autre impuretés. Un temps de contact plus long (>10 min) entraîne une baisse de valeur de la conductivité, ce qui probablement attribué à la réadsorption des molécules résorbées vu que les phénomènes (adsorption/désorption) sont réversible. Ces résultats confortent les données trouvées dans la section précédente. Nous pouvons conclure aussi que le temps de contact optimale pour la désorption est de 10 min dans les conditions opératoires.

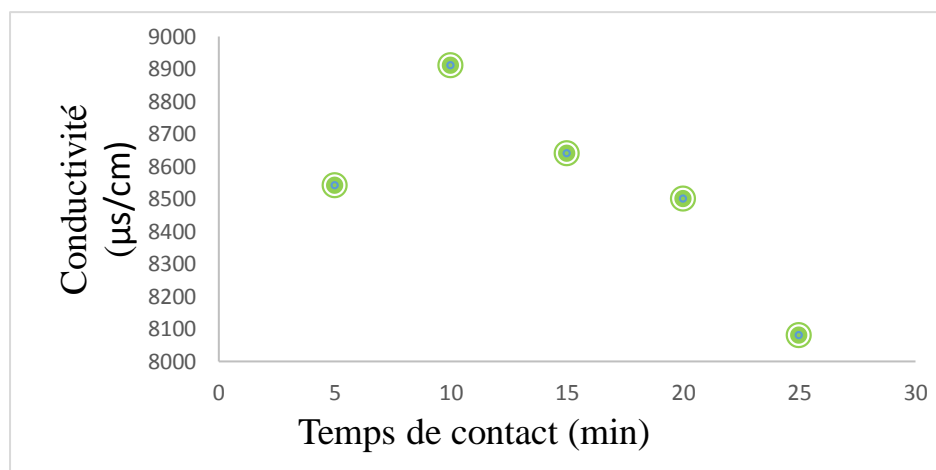


Figure 31 : Effet du temps de contact sur la désorption du CA (combinaison de la méthode chimique et la méthode ultrason).

La variation des valeurs de la conductivité en fonction du temps de passage dans l'ultrason suit une loi polynomiale d'ordre 2, $y = -4,1429T^2 + 97,686T + 8208$. Avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0.9087$,

4.2. Effet de la température

A. Sur la porosité

Le tableau 11 regroupe les résultats obtenus après le calcul de la porosité suite à la régénération par la combinaison de deux méthodes chimique et ultrason (régénération sonolytique). On peut noter que dans cette partie de travail, nous avons évalué l'effet de la température en utilisant le temps optimum trouvé dans la partie précédente.

Tableau 11 : Masses volumiques et porosités du CAG après régénération avec les deux méthodes chimique-ultrason "effet de température "

Echantillons	porosité ε (%)
Ech1 35°C	66.66
Ech2 45 °C	75.00
Ech3 55°C	70.00

Les valeurs de la porosité sont comprises entre 66.66 % et 75 %. Ces résultats montrent que l'augmentation de la température génère une augmentation de la porosité, et en résulte une augmentation de la surface spécifique du CA. Nous avons remarqué aussi que la porosité baisse lorsque la température dépasse cette valeur pour atteindre 70.

La température donc a un effet direct sur la régénération, l'optimum est à 45°C, après cette valeur le phénomène inverse se déclenche, c'est peut-être dû aux ondes de vibration qui peuvent provoquer aussi une augmentation de la température.

B. Sur la conductivité

Les résultats de la régénération sonolytique du CA est réalisée à des températures comprises entre 25°C et 65 °C ont montré deux allures de la courbe : un gradient positif et un gradient négatif. La rencontre de ces deux gradients exprime un pic de conductivité maximale (8770 $\mu\text{S}/\text{cm}$) mesuré à la température de 45°C. Le gradient positif est interprété conjointement par la réactivité chimique du NaOH et l'effet physique ou mécanique des ondes ultrasonores qui affectent constamment la surface de l'adsorbant (CA). Ces effets engendrent un affaiblissement des liaisons entre les molécules de l'adsorbant et de l'adsorbant, et favorise par conséquent la

désorption. Les ions et les impuretés sont résorbés et détacher des pores du CA, et diffusent dans la solution, d'où l'augmentation de la conductivité mesuré. Le gradient négatif apparait à l'intervalle de température (45-55°C). Nous remarquons une baisse de la valeur de la conductivité, cela s'explique par une réadsorption, vu que les phénomènes (adsorption/désorption) sont réversibles. En plus les températures élevées ont plus d'effet favorisant l'adsorption que la désorption. Entre (55 et 65°C) la valeur de la conductivité tend à se stabilisée, cela peut être expliqué par l'absence d'effet chimique de NaOH et physique des ondes à la fois à des températures très élevées. Autrement dit les températures élevées annulent l'efficacité de cette combinaison. Les pores du CA redeviennent donc partiellement saturés à cause de la dernière adsorption subie.

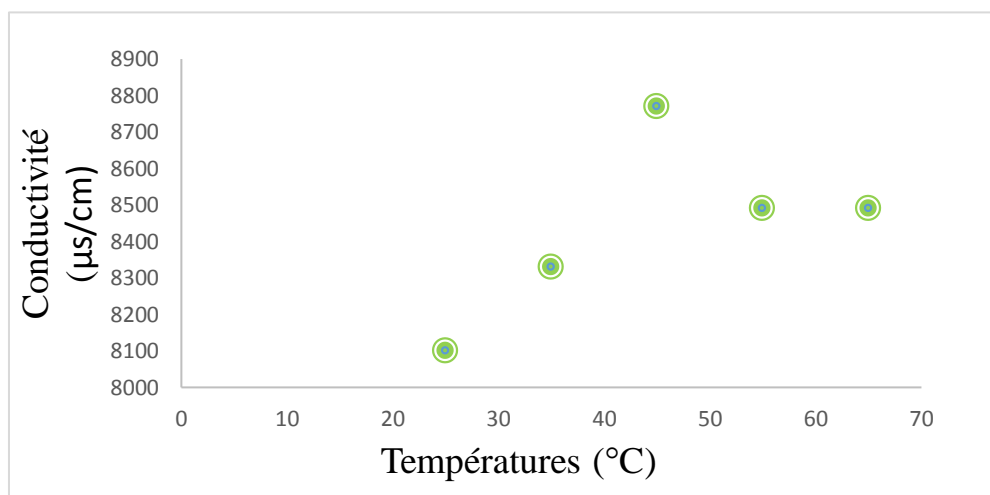


Figure 32 : Effet de la température sur la désorption du CA (combinaison de la méthode chimique et la méthode ultrason).

La courbe de température tracée nous montre que la variation de la température en fonction de conductivité sont le modèle d'une fonction polynomiale d'ordre deux, $(c(T))=0.8429X^2 + 85.257X + 6474.8$ avec un coefficient de corrélation $R^2=0.7776$.

5. Régénération par la méthode thermique

5.1 Effet du temps de la régénération

A. Sur la porosité

Le tableau 12 représente les résultats obtenus de la porosité après la régénération par la méthode thermique à une température de 900 °C en variant le temps de pyrolyse (40, 60 et 90 min). Les

valeurs de la porosité sont comprises entre 76.92 % et 84.61 %. Ces résultats montrent que l'augmentation du temps de passage du CA dans le four génère une augmentation obtenue de sa porosité, elle favorise d'autre part l'augmentation de la surface spécifique.

L'optimum de porosité est obtenu après l'incinération du CA à 900 °C pendant 90 min.

Tableau 12 : Masses volumiques et porosités du CAG après régénération avec la méthode thermique "effet du temps "

Echantillons	porosité ε (%)
ech1-40 min	73.07
ech2-60 min	76.92
ech3-90 min	84.61

B. Sur la conductivité

La représentation graphique de l'évolution de la conductivité en fonction du temps, pour les différentes températures, a permis de constater que le temps de passage dans le four a un effet directe sur la conductivité d'où l'augmentation de la porosité (figure 33).

- À 525°C : les valeurs de la conductivité augmentent légèrement dans l'intervalle de temps (40 min à 60 min) ceci est due au relâchement de certaines liaisons reliant l'adsorbant et l'adsorbat. Nous constatons après une baisse de la conductivité dans l'intervalle du temps (60-90 min) qui peut être due à une évaporation de la matière volatile sèche, ou les impuretés se volatilisent sans diffusion dans la solution. Dans l'ensemble, ces faibles valeurs de conductivité sont attribuées à une calcination et non pas à une thermolyse du charbon.
- A 700 °C : les valeurs de la conductivité augmentent avec l'augmentation du temps de passage dans le four, par conséquent la rupture des liaisons entre l'adsorbat et l'adsorbant est favorisée, d'où l'augmentation de la porosité et donc de la surface spécifique du charbon actif.
- À 900 °C : les valeurs de conductivité obtenues sont importantes de point de vu générale. Nous constatons que la valeur la plus élevée est enregistrée à 40 min, une légère baisse est remarquée après. Ces remarques indiquent qu'un temps de passage court dans le four favorise à la fois la rupture des liaisons entre les impuretés et le charbon. Le phénomène de diffusion et le long temps de passage dans le four, accélère la volatilisation des impuretés que la diffusion dans la solution.

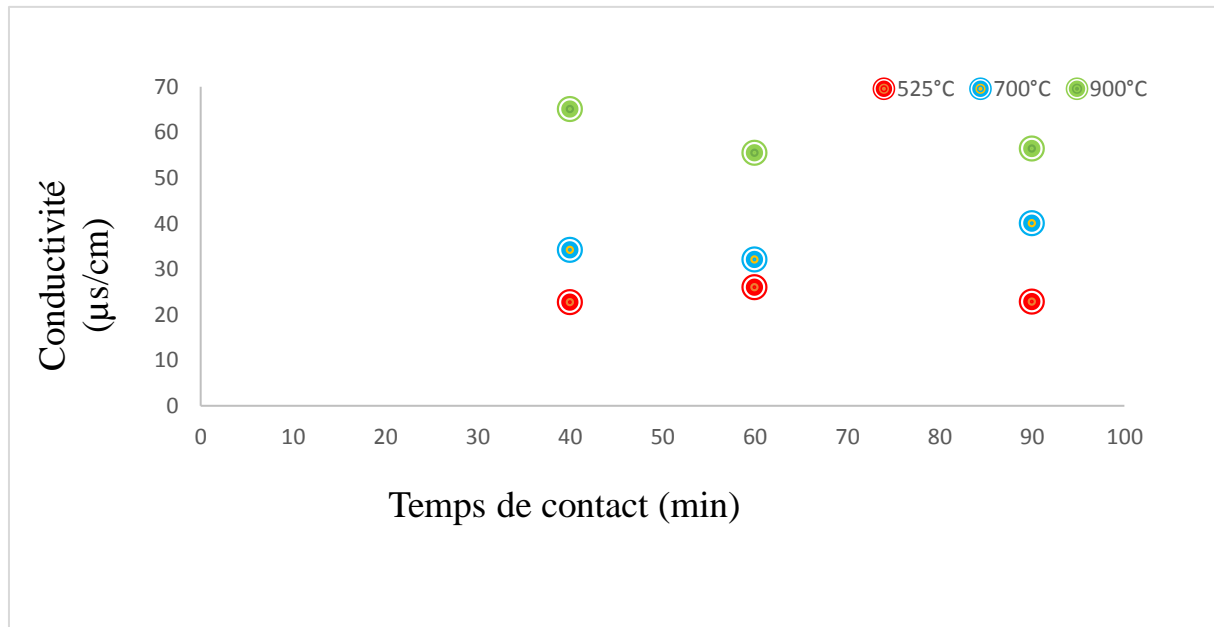


Figure 33 : Effet du temps de passage dans le four sur la régénération du CAG (Méthode thermique)

5.2. Effet de la température d'incinération

A. Sur la porosité

Le tableau 13 représente les résultats obtenus de la porosité après régénération par cette méthode. Les valeurs de la porosité sont comprises entre 33.33 % et 84.61 %. Ces résultats montrent que l'augmentation de la température lors du passage du CA dans le four, génère une augmentation considérable de la porosité, elle favorise d'autre part l'augmentation de la surface spécifique.

Tableau 13 : Masses volumiques et porosités du CAG après régénération avec la méthode thermique "effet de la température "

Echantillons	porosité ϵ (%)
Ech1- 525°C	33.33
Ech2- 700°C	50.00
Ech3- 900°C	84.61

B. Sur la conductivité

Les essais de désorption ont été réalisés en faisant varier les températures d'incinérations de ce charbon. Les résultats obtenus sont représentés dans la figure ci-dessous (figure 34). Nous constatons que les valeurs de la conductivité augmentent avec l'augmentation de la température d'incinération. La désorption est meilleure lorsque la température d'incinération avoisine les 900 °C, et cela pour tous les temps enregistrés. Ces valeurs sont peu importantes car plus les températures de passage dans le four augmentent plus les impuretés se volatilisent ce qui génère une forte porosité et une augmentation de la surface spécifique.

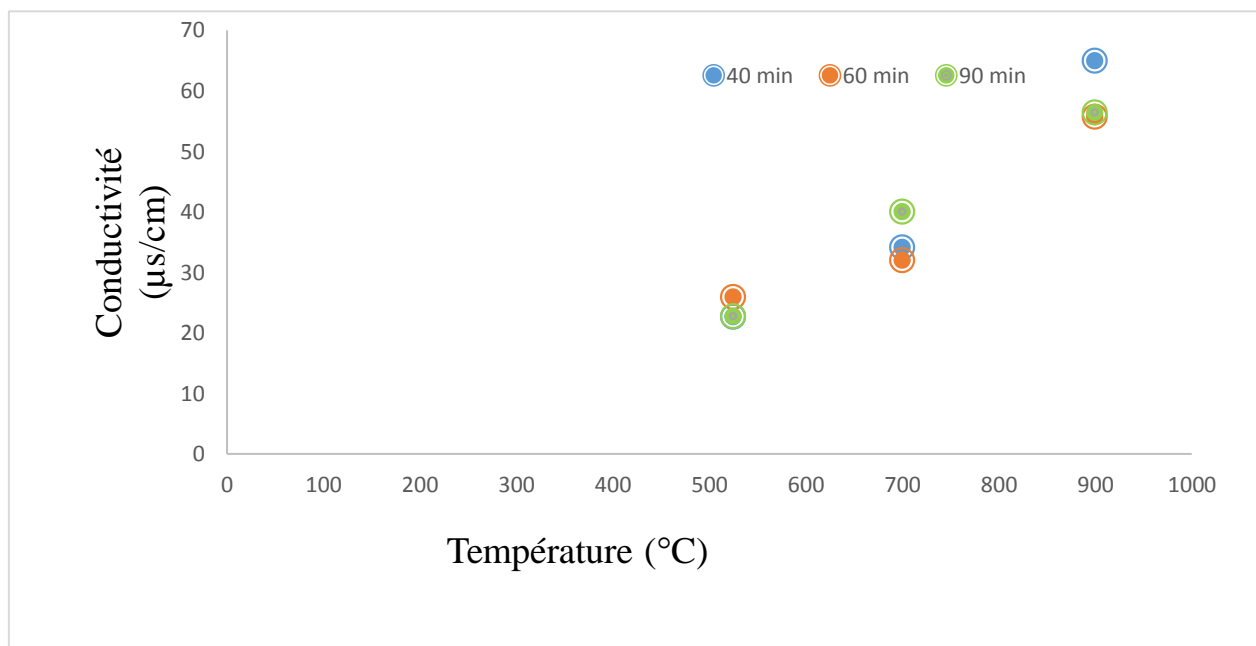


Figure 34 : Effet de la température sur la désorption du CA (Méthode thermique)

Les résultats qu'on a obtenus dans notre étude corroborent avec ceux de Ledesma 2014, qui ont montré que la régénération thermique du charbon actif se fait par thermolyse à des températures qui avoisine les 900 °C.

6. Calculs des rendements de régénération

L'objectif principal de ce travail est d'étudier la régénération du charbon actif par plusieurs méthodes : chimique, ultrason, ou thermique et combinaison entre méthode chimique et méthode ultrason (sonochimique). Afin de permettre de choisir parmi l'ensemble de méthodes utilisées, nous allons calculer le rendement pour chaque méthode par rapport à la porosité selon l'équation 06.

$$R(\%) = \left[\frac{CH_F - CH_I}{CH_F} \right] \times 100 \dots\dots\dots(06)$$

Avec :

R(%) : rendement

CH_F : charbon actif après régénération

CH_I : charbon actif saturé

Les résultats sont illustrés dans le tableau ci-dessous (tableau 14).

Tableau 14 : Rendement de chaque méthode de régénération

Méthodes	Porosité après régénération ε%	R%
Ultrasonores	75	63.62
Chimique	78.57	65.27
Combinaison (chimique-ultrasonore)	80	65.9
Thermique	84.61	67.75

Nous observons que les valeurs de rendement sont comprises entre 63.62 % et 67.75 %. Le meilleur rendement est obtenu en utilisant la régénération thermique (R= 67.75 %). La méthode par ultrason présente le rendement le plus faible (R= 63.62 %) mais, nous pouvons dire que ce résultat est très encourageant. La méthode chimique quant à elle, est très compétitive avec un rendement de l'ordre de 65.27 %, elle occupe un intérêt considérable dans les perspectives de ce travail. L'ensemble de ces résultats converge avec les travaux trouvés dans la littérature à ce sujet.

Conclusion

Conclusion

Conclusions

Dans notre travail de régénération du charbon actif en grain contenu dans des filtres d'une station de dé-ionisation des eaux, nous avons utilisé les méthodes : ultrasonore, chimique, thermique et combinaison entre les deux premières méthodes (sonolytique), et identifier l'efficacité de régénération de chaque méthode, et cela après optimisation de quelques facteurs (temps de passage, temps de contact et température) influençant cette désorption.

Les principales caractéristiques du charbon actif en grain utilisé dans cette étude ont été déterminées par microscopie électronique à balayage pour la morphologie. Aussi le calcul de la porosité et mesure de la conductivité en variant deux facteurs (temps de passage ou contact, et température) pour apprécier l'effet de leur variation sur la désorption.

La spectroscopie Raman a été utilisée pour analyser la nature de l'adsorbant analysé en fonction des longueurs d'onde. Elle nous a permis d'identifier deux précurseurs, le noir d'ivoire et le carbone, bandes principales caractérisant un charbon actif.

Les quatre méthodes utilisées affirment la possibilité de régénération de ce charbon. Les résultats obtenus montrent que :

- La température et le temps de passage de l'échantillon dans l'ultrason favorisent la désorption et accélèrent le phénomène de diffusion des ions dans la solution, que la température a aussi un effet sur la vitesse des ondes d'où l'intensification du phénomène de désorption. Et plus le temps de passage de l'échantillon dans l'ultrason est long une meilleure régénération du charbon actif est obtenue.
- L'hydroxyde de sodium a un effet direct sur la régénération du charbon actif. La désorption des polluants est améliorée avec l'augmentation de la concentration des solutions de NaOH.
- La régénération sonochimique de ce charbon est liée aux effets mécaniques et physiques de l'ultrason ainsi que l'effet chimique du NaOH. La présence de ce dernier dans la solution de régénération peut interférer avec l'introduction des ultrasons dans le système de désorption et par conséquent elle peut réduire les effets physiques des ultrasons.
- L'étude de la régénération de ce charbon en combinant les deux méthodes (chimique et ultrasonore) n'a pas donné l'effet souhaitable.
- L'application d'une thermolyse à 700°C-900°C a un effet favorisant sur la désorption. La calcination à 525°C n'a pas d'effet positif sur la désorption.

Conclusion

- Le calcul du rendement des méthodes révèle que la meilleure méthode de régénération de ce charbon est la méthode thermique.

En perspectives

- Faire une comparaison d'adoption en utilisant du charbon actif commercial non utilisé (non saturé) et les charbons régénérés par les différentes méthodes.
- L'amélioration de ce travail peut se faire en étudiant d'autres combinaisons.
- Faire les essais de désorption pour la méthode chimique en utilisant d'autres réactifs entre autre un acide fort.

Références bibliographique

Références bibliographiques

- Abdelkarim. R**, 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 (Algérie). (153)
- Abdennour. N, Ait Namane. T**, 2015. Etude comparative de la qualité physico-chimique et bactériologie des eaux mises en distribution de la ville de Tizi-Ouzou (Barrage de Taksebt et forage de Boukhalfa). Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou (Algérie). (67)
- Arab. L, Oudafal. N**, 2015. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux brutes et traitées du barrage de TAKSEBT de la ville de Tizi-Ouzou, Mémoire de Master, Université Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou (Algérie). (75)
- Asnoun. S, Mehami. A**, 2015. Adsorption de l'acide acétique et du méthanol sur charbon actif issu du roseau commun et du grignon d'olives, Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou (Algérie).
- Bamba. D**, 2007. Elimination du diuron des eaux par des techniques utilisant les ressources naturelles de la côte d'ivoire : photocatalyse solaire et charbon actif de coques de noix de coco, Thèse de doctorat, Université de Cocody Abidjan et de Metz. (Côte d'Ivoire) (52), P: 9,13
- 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 UFAS (Algérie). (93), p : 11
- Benaouda. W**, 2016. Etude qualitative physico-chimique de l'eau de la ville de Tlemcen destinée à la consommation humaine et aux nourrissons, Mémoire de Master, Université de Tlemcen (Algérie). (100)
- Benarima. Ab-H, KOUADRI. M-R**, 2017. Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir de coquilles d'œufs, Mémoire de Master Académique, Université Kasdi Merbah Ouargla (Algérie). (39)
- Benhamed. L**, 2015. Amélioration par ajout d'un métal de transition de la régénération in situ d'un charbon actif par oxydation catalytique, Thèse de Doctorat, INP Toulouse (France). (208), p : 26-29

- Berber. A**, 2016. Etude de l'adsorption et de la désorption de l'amoxicilline sur un charbon actif à base de pédicelle de datte, Mémoire de Magister, Université des sciences et de la Technologie Houari Boumediene (Algérie).
- Bernard. F *et al.***, 2003. Qualité de l'eau. P: 334
- Berrouane. N, Khoumeri. M**, 2018. Impact des rejets de STEP de la ville de Tizi-Ouzou sur la qualité biologique des eaux de consommation : Cas des forages de Boukhalfa. Mémoire de Master, Université de Tizi-Ouzou (Algérie). (43)
- Bouchemal. F, Achour. S**, 2007. Essais d'adsorption de la tyrosine sur charbon actif en grains et en poudre, Mémoire de Master, Université de Biskra (Algérie). (89)
- Boulkrah. H**, 2008. Etude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants, Mémoire de Magister, Université 20 août 1955 Skikda (Algérie). (139), P : 49,50, 58
- Bounif. R**, 2017. Conception d'une colonne à lit fixe au charbon actif granulé appliquée à l'étude dynamique de l'adsorption de bleu de méthylène, Mémoire de Master, Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira (Algérie). (74), P : 4, 5,39
- Chaden M**, 2014. Evaluation de la qualité de l'eau du bassin supérieur de la rivière du Litani, Liban : approche hydrogéochimique, Université de Lorraine (France). (268)
- Depiereux L *et al.***, 2013. Technologie de purification de l'eau à moindre coût. P: 5-7, 15
- Egerton. R**, 2016. Physical principal of electron microscopy: an introduction to TEM, SEM and AEM 2^{ème} edition New York: spinger ISBN 978-3-319-39876-1. P196
- Guenouche. H**, 2013. Etude du procédé combiné Electrodéionisation-Cogénération etanalyses physico-chimiques des eaux ultrapures de Cevital, Mémoire de Master
- Guilane. S**, 2016. Régénération sonolytique d'un charbon actif en grain saturé par un composé phénolique dans divers types de réacteur, Thèse de Doctorat 3ème Cycle, Université Badji Mokhtar-Annaba (Algérie). (121), P : 12,14
- Hamadou. H**, 2020. Analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de STEP Boumerdes (w. boumerdes). Rapport de soutenance de licence, Université Akli Mohand Oulhadj-Bouira (Algérie). (47)
- Ilourmane. A, Megdoul. K**, 2016. Contribution à l'étude de la qualité des eaux du sous bassin hydrographique de Souk el Djemaa, Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou (Algérie). (61)

INRS, 2006. (Institut national de recherche et de sécurité), Traitement des gaz dangereux ; aptes sur les lieux de travail. ED 4263

Ismahane. A, Guerradi. H, 2013. L'utilisation industrielle du charbon actif, Mémoire de Licence, Université Amar Thladji Laghouat (Algérie). (26)

KASSOURI. A, KHELIFI. C, 2018. BIO-RÉGÉNÉRATION DU CHARBON ACTIF, Mémoire de Master, Université A. MIRA – BEJAIA. (Algérie). (78), p : 21, 24,28-30

Kouidri. N, 2006. Etude et traitement de l'eau du barrage Djorf-Eltorba de la Wilaya de Béchar par filtration sur sable, Mémoire de Magister, Université Hassiba Benbouali de Chlef (Algérie). (128)

Krazini. L, 2014. Elimination d'un colorant anionique par adsorption, Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem (Algérie). (13)

Loucif-Siad. M, 2012. Contribution à l'étude de l'adsorption et de la bioadsorption du phénol sur charbon actif granule en batch, Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger (Algérie). (91)

Lu Jinyon, 2005. ENGREF (Ecole National du Génie Rural des Eaux et des Forêts), Etude comparative sur les charbons actifs, Synthèse technique.

Mahmoud. T et al., 2014. Préparation et caractérisation d'un charbon actif à partir de la coquille d'amande (*Prunus amygdalus*) amère, Université M'hamed Bougara, Boumerdès (Algérie). (501)

Maloum. T, Fenek. S, 2016. Adsorption des colorants sur charbon actif issue des tiges de datte et la bentonite, Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou. (Algérie). (55)

Medekhel. A, 2018. Adsorption du bleu de méthylène par charbon actif, Mémoire de Master Académique, Université Echahid Hamma Lakhdar -El Oued (Algérie). (59)

Messaoudene. H, Rekibi. S, 2015. Adsorption du phénol et du benzène sur charbons activés issu du bois de chêne zeen et du grignon d'olives, Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou (Algérie). (26)

Monzie I, 2003. Echange d'ions pour la production d'eau très pure, Etude des limitations cinétiques par la méthode des micro-colonnes Extension à l'électrodéionisation, Thèse de Doctorat, institut national polytechnique, Lorraine (France). (252)

Sahla. S, 2018. Traitement d'eaux pharmaceutique. Mémoire de Magister, université Badji Mokhtar, Annaba (Algérie). (30)

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 (Algérie). (119), P: 45, 53, 56

Smith. E. Dent, 2005. Modern Raman spectroscopy: a practical approach Chichester: Jhon Wiley & Sons ISBN 0-471-49668-5. P225

Taib. A, 2014. Etude des performances de fonctionnement d'un distillateur d'eau modèle GFL 2004, Mémoire de Master, Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen (Algérie). (60), P : 21

Terchi. S, 2009. Adsorption du bore en solution aqueuse essais de dépollution, Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine (Algérie). (83), P : 15

Touati. F, 2014. Modélisation et optimisation de l'adsorption du phénol par une algue marine, Mémoire de Master, Ecole Nationale Polytechnique, Alger (Algérie). (45), P : 6

Villa. P, 2003. La culture de l'olivier. Edition De Vecchi S.A. Paris. (78)

Yahiaoui. N, 2012. Etude de l'adsorption des composés phénoliques des margines d'olives sur carbonate de calcium, hydroxyapatite et charbon actif. Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou (Algérie). (80)

Zeroual. S, Hazouri. S, Guerfi. K, 2007. Caractérisation de charbon actif fabriqué à base de

Site Web

Bronkhorst, consulté le 05-11-2020. connaissez-vous-la-difference-entre-l-eau-demineralisee-et-l-eau-distillee.

NHA Naturolistique. La résistivité de l'eau et la conductivité de l'eau déterminent sa pureté. Consulté le 05-11-2020

IG Instruments, 2004. Consulté en ligne sur : <https://www.igz.ch/downloads/8525/Conductivite%20et%20Resistivite%20de%20l%20eau%20distillee%20et%20demineralisee>

John. C, 2020. Régénération du charbon actif.

Annexes

Annexe1 : analyses des paramètres physicochimiques de l'eau de robinet de baba Hassen



97 Parc Ben Omar, BP 49
16050 Kouba - Alger
Tel +213 (0)21 98 68 03
Fax +213 (0)21 68 97 52



Devis/Contrat : **2015D050069**
Echantillon enregistré le : 13 mai 2015 11:42
Echantillon N° : **305391**

CLIENT PRIVE 2015 LABO CENTRAL
Client prive 2015 labo central
-
Algérie

Rapport d'essai 2015 / 305391 - 00

Alger, le lundi 8 juin 2015

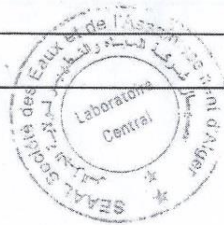
Prélevement du : 13/05/2015 Date début Analyse : 13/05/2015
Prélevé par : Vos Soins Conditionné par : Vos soins
Point de surveillance : C.N.C source1/ robinet central T
Matrice : Eaux Propres Typologie : Eau Traitée - Eau de Réseau

Recommandations :

RESULTATS D'ESSAIS :

PARAMETRE	NORME / METHODE	RESULTAT	UNITES	Limites réglementaires
Chimie				
Paramètres physico-chimiques/pollutions				
A Détermination de la turbidité	NA 746	3.0	NTU	5
A Détermination du pH	NA 751	7.47	-	>=6,5-<=9
Détermination de la température	NA 751	22	°C	25
A Détermination de la conductivité électrique	NA 749	1008	µs / cm	2800
A Dosage des nitrites	NF EN ISO 13395	<0.03	mg/l	0.2
A Dosage des orthophosphates	NF EN ISO 15681-2	<0.04	mg/l	
A Dosage de l'ammonium	ISO 7150-1	<0.03	mg/l	0.5

Conclusion :



Le présent rapport d'essai ne concerne que les échantillons soumis aux essais. Il comporte 1 page(s). La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il ne doit pas être reproduit partiellement sans l'approbation du laboratoire d'essais.
Si un avis de conformité est émis, celui-ci ne tient pas compte de l'incertitude de mesure. Les incertitudes de mesure sont fournies à la demande du client.
(A) paramètres sous accréditation. Portée disponible sur demande.



97 Parc Ben Omar, BP 49
16050 Kouba - Alger
Tel +213 (0)21 98 68 03
Fax +213 (0)21 68 97 52



الهيئة الجزائرية للاعتماد
Organisme Algérien d'Accréditation

Essais 1-2-015

Devis/Contrat : **2015D050069**
Echantillon enregistré le : 13 mai 2015 11:42
Echantillon N° : **305391**

CLIENT PRIVE 2015 LABO CENTRAL
Client prive 2015 labo central
-
Algérie

Rapport d'essai 2015 / 305391 - 00

Alger, le lundi 8 juin 2015

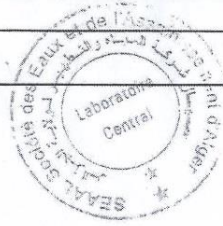
Prélevement du : 13/05/2015 Date début Analyse : 13/05/2015
Prélevé par : Vos Soins Conditionné par : Vos soins
Point de surveillance : C.N.C source1/ robinet central T
Matrice : Eaux Propres Typologie : Eau Traitée - Eau de Réseau

Recommandations :

RESULTATS D'ESSAIS :

PARAMETRE	NORME / METHODE	RESULTAT	UNITES	Limites réglementaires
Chimie				
Paramètres physico-chimiques/pollutions				
A Détermination de la turbidité	NA 746	3.0	NTU	5
A Détermination du pH	NA 751	7.47	-	>=6,5-<=9
Détermination de la température	NA 751	22	°C	25
A Détermination de la conductivité électrique	NA 749	1008	µs / cm	2800
A Dosage des nitrites	NF EN ISO 13395	<0.03	mg/l	0.2
A Dosage des orthophosphates	NF EN ISO 15681-2	<0.04	mg/l	
A Dosage de l'ammonium	ISO 7150-1	<0.03	mg/l	0.5

Conclusion :



Le présent rapport d'essai ne concerne que les échantillons soumis aux essais. Il comporte 1 page(s). La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il ne doit pas être reproduit partiellement sans l'approbation du laboratoire d'essais.

Si un avis de conformité est émis, celui-ci ne tient pas compte de l'incertitude de mesure. Les incertitudes de mesure sont fournies à la demande du client.
(A) paramètres sous accréditation. Portée disponible sur demande.



97 Parc Ben Omar, BP 49
16050 Kouba - Alger
Tel +213 (0)21 98 68 03
Fax +213 (0)21 68 97 52



Essais 1-2-015

Devis/Contrat : **2015D050069**
Echantillon enregistré le : 13 mai 2015 11:42
Echantillon N° : **305392**

CLIENT PRIVE 2015 LABO CENTRAL
Client prive 2015 labo central
-
Algérie

Rapport d'essai 2015 / 305392 - 00

Alger, le lundi 8 juin 2015

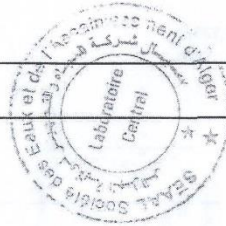
Prélevement du : 13/05/2015 Date début Analyse : 13/05/2015
Prélevé par : Vos Soins Conditionné par : Vos soins
Point de surveillance : C.N.C source1/ robinet central T
Matrice : Eaux Propres Typologie : Eau Traitée - Eau de Réseau

Recommandations :

RESULTATS D'ESSAIS :

PARAMETRE	NORME / METHODE	RESULTAT	UNITES	Limites réglementaires
Biologie				
Bactériologie				
4 Recherche et dénombrement des bactéries coliformes	NF EN ISO 9308-1	0	UFC/100 ml	-
4 Recherche et dénombrement d'Escherichia coli	NF EN ISO 9308-1	0	UFC/100 ml	0
4 Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux	NA 766 ISO 7899-2	0	UFC/100 ml	0

Conclusion :



Le présent rapport d'essai ne concerne que les échantillons soumis aux essais. Il comporte 1 page(s). La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il ne doit pas être reproduit partiellement sans l'approbation du laboratoire d'essais.
Si un avis de conformité est émis, celui-ci ne tient pas compte de l'incertitude de mesure. Les incertitudes de mesure sont fournies à la demande du client.
(A) paramètres sous accréditation. Portée disponible sur demande.



97 Parc Ben Omar, BP 49
16050 Kouba - Alger
Tel +213 (0)21 98 68 03
Fax +213 (0)21 68 97 52



Essais 1-2-015

Devis/Contrat : **2015D050069**
Echantillon enregistré le : 13 mai 2015 11:42
Echantillon N° : **305392**

CLIENT PRIVE 2015 LABO CENTRAL
Client prive 2015 labo central
-
Algérie

Rapport d'essai 2015 / 305392 - 00

Alger, le lundi 8 juin 2015

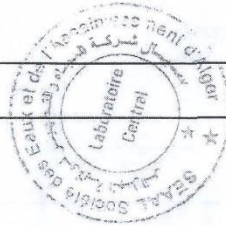
Prélevement du : 13/05/2015 Date début Analyse : 13/05/2015
Prélevé par : Vos Soins Conditionné par : Vos soins
Point de surveillance : C.N.C source1/ robinet central T
Matrice : Eaux Propres Typologie : Eau Traitée - Eau de Réseau

Recommandations :

RESULTATS D'ESSAIS :

PARAMETRE	NORME / METHODE	RESULTAT	UNITES	Limites réglementaires
Biologie				
Bactériologie				
4 Recherche et dénombrement des bactéries coliformes	NF EN ISO 9308-1	0	UFC/100 ml	-
4 Recherche et dénombrement d'Escherichia coli	NF EN ISO 9308-1	0	UFC/100 ml	0
4 Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux	NA 766 ISO 7899-2	0	UFC/100 ml	0

Conclusion :



Le présent rapport d'essai ne concerne que les échantillons soumis aux essais. Il comporte 1 page(s). La reproduction de ce rapport d'analyse n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il ne doit pas être reproduit partiellement sans l'approbation du laboratoire d'essais.
Si un avis de conformité est émis, celui-ci ne tient pas compte de l'incertitude de mesure. Les incertitudes de mesure sont fournies à la demande du client.
(A) paramètres sous accréditation. Portée disponible sur demande.