

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique**

**Université Ibn-Khaldoun de Tiaret**

**Annexe de Sougueur**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Pour l'obtention du diplôme de Master**

**Filière : CHIMIE**

**Spécialité chimie organique**

**Par : LOUAMI Wahiba et AFFANE Saliha**

**Thème**

**Elimination d'un polluant métallique des eaux  
métallifères par adsorption sur un polymère  
synthétisé**

**Soutenue publiquement le : 30/09/2020 devant le Jury composé de :**

Mme TANDJAOUI Nassima	M .C.B	Université de Tiaret	Président
Mme LAOUD Aicha	M .A .B	Université de Tiaret	Examineur
Mme BALEH Hanane	M .A .A	Université de Tiaret	Examineur
Mme MAIZI Yasmina	M .A .A	Université de Tiaret	Encadreur

**Année universitaire 2019-2020**

# *Remerciements*

*Avant tout, je remercie Allah qui m'a accordé la santé, la volonté d'entamer et de continuer mes études.*

*Mes remerciements vont à notre encadreur Mme MAIZI Yasmina*

*Je tiens à remercier les membres du jury, Mme BALEH Hanane et Mme LAOUD Aicha pour avoir accepté de juger mon travail et sacrifier une partie de leur temps pour être rapporteurs de cette Mémoire et également à Mme TANDJAOUI Nassima en tant que présidente du jury de Mémoire.*

*Merci aussi à tous ceux que j'ai pu oublier.*

# *Dédicaces*

*Je tien à dédier ce travail:*

*A mes chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences*

*Mes seconds chers parents de la famille lakhal*

*A mon marie Rachid qui est toujours à mes cotés*

*A mes frères AËK et Amine*

*Mes Sœurs*

*Khaldia et son marie Rachid et Leurs enfants*

*Noria et son marie Mohamed et Leurs enfants*

*Dalila et son marie Missoum et Leurs enfants*

*Et ma chère Bohra et Ma chère Souad*

*A toutes ma famille Affane et Mellah*

*A tous mes amis(es) Sans exception.*

*AFFANE SALIHA*

*Je tien à dédier ce travail:*

*A mes chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences*

*A toutes ma famille Louami*

*Aux deux amies AOUNALLAH Djamilia et salsabile.*

*LOUAMI WAHIBA*

## Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Résumé

Abstract

خلاصة

INTRODUCTION GENERAL :.....	1
<i>Chapitre I</i> .....	2
I. INTRODUCTION :.....	3
II. DEFINITION DE LA POLLUTION : .....	4
III. POLLUTION DES SOLS : .....	4
IV. POLLUTION DE L' AIR : .....	5
V. LA POLLUTION HYDRIQUE : .....	6
VI. POLLUTION DE L'EAU SELON L'OMS :.....	7
VII. SOURCES DE POLLUTION : .....	7
VIII. LES CAUSES ET CONSÉQUENCE DE LA POLLUTION DE L'EAU : .....	8
IX. MODE DE POLLUTION : .....	9
1. pollutions accidentelles : .....	9
2. pollutions diffuses : .....	9
3. pollutions anthropique :.....	9
X. TYPES DE POLLUTION :.....	10
1. pollutions chimique :.....	10
a- Pollution chimiques d'origine minérale: .....	10
b- Pollution chimique d'origine organique : .....	10
2. pollutions physique : .....	11
a. Pollution solide :.....	11

<b>b.</b> Pollution thermique :	11
<b>c.</b> Pollution radioactive :	11
3. Pollution microbiologique :	11
<b>XI. LES PRINCIPAUX POLLUANTS DANS L'EAU :</b>	11
1. Eléments indésirables dans l'eau :	11
2. Eléments toxiques :	12
<b>XII. NICKEL :</b>	12
1. définition :	12
2. Propriétés physico-chimiques :	12
3. Nickel et environnement :	14
<b>a.</b> Milieu aquatique	14
<b>b.</b> Toxicologie du nickel	14
4. Effet sur la santé :	15
5. Effets sur les organismes dans l'environnement :	15
6. Effets sur les animaux de laboratoire et les systèmes d'essai in vitro :	15
7. Effets sur les êtres humains :	16
<b>XIII. TRAITEMENT DE L'EAU PROCESSUS D'ADSORPTION :</b>	16
1. Généralités sur l'adsorption :	16
2. Définition d'Adsorption:	16
<b>XIV. TYPES D'ADSORPTIONS :</b>	17
1. Adsorption physique ou physisorption :	17
2. Adsorption chimique ou chimisorption :	17
<b>XV. PRINCIPAUX FACTEURS INFLUENCANT L'ADSORPTION :</b>	17
1. Nature de l'adsorbat :	18
<b>a)</b> La solubilité	18
<b>b)</b> Structure moléculaire	18
<b>c)</b> Polarité:	18
2. Nature de l'adsorbant :	18
<b>a)</b> La surface spécifique	18

<b>b) Le volume des pores et leurs distributions</b> .....	18
3. Conditions opératoires : .....	18
<b>a) La température</b> .....	18
<b>b) Le pH</b> .....	19
XVI. ISOTHERMES D'ADSORPTION : .....	19
1. Modèle de Langmuir : .....	19
2. Modèle d'adsorption de Freundlich : .....	20
XVII. CLASSIFICATION DES PHENOMENES D'ADSORPTION :.....	21
1. Adsorption chimique (ou chimisorption) : .....	21
2. Adsorption physique (ou physisorption) :.....	21
XVIII. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU :.....	22
1. Température : .....	22
2. Le potentiel d'Hydrogène (pH) :.....	22
XIX. ABSORBANTS A BASE DE POLYMERE :.....	22
1. Facteurs caractérisant l'adsorbat : .....	23
2. Facteurs caractérisant l'adsorbant : .....	23
<b>a- La surface spécifique</b> .....	23
<b>b- La structure de l'adsorbant</b> .....	23
<b>c- La polarité</b> .....	23
3. Application de l'adsorption en phase liquide : .....	24
<i>Chapitre II</i> :.....	25
<i>Méthodes de caractérisation</i> .....	25
I. TECHNIQUES SPECTROSCOPIQUES : .....	26
1. Généralités sur les méthodes spectroscopiques : .....	26
2-Définition : .....	26
3-Domains d'application de la spectroscopie : .....	27
II. LA SPECTROSCOPIE INFRAROUGE : .....	28
Principe : .....	28

III. SPECTROSCOPIE DE RESONNANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE RMN :.....	30
1. Principe de la RMN :.....	30
2-Interprétation des spectres RMN –H et RMN _C :.....	31
IV. SPECTROSCOPIE UV-VISIBLE :.....	32
1. Principe : .....	33
2. Les domaines d’application de la spectroscopie UV-visible : .....	33
V. LA SPECTROSCOPIE RAMAN :.....	34
Principe : .....	34
VI. MICROSCOPIE RAMAN :.....	35
Domaines d’application de la spectroscopie Raman :.....	36
VII. LA DIFFRACTION DES RAYONS X :.....	37
1. principe:.....	37
2. Méthode:.....	38
3. champ d’application: .....	39
VIII.ANALYSE CALORIMETRIQUE DIFFÉRENTIELLE (DSC) :.....	39
IX.CALORIMETRIE DIFFERENCIEL A BALAYAGE (DSC) : .....	40
X. LA VISCOSITE :.....	41
Définitions :.....	41
XI.METHODE DE MESURE DE VISCOSITE :.....	41
1. Méthode directe par un viscosimètre : .....	42
<b>a)</b> Les viscosimètres à corps chutant .....	42
<b>b)</b> Les viscosimètres à tube capillaire .....	42
<b>c)</b> Les viscosimètres rotatifs .....	43
2. Méthode indirecte (manuelle) : .....	44
<i>Chapitre III</i> : .....	46
I. SYNTHESE DE L’ADSORBANT.....	47
II. CARACTERISATION DE L’ADSORBANT (POLYMERE PHENOLIQUE).....	47
1. par IR.....	48

2. par RMN 13C et 1H .....	48
3. par RAMAN.....	48
4. par diffraction rayons X .....	48
5. par DSC.....	48
6. par viscosité.....	48
IV. ISOTHERMES D'ADSORPTION .....	50
1. Application de l'isotherme de Langmuir .....	50
2. Application de l'isotherme de Freundlich.....	50
XII. CONCLUSION GENERAL : .....	51
<i>Références Bibliographie</i> .....	51
<i>Références Bibliographie</i> .....	52

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> sur les sources des pollutions	8
<b>Tableau 2 :</b> Propriétés physiques et chimiques du nickel	13
<b>Tableau 3 :</b> Normes de rejets industriels en Algérie	13
<b>Tableau 4 :</b> Effets néfastes de certains métaux lourds sur l'homme	14
<b>Tableau 5 :</b> caractéristiques de l'adsorption physique et chimique	17
<b>Tableau 6 :</b> Déplacements chimiques observe après analyse par RMN H 32	
<b>Tableau 7 :</b> Déplacements chimiques observe après analyse par RMN C	32

## Liste des figures

**Figure 1 :** l'homme et l'environnement<sup>6</sup>.

**Figure 2:** Les différents types d'isothermes de Langmuir en phase aqueuse <sup>20</sup>

**Figure 3 :** Niveaux d'énergie 28

**Figure 4:** Diagramme d'énergie d'une molécule avec les différentes transitions possibles dans le domaine de l'infrarouge<sup>29</sup>

**Figure 5 :** domaine de l'IR dans le spectre électromagnétique 30

**Figure 6 :** Spectromètre UV- visible Unicam UV 30033

**Figure 7 :** illustration de la diffusion de la lumière et des échanges d'énergie en diffusion Raman (Phénomènes de réflexion, transmission, absorption et diffusion de la lumière)<sup>36</sup>

**Figure 8 :** Description schématique d'un système Raman. 37

**Figure 9:** Exemple de fenêtre du logiciel HT-DRX lors de l'étude de la cinétique de cristallisation<sup>39</sup>

**Figure 10 :** Appareil de Diffraction des Rayons X. modèle Bruker D8-Advance<sup>40</sup>

**Figure 11:** Courbe de DSC typique d'un verre métallique représente la température de transition vitreuse ( $T_g$ ), Cristallisation ( $T_x$ ), fusion ( $T_m$ ), liquidus ( $T_l$ ) et la zone de liquide surfondu ( $\Delta T_x$ ).<sup>42</sup>

**Figure 12 :** viscosimètre d'Hoppler<sup>43</sup>

**Figure 13 :** Viscosimètre Hubbelohde<sup>44</sup>

**Figure 14 :** viscosimètre fungilab.<sup>44</sup>

**Figure 15:** viscosimètre vibrant.<sup>45</sup>

## Liste des abréviations

**FMI** : Fonds monétaire international

**CIRC** : Le Centre international de recherche sur le cancer

**OMS** : l'organisation mondiale de la santé

**IUPAC** : union internationale de chimie pure et appliquée

**IRM** : imagerie par résonance magnétique

**IR** : Infrarouge

**RMN** : Résonance magnétique nucléaire

**RF**: radiation de radiofréquence

**UV** : ultra-violette

**DSC** : Calorimétrie différentiel à balayage

## Résumé

L'objectif de ce travail est de éliminé un polluant métallique de eaux métallifères par adsorption sur un polymère synthétisé

La pollution de l'eau est l'un des plus grands risque qui menacent tous les organismes vivants sans exception, car les substances étrangères telles que les métaux lourds sont considérées comme l'une des causes de cette pollution, cette recherche étudié donc l'un des méthodes d'éliminer ce type de polluants.

Ce travail se compose de deux chapitres

- Le premier chapitre présente une revue bibliographique

Sur le concept de pollution avec tous ses types (pollution des sols, de l'air et de l'eau) ses sources, causes, et conséquences et selon l'organisation mondiale de la sante, nous avons choisi le métal nickel, nous avons étudié ses propriétés et son effet, son danger sur l'écosystème et la santé humaine, ensuite nous avons étudié le traitement de l'eau processus d'adsorption ses types puis l'isotherme d'adsorption (modèle de Langmuir et de Freundlich

- Le deuxième chapitre traite de l'étude de la méthode de caractérisation :

Technique spectroscopique et domaines d'application

## Abstract

The objective of this work is to remove a metallic pollutant from metallic ferrous waters by adsorption on a synthesized polymer

Water pollution is one of the greatest risks threatening all living organisms without exception, as foreign substances such as heavy metals are considered to be one of the causes of this pollution, so this research investigated the one of the methods to eliminate this type of pollutants.

This work consists of two chapters

- The first chapter presents a bibliographic review

On the concept of pollution with all its types (soil, air and water pollution) its sources, causes, and consequences and according to the World Health Organization, we chose the metal nickel, we studied its properties and its effect, its danger on the ecosystem and human health, then we studied the treatment of water adsorption process its types then the adsorption isotherm (Langmuir and Freundlich model

- The second chapter deals with the study of the characterization method:

Spectroscopic technique and fields of application

## الخلاصة

الهدف من هذا هو إزالة الملوثات المعدنية من المياه الملوثة بالمعادن المعدنية عن طريق الامتزاز على البوليمر المركب

يعتبر تلوث المياه من اكبر المخاطر التي تهدد كل الكائنات الحية بدون استثناء حيث تعتبر المواد الدخيلة على المياه مثل المعادن الثقيلة احد أسباب هاذ التلوث لذلك يعمل هذا البحث على دراسة احد طرق التخلص من هذا النوع من الملوثات يتكون هذا العمل من فصلين

الفصل الأول يقدم مراجعة بيبليوغرافية حول مفهوم التلوث بكل أنواعه ( تلوث الأرض والهواء والماء) مصادره أسبابه نتائجه ووفقا منظمة الصحة العالمية لقد اخترنا معدن النيكل للدراسة وخصائصه وتأثيره وخطره على النظام البيئي وصحة الإنسان ثم تطرقنا الى دراسة معالجة المياه بعملية الامتزاز بأنواعها وايزوثيرمات الامتزاز بنموذجين ( Freundlich و Langmuir ).

الفصل الثاني يشمل طرق التوصيف

# *Introduction*

## **INTRODUCTION GENERAL :**

L'environnement de l'homme est très important, sa protection relève donc l'intérêt de tous.

Les polluants environnementaux de tous genres contaminent l'eau, l'air et la terre mettant en péril les humains et les écosystèmes. De plus, ils sont souvent sources de conflit entre populations et industrie.

L'activité humaine produit de nombreux polluants de nature différente, qui résultent par conséquent plusieurs types de pollutions : physiques, chimiques, biologiques.

La protection de l'environnement est devenue une préoccupation majeure de notre société, encourageant d'un côté le développement de procédés pour l'amélioration des méthodes de dépollution, tout en axant sur la réduction des facteurs sources de pollution.

Le rejet brut et massif de résidus toxiques dans le milieu naturel a conduit à l'apparition de nombreux risques pour l'équilibre du milieu naturel et des écosystèmes, mais aussi pour l'homme lui-même, le producteur de ces déchets, et instigateur de ce grand déséquilibre. Ceci a donc stimulé et encouragé l'amélioration de techniques de dépollution existantes et le développement de nouveaux procédés, permettant de satisfaire et de se conformer aux normes internationales de plus en plus restrictives.

Différentes techniques sont utilisées pour l'élimination de certains polluants solubles dans les effluents industriels ou domestiques. Elles sont différentes les unes par rapport aux autres et peuvent être citées à titre d'illustration l'adsorption, l'électrolyse, la flottation, la précipitation, les échanges d'ions, l'extraction liquide – liquide, la filtration membranaire etc.

L'adsorption est l'une de ces techniques les plus adoptées pour cette élimination de polluants, à cause de sa grande capacité d'épurer les eaux contaminées [1].

Par conséquent, le manuscrit présentant ce travail est entamé par cette introduction générale qui donne une idée sur l'importance du thème

Ce travail se compose de trois chapitres nous parlons de leur contenu dans le résumé

Et enfin une conclusion générale

# *Chapitre I*

## I. INTRODUCTION :

L'eau constitue un élément fondamental en matière de pollution, puisque dans le cas des métaux, comme pour d'autres composés, elle favorise de nombreuses réactions chimiques. L'eau transporte les métaux lourds, et les insère dans les chaînes alimentaires (algues, poisson, etc.). Même si les métaux lourds sont le plus souvent présents à l'état de trace, ils n'en restent pas moins très dangereux, puisque leur toxicité se développe et leur nature est non dégradable.

Pour éliminer les métaux toxiques présents dans l'eau. Parmi les différents procédés utilisés, l'adsorption. Plusieurs méthodes d'adsorption tels que l'extraction, l'utilisation des charbons actifs, le gel de silice, les zéolithes, les algues, la chitine, le chitosane, les matériaux argileux et la complexation, permettant l'élimination de polluants des cours d'eau, tels que les métaux lourds et les colorants réactifs, ont été utilisés avec succès jusqu'à ce jour.

Parmi ces méthodes, la complexation présente un intérêt pour la décontamination de l'eau des métaux lourds.

Pour améliorer les possibilités de récupérations et élimination des polluants, peu de recherches ont porté sur l'utilisation de la complexation comme méthode de dépollution métallifère [2].

En Algérie, le développement industriel a rendu la situation de l'environnement critique, les grandes usines qui déversent leurs rejets liquides dans la nature ; ces rejets industriels et agricoles contribuent à la déstabilisation de l'équilibre environnemental.

L'Algérie est un pays qui regorge de matériaux importants qui peuvent servir l'environnement dans le domaine d'épuration des eaux usées.

L'Algérie est tantôt considérée comme un pays en voie de développement, ces investissements et sa consommation ressemblent plutôt à celle d'une nation émergente. De plus, elle n'a pratiquement pas de dettes, contrairement aux pays développés, au point même qu'elle est capable d'être la créancière du FMI. L'Algérie n'est pas très productive, pourtant elle consomme beaucoup ; en fait, elle produit beaucoup de déchets... Enormement de déchets, dont plus de 50% sont stockés dans des conditions alarmantes.

Ne pas se donner les moyens financiers et humains de lutter au présent contre les dangers que représentent ces pollutions pour l'avenir de l'Algérie, c'est assurément se résigner à assumer des frais qui s'avèreront être plus considérables sur le long terme, seul champ de vision pertinent pour qui cherche une solution durable à un problème récurrent [3].

### **DEFINITION DE LA POLLUTION :**

On dit qu'un sol est pollué lorsqu'il contient une concentration anormale de composés chimiques potentiellement dangereux pour la santé, des plantes ou des animaux. La contamination se fait alors soit par voie digestive (consommation d'eau polluée par exemple), ou par voie respiratoire (poussières des sols pollués dans l'atmosphère).

Parmi Les causes possibles :

- les activités humaines par exemple
- L'épandage des produits phytosanitaires et les rejets des bâtiments d'élevage, des exploitations agricoles (l'azote et les phosphates), qui vont à leur tour amener la contamination des eaux de ruissellement, et par la suite les cours d'eaux.

### **II. POLLUTION DES SOLS :**

La pollution du sol pose un risque grave pour la santé humaine par contact direct (exposition cutanée ou inhalation de particules polluées provenant du sol) ou indirectement, par la consommation de plantes ou d'animaux qui ont accumulé de grandes quantités de polluants du sol.

Un sol est considéré pollué lorsque la dégradation de sa qualité par l'apport d'un élément toxique peut porter atteinte à la santé humaine ou/et à l'environnement.

La présence d'un polluant dans le sol n'est pas en soi un danger. Le risque apparaît dès que ce polluant peut être mobilisé et agit sur l'environnement (faune, flore) ou sur l'homme. Malgré des efforts d'identification menés dans de nombreuses régions du monde pour estimer l'ampleur de la pollution des sols, l'absence d'une évaluation globale constitue un obstacle à la mobilisation des ressources économiques pour minimiser la pollution des sols et pour inciter l'engagement public et privé à lutter contre la pollution des sols.

Des preuves scientifiques plus solides sont nécessaires pour appuyer les mesures de prévention, de contrôle et d'assainissement de la pollution des sols.

La pollution du sol a comme origines principales :

Les activités agricoles via les engrais, les pesticides et les pratiques et la pollution atmosphérique.

Par notre industrie, nos habitudes de vie, et plus généralement par toute notre activité, nous menaçons le monde dans lequel nous vivons

Partout dans le monde, des milliers de produits chimiques constituent un risque pour les populations et les écosystèmes [4].

### III. POLLUTION DE L'AIR :

La pollution atmosphérique peut être définie par la présence de polluants (gazeux ou particules) dans l'atmosphère, pouvant provoquer des effets nocifs sur l'environnement et la santé [5].

Les sources de cette pollution peuvent être soit naturelles (feu de forêt, éruption volcanique, ...), soit anthropiques, c'est-à-dire liées à l'activité humaine [6].

Dans ce dernier cas, la pollution est souvent le résultat direct des progrès industriels de ces derniers siècles, comme par exemple l'émission continue et par fois sans précaution des polluants associés aux processus de combustion (véhicules automobiles, installations industrielles, production d'énergie par combustion...). Depuis quelques dizaines d'années, des études ont montré un lien entre la dégradation de l'environnement et de la santé humaine, et la présence de ces polluants dans l'atmosphère [7]. à [10].

Ainsi, la pollution atmosphérique est considérée comme étant responsable d'environ 800 000 décès prématurés chaque année dans le monde [11].

Les sources des polluants atmosphériques peuvent être divisées en 2 catégories : les sources anthropiques et les sources biogéniques [5].

Par définition, une source anthropique est une source de pollution liée à l'activité humaine ; elle se subdivise en 3 catégories :

Secteur industriel, secteur résidentiel et transport.

Les sources biogéniques sont les sources associées aux émissions d'origines naturelles liées à la biosphère.

L'agriculture est également une source de pollution majeure avec en particulier les engrais azotés ou encore l'élevage des animaux à l'origine de pollution par le méthane (produit par leur système digestif), et par l'ammoniac (issu de la transformation de l'urée).

#### IV. LA POLLUTION HYDRIQUE :

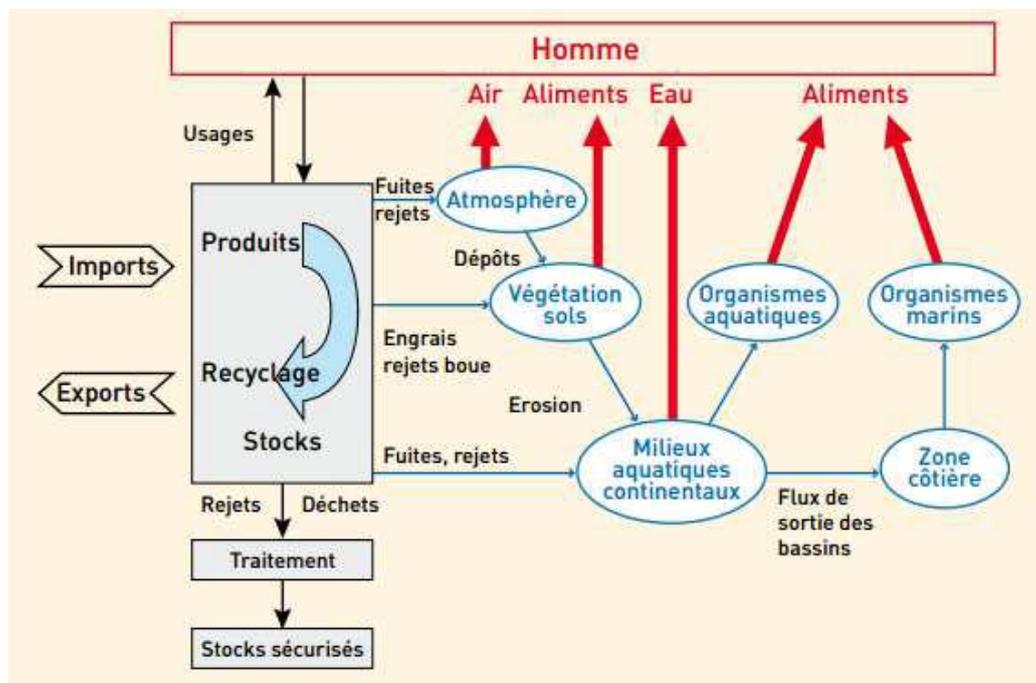


Figure 1: l'homme et l'environnement [12].

La pollution de l'eau est une altération de sa qualité et de sa nature qui rend son utilisation dangereuse et/ou perturbe l'écosystème aquatique.

Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et/ou les eaux souterraines. Elle a pour origines principales, l'activité humaine, les industries, l'agriculture et les décharges de déchets domestiques et industriels [13].

La contamination de l'eau par les métaux lourds toxiques a attiré une grande attention en raison de leurs effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine. Des ions de métaux lourds tels que le plomb ( $Pb^{2+}$ ), le cadmium ( $Cd^{2+}$ ) et le nickel ( $Ni^{2+}$ ) sont toxiques et cancérogènes même à des concentrations relativement faibles. Les métaux lourds sont non biodégradables et ils peuvent s'accumuler dans les organismes vivants. Ils sont généralement jetés dans l'environnement à partir de diverses activités industrielles telles que la fusion, la galvanoplastie, la peinture, l'exploitation minière, le tannage du cuir, la fabrication de la batterie en alliage, etc., et posant ainsi une menace importante pour l'environnement et la santé publique [14].

## V. POLLUTION DE L'EAU SELON L'OMS :

➤ Les maladies d'origine hydrique sévissent, entraînant d'importants coûts économiques dans la Région européenne de l'OMS, 14 personnes meurent chaque jour en raison d'une maladie diarrhéique due à une eau non potable ou à un assainissement ou une hygiène inappropriée. La campylobactériose, la giardias, l'hépatite A et la shigellose sont les maladies infectieuses imputables à des problèmes d'eau, d'assainissement et d'hygiène les plus couramment notifiées. Mais la véritable ampleur des maladies d'origine hydrique dans la Région européenne est inconnue. Il est probable que les données disponibles ne reflètent qu'une petite partie de la réalité.

➤ L'accès à l'eau potable à domicile demeure un luxe : bien que dans la Région, plus de 51 millions de personnes aient obtenu un accès à une source simple d'eau potable entre 2000 et 2015, près de 21 millions de personnes n'en disposent toujours pas, et environ 57 millions de personnes vivent dans une habitation non reliée à un réseau d'adduction d'eau.

➤ Il est nécessaire de relever le défi de l'assainissement : 36 millions de personnes n'ont pas accès à un système d'assainissement de base, et 328 000 personnes pratiquent toujours la défécation à l'air libre.

➤ Une partie des eaux usées demeure non traitée : dans les pays à revenu élevé de la Région, environ 30 % des eaux usées urbaines sont déversées sans traitement dans l'environnement ; dans les pays à revenu intermédiaire de la tranche supérieure, cette proportion s'élève à 60 %.

➤ D'importantes inégalités persistent : environ les trois quarts des personnes n'ayant pas accès à une eau potable ordinaire vivent en zone rurale. Dans le Caucase et en Asie centrale, quelque 20 % des habitants des zones rurales vivent dans des maisons ne disposant pas d'eau potable ordinaire, alors qu'ils ne sont que 3 % parmi les habitants des villes. [15].

## VI. SOURCES DE POLLUTION :

La contamination des eaux est un souci majeur pour la protection des écosystèmes et des ressources en eaux. Elle est l'objet de beaucoup d'études aussi bien au niveau des eaux superficielles que souterraines.

La contamination par tous les intrants peut être de différentes sortes selon l'eau et son emplacement. Pour l'eau superficielle, elle peut être :

1-directe et volontaire par une utilisation normale ou abusive des produits phytosanitaires (lutte antiacridienne, utilisation des pesticides ou engrais dans l'agriculture...) et encore les eaux contaminées par des résidus de traitement Métallurgique, et de manière plus générale, par des produits chimiques tels que les métaux lourds, les hydrocarbures...etc.....),

2-indirecte par ruissellement ou transfert des produits lorsque par exemple l'eau de ruissellement passe à travers des terrains riches en métaux lourds ou encore lorsque les précipitations entraînent les polluants de l'atmosphère vers le sol.

3-La conséquence de l'eutrophisation qui est due à la présence des plantes ou autres êtres vivants. [16]

**Tableau: 1 sur les sources des pollutions [17].**

Sources de pollution	Exemples de polluants
<i>Décharges domestiques</i> : eaux polluées provenant des habitations ou des commerces	Déchets d'huile, détergents, savons, graisses, solvants, matière organique
<i>Décharges industrielles</i> : déchets engendrés par les procédés industriels et très toxiques	Détergents, graisses, solvants, acide sulfurique, Composés toxiques des peintures et des médicaments pathogènes, op articles en suspension, acide chlorhydrique, ciment, plâtre, chaux
<i>Décharges agricoles</i> : proviennent des activités de l'agriculture et de l'élevage	Déchets de légumes, résidu de fertilisants (nitrates, phosphates, hydrazines), et pesticides (atrazine)

## VII. LES CAUSES ET CONSÉQUENCE DE LA POLLUTION DE L'EAU :

De nombreuses sources de pollution, parmi lesquelles les eaux usées et les engrais, contiennent des substances nutritives. Présentes en trop grande quantité, ces substances stimulent à outrance la croissance des plantes aquatiques et des algues. Une croissance excessive de ces organismes a pour conséquence de bloquer le cours d'eau, d'épuiser l'oxygène dissous au moment de la décomposition, et d'empêcher la lumière d'atteindre les eaux les plus profondes.

Les conséquences pour les organismes aquatiques sont à leur tour désastreuses, car la respiration des poissons et autres invertébrés aquatiques en est affectée. La pollution peut également survenir lorsque, à cause de la pluie, des sillons et autres matières en suspension détrempe des champs labourés, des sites en construction ou des exploitations forestières, des zones urbaines ou des berges érodées.

La pollution sous la forme de matériaux organiques peut toucher les cours d'eau de différentes manières :

- Eaux usées, chutes de feuilles, déchets de jardin, ruissellements provenant de parcs d'engraissement de bétail ou de pâturages.
- Les rivières sont contaminées de façon inquiétante par des produits chimiques toxiques et des métaux lourds, une des principales causes de la pollution de l'eau.
- L'industrie, l'activité minière, l'extraction pétrolière, la production de substances toxiques ou l'utilisation intensive de pesticides dans l'agriculture sont autant de facteurs qui peuvent affecter la qualité et la pureté de l'eau.

L'augmentation de la population mondiale et les changements climatiques risquent d'augmenter la pression sur les ressources en eau et réduire la disponibilité d'eau potable [18].

### VIII. MODE DE POLLUTION :

Toutes ces contaminations peuvent être classées en trois types de pollutions liés aux modes de propagation :

#### **1. pollutions accidentelles :**

Le plus souvent, les pollutions ponctuelles se trouvent liées aux grandes activités industrielles ou agricoles. Elles peuvent aussi résulter d'un accident de transport ou d'une catastrophe naturelle sur des usines ou stockages des produits qui vont engendrer cette pollution. [19].

#### **2. pollutions diffuses :**

Elles résultent de la propagation de l'agent responsable de la pollution par différents vecteurs de transport, qu'il soit utilisé de façon habituelle pour des usages courants ou non. Le lessivage des pesticides du sol et le transport des matières actives par le vent dans les zones parfois même inaccessibles en sont des exemples concrets et très inquiétants (présence de la pollution de certains pesticides au pôle Nord)[19].

#### **3. pollutions anthropique :**

Elle est souvent attribuée à la présence de la flore dans les eaux surtout si ces eaux sont stagnantes ou si leur renouvellement reste très occasionnel et limité dans le temps.

Donc cette pollution résulte de l'eutrophisation qui est la modification du rapport N/P dans l'eau. Ce déséquilibre entraîne entre autre la prolifération des plantes et algues causant ainsi la diminution du taux de l'oxygène nécessaire à la vie de la faune et de la flore aquatiques.

La pollution peut être définie comme une conséquence d'une cause bien précise :

La pollution agricole, la pollution urbaine et la pollution industrielle. Cette classification donne l'origine de la pollution qui pourra sous-entendre pour les spécialistes du domaine l'ensemble des intrants dans le milieu en fonction de la zone en question, du mode de vie de sa population et de son développement.

## IX. TYPES DE POLLUTION :

La pollution de l'eau est l'ensemble des nuisances auxquelles peut être exposé son usager.

La pollution engendrée peut être d'ordre physique (radioactivité, élévation de la température...), chimique (rejets agricoles, industriels et urbains) et microbiologique (Rejets urbains, élevage...). Pour mieux évaluer la pollution, il existe des paramètres qui permettent d'estimer l'ampleur de celle-ci en fonction de son type[20].

### 1. pollutions chimique :

Elle est due à l'entrée d'un élément (ou plusieurs) indésirable dans la composition chimique de l'eau initialement destinée à un usage bien précis. Deux types de paramètres

Ce type de pollution est classé en deux catégories :

- la pollution biodégradable.
- la pollution non biodégradable.

Parmi les polluants non biodégradables figurant les substances minérales et certaines composées organiques telles que les composés aromatiques.

Les composées biodégradables se composent de substances organiques de composées azotées et phosphoriques

#### a- Pollution chimiques d'origine minérale:

Les substances minérales peuvent être classées en :

- Eléments essentiels : N, P, Na.....
- Eléments désirables : Fe, Mn, Zn, Cu.....
- Eléments toxiques : Pb, Se, Hg, As, Cr, Sn, Cd, ..... [20].

#### b- Pollution chimique d'origine organique :

Ce type de pollution constitue une partie importante de la pollution hydrique parmi les polluants chimiques d'origine organique figurant :

- les détergents.
- les pesticides.
- les phénols.
- les hydrocarbures.
- les matières organiques banales (protides, lipides...) [20].

## **2. pollutions physique :**

Elle résulte de différents éléments solides entraînés par les rejets domestiques et industriels. On distingue :

### **a. Pollution solide :**

Elle provient des particules solides apportées par les eaux industrielles ainsi que les eaux de ruissellement et issue des décharges de déchets à ciel ouvert [21].

### **b. Pollution thermique :**

Causée généralement par les eaux des circuits de refroidissement des usines, en effet tout changement de température de l'eau a des conséquences significatives sur l'équilibre écologique du milieu aquatique naturel et la survie des organismes vivants [21].

### **c. Pollution radioactive :**

Liée aux rejets des éléments radioactifs par les installations et les centrales nucléaires ainsi que les usines de traitement de déchets radioactifs.

## **3. Pollution microbiologique :**

Elle provient de plusieurs sources comme les rejets des hôpitaux, l'agriculture ainsi que les rejets d'eaux usées. L'eau se charge alors de microorganismes pathogènes (bactéries, virus, parasites) qui peuvent être dangereux pour l'environnement et pour la santé humaine [22].

## **X. LES PRINCIPAUX POLLUANTS DANS L'EAU :**

Les métaux lourds sont le plus souvent présents à l'état de traces, ils n'en restent pas moins très dangereux, puisque leur toxicité se développe par bioaccumulation dans l'organisme.

Rejets dans l'eau, règles sur l'épandage des boues ou la mise en décharge, etc. Le quart de la contamination par les métaux lourds est dû aux ordures ménagères (piles au cadmium, batteries au plomb, cuivre et zinc des pesticides, etc.). Le devenir des métaux lourds dépend de nombreux facteurs parmi lesquels la nature du sol et son acidité [23].

### **1. Eléments indésirables dans l'eau :**

Composés azotés et phosphatés :

Ammonium (NHC), nitrite (NO<sup>-</sup>), nitrate (NO<sup>3-</sup>), phosphate

Composés organiques : hydrocarbures totaux (Hc. tôt.), indice phénol (I. phénol).

Métaux et autres éléments : argent (Ag), bore (B), barium (Ba), cuivre (Cu),

Fluor (F), fer (Fe), manganèse (Mn), zinc (Zn). [24].

## **2. Eléments toxiques :**

Arsenic (As), cadmium (Cd), cyanures totaux (CN têt.), chrome (Cr), nickel (Ni), plomb (Pb). Quatre autres éléments n'apparaissant pas dans la liste du décret 89-3 ont aussi été Doses: béryllium (Be), cobalt (Co), lithium (Li), strontium (Sr)[25].

## **XI. NICKEL :**

### **1. définition :**

Le nickel est un élément métallique de numéro atomique 28 (symbole Ni), dans le groupe VIII du tableau périodique qui suit le fer et le cobalt. Sa configuration électronique est:  $4s^2 3d^8$ . Bien que le nickel puisse exister dans plusieurs états d'oxydation -1, 0, +2, +3, +4, son état d'oxydation le plus fréquent est le nickel (+2) dans les conditions environnementales normales.

Leur masse molaire de 58.69 g/mol et possède 5 isotopes stables  $^{58}\text{Ni}$  (68,08 %),  $^{60}\text{Ni}$  (26,22 %),  $^{61}\text{Ni}$ ,  $^{62}\text{Ni}$  et  $^{64}\text{Ni}$ .

Il est abondant dans les météorites et à l'intérieur du globe terrestre (manteau et noyau), où il se classerait au cinquième rang par ordre d'abondance.

Il arrive au vingt-troisième ou au vingt-quatrième rang dans la croûte terrestre. Malgré cette relative abondance, les minerais de nickel (sulfures, oxydes et silicates) exploitables dans des conditions économiques convenables sont localisés dans quelques régions seulement. [26].

### **2. Propriétés physico-chimiques:**

Le nickel est un métal blanc argenté appartenant au groupe VIII du tableau périodique. Le nickel est légèrement plus résistant à l'oxydation que fer et cobalt, avec un potentiel standard de -0,236 V par rapport à l'électrode à hydrogène

Plusieurs centaines des composés du nickel ont été identifiés et caractérisés. Le nickel a une densité spécifique de  $8,90 \text{ g / cm}^3$ , un point de fusion de  $1555 \text{ }^\circ \text{C}$ , et un point d'ébullition de  $2837 \text{ C}$  [27].

Propriétés physiques et chimiques du nickel et de ses composés sont résumées dans le tableau

**Tableau2: Propriétés physiques et chimiques du nickel[271].**

Masse atomique	58 ,6934 UMA
Rayon atomique	1,62Å <sup>0</sup>
Masse volumique	8,90g/cm <sup>3</sup>
Point de fusion	1455 <sup>0</sup> C
Point d'ébullition	2 913 °C
Potentiel(s) d'ionisation	7,64 ; 18,17 ; 35,19eV
Nombre d'oxydation	2+,3+
Structure électronique	[Ar] 3d8 4s2
Electronégativité (Pauling)	1,8
Isotopes naturels	58(68,08),60(26,22),61(1,14),62(3,63).
Structure cristalline	Cubique à faces centrées

**Tableau: 3 Normes de rejets industriels en Algérie[28].**

Métal	Al	Cd	<b>CrIII</b>	Fe	Mg	Hg	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	Cu	Zn
<b>Concentration mg/l</b>	5	0,2	3	5	1	,01	<b>5</b>	1	3	5

**Tableau: 4 Effets néfastes de certains métaux lourds sur l'homme, Les animaux et les Végétaux [291].**

Espèce	Forme	Effets écologiques	Effets possibles sur l'homme
Pb	En suspension – Dissous Pb <sup>2+</sup>	– Toxicité aigüe dès 0,1mg/L, Chez les algues et poissons. – Effet sur la reproduction des poissons.	– Bioaccumulation – Saturnisme (atteinte neurophysiologique, troubles rénaux et cardiovasculaires) – Hémato pâtie
Ni	En suspension – Soluble Ni <sup>2+</sup>	– Toxique sur la majorité des plantes. – Provoque des changements de la composition des algues à partir de 0,002mg/L – La réduction de la calcification du squelette des poissons	– cancer des poumons et du nez – asthme – maux de tête, vertiges – bronchites chroniques

### **3. Nickel et environnement:**

#### **a. Milieu aquatique**

Dans les systèmes aquatiques, le nickel existe généralement sous forme de Ni<sup>2+</sup>. La forme sous laquelle on le trouve dans l'eau dépend entre autres du pH. Les composés de nickel rencontrés dans le milieu aquatique sont généralement recensés et indiqués comme nickel global, ceci bien que la gamme des composés parvenant dans le milieu aquatique par suite de rejets anthropogènes englobe aussi bien des sels solubles que des oxydes insolubles ou encore des poussières de nickel métallique. En l'état des connaissances actuelles, il n'existe pas de composés de Ni qui soient présents exclusivement dans le milieu aquatique [30].

#### **b. Toxicologie du nickel**

Les études chez l'homme en milieu professionnel indiquent que le système respiratoire est la cible principale de la toxicité du nickel par inhalation induisant une augmentation de certaines pathologies (bronchite chronique, diminution de capacité vitale,...).

Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) classe le nickel dans les substances possiblement cancérogènes pour l'homme

-. L'exposition chronique au nickel est un facteur de risque du cancer du poumon, inscrit à ce titre dans les tableaux de maladies professionnelles.

#### **4. Effet sur la santé :**

Ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires ou autres.

Les effets sur le système nerveux central et leurs symptômes sont :

- irritabilité
- peur
- nervosité
- inquiétude
- instabilité émotionnelle
- perte de confiance
- timidité (symptôme principal chez les adolescents)
- indécision
- perte de la mémoire immédiate [30].

#### **5. Effets sur les organismes dans l'environnement :**

Long terme des études sur les poissons et leur développement dans les eaux douces ont démontré certains effets sur la truite arc-en-ciel à des niveaux aussi bas que 0,05 mg nickel / litre. Dans les plantes terrestres, des niveaux de nickel supérieurs à 50 mg / kg le poids sec est généralement toxique. Le cuivre a été trouvé pour agir toxicologiquement de manière synergique, tandis que le calcium réduit la toxicité du nickel. Données sur les effets du nickel sur les ressources terrestres animaux sont limités.

Les vers de terre semblent être relativement insensibles au nickel, si le milieu est riche en micro-organismes et en matière organique, le nickel moins disponible pour les vers de terre. Le nickel n'a pas été considéré comme un contaminant mondial à grande échelle ; cependant, écologiques changements, tels que la diminution du nombre et de la diversité des espèces, ont été observés à proximité de sources émettrices de nickel. Micro écosystème des études ont montré que l'addition de nickel au sol perturbe le cycle de l'azote. [31].

#### **6. Effets sur les animaux de laboratoire et les systèmes d'essai in vitro :**

Le nickel est essentiel pour l'activité catalytique de certaines plantes et les enzymes bactériennes. Gain de poids lent, anémie et diminution la viabilité de la progéniture a été décrite chez certaines espèces animales après une privation alimentaire de nickel.

Le composé de nickel le plus toxique est le nickel carbonyle, le poumon étant l'organe cible ; un œdème pulmonaire peut survenir en 4 h après exposition. La toxicité aiguë des autres espèces de nickel est faible.

Bien que l'allergie de contact au nickel soit très courante chez l'homme êtres humains, la sensibilisation expérimentale chez les animaux ne réussit sous conditions spéciales. Exposition par inhalation à long terme à nickel métallique, oxyde de nickel ou sous-sulfure de nickel causé par les muqueux dommages et réaction inflammatoire dans les voies respiratoires

chez le rat, des souris et des cobayes. Une hyperplasie épithéliale a été observée chez le rat après exposition par inhalation à des aérosols de chlorure de nickel ou de nickel oxyde [31].

### **7. Effets sur les êtres humains :**

En termes de santé humaine, le nickel carbonyle est le plus composé de nickel toxique. Les effets du nickel carbonyle aigu l'empoisonnement comprend des maux de tête frontaux, des vertiges, des nausées, des vomissements, insomnie et irritabilité, suivies de symptômes pulmonaires similaires à ceux d'une pneumonie virale. Lésions pulmonaires pathologiques comprennent une hémorragie, un œdème et un dérangement cellulaire. Le foie, les reins, les glandes surrénales, la rate et le cerveau sont également touchés.

Des cas d'intoxication au nickel ont également été signalés chez des patients dialysés avec du dialysat contaminé par le nickel et dans des plaques d'électrolyse qui a ingéré accidentellement de l'eau contaminée par du sulfate de nickel et le chlorure de nickel.

Nickel oral l'apport peut aggraver l'eczéma vésiculeux des mains et, éventuellement, eczéma apparaissant sur d'autres parties du corps où il n'y a pas eu tout contact cutané avec du nickel [31].

## **XII. TRAITEMENT DE L'EAU PROCESSUS D'ADSORPTION :**

### **1. Généralités sur l'adsorption :**

La problématique des eaux contenant des composés peu biodégradables tels que les composés organiques et les métaux lourds a conduit au développement de procédés efficaces.

Parmi eux, on trouve le procédé d'adsorption qui a déjà démontré ses potentialités [32]. Le terme adsorption a été proposé pour la première fois par Kayser en 1881 pour différencier entre une condensation de gaz à la surface et une adsorption de gaz [33].

Le terme générique « adsorption » est utilisé pour désigner l'accumulation d'espèces chimiques à l'interface entre une phase liquide et des surfaces solides

### **2. Définition d'Adsorption:**

L'adsorption est un phénomène d'accumulation d'un soluté (nommé adsorbat) sur une surface d'un solide (adsorbant). Elle est utilisée dans différents domaines à savoir [31].

Environnement : dans la récupération des molécules organiques et inorganiques contenues dans les eaux résiduaires industrielles, la récupération du gaz carbonique des fumées industrielles...

Séparation et purification des gaz et des liquides, comme :

La séparation du dioxyde de soufre de gaz d'évents par adsorption sur les zéolithes, séparation des molécules génératrices de goûts et d'odeur de l'eau potable par leur adsorption sur du charbon actif, séparation de sucres (adsorption du fructose sur des zéolithes pour les séparer du glucose et obtenir un sucre blanc)...  
Pétrochimie : dans la purification des gaz naturels.

### XIII. TYPES D'ADSORPTIONS :

#### 1. Adsorption physique ou physisorption :

La physisorption est un processus impliquant une faible perturbation de la structure électronique de la molécule, atome ou ion lors de l'adsorption. Elle met en jeu des forces faibles, de type Van Der Waals (forces de Keesom, de Debye et London) et des forces d'interaction électronique dues à la polarité des surfaces et à la polarisation des molécules.

Ces forces, sur une surface ouverte, sont moins importantes que celles dans les micropores. [34].

Dans ces derniers, l'adsorption est due au recouvrement des forces sur les deux parois du micropore. Au fur et à mesure que la largeur du pore augmente le potentiel d'adsorption diminue jusqu'à ce que le pore devienne l'analogie de deux surfaces ouvertes.

Etant exothermique et réversible, l'adsorption physique est accélérée à basse température et se produit sans modification de la structure moléculaire de l'adsorbât [35].

#### 2. Adsorption chimique ou chimisorption :

La chimisorption est un processus impliquant des liaisons covalentes et parfois ioniques entre les atomes de la surface de l'adsorbant et les molécules de l'adsorbât.

Contrairement au phénomène d'adsorption chimique s'observe aux hautes températures, elle met donc en jeu une chaleur d'adsorption assez grande. La chimisorption dépend fortement de la nature de l'adsorbant et donc implique l'existence à la surface du solide d'un certain nombre de sites d'adsorption sur lesquels les molécules, radicaux ou ions peuvent se fixer. Elle engendre une couche mono moléculaire et elle est souvent difficilement réversible.

Les caractéristiques qui permettent de distinguer l'adsorption physique de l'adsorption chimique sont récapitulées dans le tableau 5 [35].

**Tableau:5 caractéristiques de l'adsorption physique et chimique**

Adsorption physique	Adsorption chimique
Chaleur d'adsorption basse	Chaleur d'adsorption élevée
Non spécifique	Très spécifique
Formation de monocouche ou de multicouches	Formation de monocouche seulement
Rapide, réversible	Peut-être lente et irréversible
Pas d'échange d'électrons	Formation de liaison entre l'adsorbât et la surface de l'adsorbant par transfert d'électrons

### XIV. PRINCIPAUX FACTEURS INFLUENCANT L'ADSORPTION :

Dans le cas de l'adsorption en phase liquide, un grand nombre de facteurs sont susceptibles d'avoir une influence sur le processus d'adsorption [36].

Parmi ces facteurs sont :

### **1. Nature de l'adsorbat :**

#### **a) La solubilité**

Les composants les moins solubles sont adsorbés plus facilement

#### **b) Structure moléculaire**

Plusieurs paramètres liés à la structure moléculaire de l'adsorbat influent de façon très variée sur l'adsorption, parmi eux on peut citer :

- Les chaînes à ramification sont plus facilement adsorbées que les non ramifiées ;
- Les molécules contenant des liaisons insaturées sont plus facilement adsorbées que les molécules à liaison saturées.
- La nature des groupements fonctionnels de surface

#### **c) Polarité:**

Plus une substance est polaire, plus est grande son adsorption sur une surface polaire.

De même, moins une substance est polaire, plus grande est son adsorption sur une surface non polaire. [37].

### **2. Nature de l'adsorbant :**

Les caractéristiques propres de l'adsorbant jouent un grand rôle dans le processus d'adsorption, parmi ces caractéristiques nous citons [38].

#### **a) La surface spécifique**

L'adsorption est proportionnelle à la surface spécifique du solide. Elle est classée en deux types : surface interne et surface externe.

**Surface interne:** est la surface microporeuse et méso poreuse représentée par les parois des micropores. Elle peut atteindre plusieurs centaines de mètres carrés par gramme.

**Surface externe:** est la surface non-microporeuse ou la surface externe qui comprend les parois des micropores et la surface externe.

#### **b) Le volume des pores et leurs distributions**

La porosité est liée à la répartition de la taille des pores. Elle reflète la structure interne des adsorbants microporeux [38].

### **3. Conditions opératoires :**

#### **a) La température**

L'adsorption étant exothermique, les résultats sont meilleurs à froid. Par conséquent, toute élévation de la température diminue l'efficacité de l'adsorption sauf pour la chimisorption qui

nécessite plus d'énergie. En choisissant une température appropriée, on peut optimiser l'adsorption.

#### b) Le pH

Le pH joue rôle important sur la cinétique d'adsorption. Généralement les composés acides s'adsorbent à faible pH et les composés basiques à un pH élevé [38].

### XV. ISOTHERMES D'ADSORPTION :

Lorsqu'un adsorbant et un adsorbé sont mis en contact, un équilibre thermodynamique s'établit entre les molécules adsorbées à la surface de l'adsorbant et les molécules présentes en phase fluide. L'isotherme d'adsorption représente la quantité adsorbée en fonction de la concentration du soluté à l'équilibre à une température donnée.

Selon le couple adsorbé-adsorbant étudié, l'allure de la courbe isotherme peut être différente. La figure I.4 montre cinq types d'isothermes, établis par l'IUPAC

(International Union Of Pure And Applied Chemistry). Ces types d'isothermes se rencontrent dans le cas de l'adsorption en phase gazeuse comme aussi en phase aqueuse [39].

#### 1. Modèle de Langmuir :

Modèle de Langmuir, proposée en 1918 repose sur les hypothèses ci-dessous.

Il existe plusieurs sites d'adsorption à la surface de l'adsorbant.

Chacun de ces sites peut adsorber une seule molécule; par conséquent, une seule couche de molécules peut être adsorbée par le charbon activé.

Chacun de ces sites a la même affinité pour les impuretés en solution.

L'activité à un site donné n'affecte pas l'activité aux sites adjacents.

Le développement de la représentation de Langmuir, pour une isotherme d'adsorption chimique, repose sur un certain nombre d'hypothèses :

La surface du solide est uniforme la chaleur d'adsorption est indépendante du taux de recouvrement de la surface du solide l'adsorption est localisée et ne donne lieu qu'à la formation d'une monocouche il y a équilibre entre les molécules des deux phases

L'équation de l'isotherme de Langmuir est la suivante :

$$\frac{q_e}{q_m} = \frac{KL C_e}{1 + KL C_e} \quad (12)$$

Où :

**q<sub>e</sub>**: la quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre (mg/g)

**q<sub>m</sub>**: la capacité maximale d'adsorption.

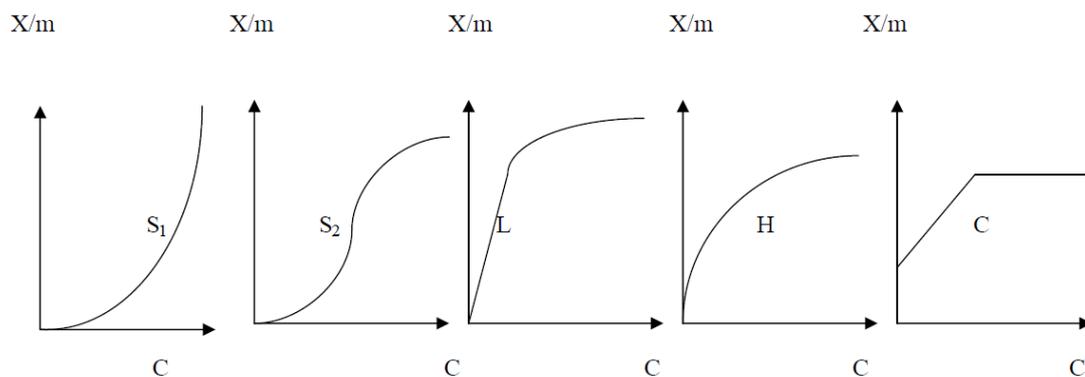
**KL** : constante d'équilibre de Langmuir (L/mg)

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

L'équation est linéarisable de la manière suivante:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{K_d}{q_m} + \frac{C_e}{q_m}$$

En traçant la droite  $C_e/q_e = f(C_e)$ , on détermine la valeur de la capacité maximum de la monocouche, en ce qui concerne l'adsorption en phase liquide, le modèle de Langmuir donne plusieurs types d'isothermes qui sont reliés assez précisément à divers modes de fixation de l'adsorbat sur l'adsorbant [40].



(Figure 2) Les différents types d'isothermes de Langmuir en phase aqueuse [40].

## 2. Modèle d'adsorption de Freundlich :

En 1926 Freundlich a établi une isotherme très satisfaisante qui peut s'appliquer avec succès à l'adsorption des gaz, mais qui a été principalement utilisée pour l'adsorption en solution ; il a constaté que le mécanisme de ce processus est assez complexe, du fait de l'hétérogénéité de la surface, ce qui rend la chaleur d'adsorption variable. On ne peut dans ce cas affirmer que tous les sites d'adsorption sont identiques du point de vue énergétique, du fait de la présence de différents types de défauts de structure dans l'adsorbant. Même dans le cas où la surface peut être considérée comme homogène, l'énergie d'adsorption peut diminuer les radicaux adsorbés.

En se basant sur ces constatations, Freundlich a établi les relations suivantes :

La tension superficielle d'un corps dissout à la concentration  $C$  peut s'exprimer par la relation :

$$\sigma = \sigma_0 - a C^n \quad (1.4)$$

En divisant l'équation par rapport à la concentration du corps dissout, on obtient  $d\sigma/dC$ , Qu'on peut reporter dans l'équation de Gibbs qui devient

$$\Gamma = K \cdot (C_e / RT) \cdot \sigma \cdot C_e^{(1/n)-1}$$

L'équation de Freundlich s'écrit alors:

$$q_e = (X/m) = K_f C_e^{1/n}$$

Où :

$\sigma$ : tension superficielle (énergie accumulée en surface);

$\Gamma$ : excès positif ou négatif de substances dissoutes fixées par unité de surface;

$X$ : nombre de grammes de substance adsorbée;

$q_e = (X/m)$ : quantité adsorbée par gramme de solide en (mg/g);

$C_e$ : concentration à l'équilibre en (mg/l);

$K_f$  et  $n$ : paramètres de Freundlich, caractéristiques de la solution et de l'adsorbant, déterminées expérimentalement.

Des valeurs élevées de  $K_f$  et  $n$  traduisent une forte adsorption des solutés, n'atoujours une valeur supérieure à 1 et souvent voisine de deux.

La linéarisation du modèle de Freundlich donne l'équation suivante :

$$\ln (X/m) = 1/n \ln C_e + \ln K_f$$

En portant  $\ln (X/m)$  en fonction de  $\ln C_e$ , on obtient une droite de pente  $(1/n)$  et d'ordonnée à l'origine égale à  $\ln K_f$ , d'où on tire les constantes de Freundlich  $K_f$  et  $n$ . [40].

## XVI. CLASSIFICATION DES PHENOMENES D'ADSORPTION :

L'adsorption est divisée en deux types :

### 1. Adsorption chimique (ou chimisorption) :

- Elle met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbat et l'adsorbant.
- Elle est généralement irréversible, produisant une modification des molécules adsorbées.
- Seules, les molécules directement liées au solide, sont concernées par ce type d'adsorption [41].
- La plupart des phénomènes chimiques correspondent à des réactions acido-basiques (transfert de proton), d'oxydoréduction (transfert d'électron), ou de complication.

### 2. Adsorption physique (ou physisorption) :

- l'adsorption physique se produit à des températures basses.
- Les molécules s'adsorbent sur une ou plusieurs couches (multicouches) avec des chaleurs d'adsorption souvent inférieure à 20 kcal/mol [42,43].

- Les interactions entre les molécules du soluté (adsorbât) et a la surface du solide (adsorbant) sont assurées par des forces électrostatiques de types dipôles, liaison hydrogène ou de van der waals[44,45].
- La physisorption est rapide, réversible et n’entraîne pas de modification des molécules adsorbées.

## XVII. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L’EAU :

### 1. Température :

Une température élevée accélère la plupart des réactions physico-chimiques et biologiques dans le réseau, influence la croissance bactérienne, dissipe l'effet du désinfectant résiduel en agissant sur les constantes d'équilibre et accélère la corrosion [46].

### 2. Le potentiel d’Hydrogène (pH) :

Le pH caractérise la concentration d'une eau ou d'une solution aqueuse en ions hydronium ( $H_3O^+$ ). Plus simplement, il mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une eau.

Une eau acide et agressive ( $0 < pH < 7$ ) corrode les parties métalliques des canalisations de distribution. Le risque sanitaire est alors fonction des métaux qui passent en solution dans l'eau (comme le plomb par exemple : risque de saturnisme hydrique). De plus la pérennité des installations est en jeu, surtout sur les circuits d'eau chaude, où la température accentue la corrosion.

Une eau basique ou alcaline ( $7 < pH < 14$ ) diminue l'efficacité de la désinfection au chlore. Au-dessus de 9 unités pH, il est conseillé de ne pas utiliser cette eau pour la toilette. En effet cette eau peut provoquer des irritations oculaires et une aggravation des affections cutanées [47].

**Normes :** entre **6.5** et **8.5**

## XVIII. ABSORBANTS A BASE DE POLYMERE :

Ce sont pour la plupart des produits en développement qui n'ont actuellement que des applications très spécifiques et peu nombreuses.

Le plus répandu est un copolymère du styrène et du divinylbenzène: le polystyrène forme des chaînes reliées entre elles par des Ponts de di vinylbenzène, ce qui confère une porosité inter chaîne à la structure.

Une caractéristique importante de ces adsorbants est qu'ils sont très hydrophobes. Ces Produits peuvent être utilisés tel quel ou subir une carbonisation. On obtient alors des adsorbants voisins des charbons actifs. Si le polymère initial est préparé en fibres, on peut le tisser et obtenir des tissus de charbon actif.

Le diamètre de fibre étant de l'ordre de 10 microns, le temps de transfert est beaucoup plus rapide que pour tous les autres adsorbants.

Sa surface spécifique peut atteindre pour les Tissus de charbon actif 2000 m<sup>2</sup> /g [48].

### **1. Facteurs caractérisant l'adsorbat :**

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

• De la structure et la taille des molécules :

Un haut poids moléculaire réduit la diffusion et par conséquent la fixation de l'adsorbat ;

• De sa solubilité : moins une substance est soluble, mieux elle est adsorbée.

• De sa concentration. [48].

### **2. Facteurs caractérisant l'adsorbant :**

Un solide adsorbant est caractérisé par des propriétés physicochimiques, mécaniques et géométriques, les plus importantes sont les propriétés géométriques. [49].

#### **a- La surface spécifique**

La surface spécifique est une mesure essentielle de la capacité de sorption de l'adsorbant. Elle désigne la surface accessible rapportée l'unité de poids d'adsorbant. Une surface spécifique est d'autant plus grande, si l'adsorbant est plus divis.

#### **b- La structure de l'adsorbant**

L'adsorption d'une substance croît avec la diminution de la taille des particules et les Dimensions des pores de l'adsorbant. Mais si le diamètre des pores est inférieur au diamètre des molécules, l'adsorption de ce composé sera négative, même si la surface de l'adsorbant a une grande affinité pour le composé.

La distribution des tailles des pores joue un rôle important dans la cinétique globale du Processus d'adsorption.

#### **c- La polarité**

Les solides polaires adsorbent préférentiellement les corps polaires, et les solides Apolaires adsorbent les corps apolaires. L'affinité pour les substrats croît avec la masse moléculaire de l'adsorbat.

L'adsorption est plus intense pour les corps qui ont relativement plus d'affinité pour le Soluté que pour le solvant [49].

### **3. Application de l'adsorption en phase liquide :**

On peut classer les applications de l'adsorption en phase liquide en deux domaines :

Celui du traitement des solutions diluées et celui du fractionnement des mélanges liquides, Bien que, dans les deux cas, il s'agisse toujours de séparation de composés chimiques.

Les applications industrielles concernant le traitement des solutions diluées (Purification et extraction) sont extrêmement nombreuses. Les traitements les plus importants en tonnage concernent :

- La décoloration des jus sucrés ;
- La purification de divers produits pétroliers et de matières grasses animales et végétales
- Le traitement des eaux (élimination, des métaux lourds, des odeurs et de la matière Organique)
- La dessiccation des produits organiques industriels [50].

# *Chapitre II :*

## *Méthodes de caractérisation*

## I. TECHNIQUES SPECTROSCOPIQUES :

### 1. Généralités sur les méthodes spectroscopiques :

Les méthodes spectroscopiques les plus couramment rencontrées en chimie portent les noms de spectroscopies infrarouge (IR), spectrophotométrie ultraviolet-visible, spectroscopie de résonance magnétique nucléaire (RMN), ou encore spectroscopie de masse (SM) et spectroscopie de résonance paramagnétique électronique (RPE).

Les méthodes spectroscopiques sont des techniques basées sur l'interaction entre un photon et un atome ou plus généralement une molécule. L'énergie du photon est absorbée par la molécule qui se retrouve alors dans un état excité. Selon l'énergie du photon, plusieurs types de processus d'excitation peuvent être engagés. La mécanique quantique nous a appris que les différentes particules du monde microscopique suivent des règles très précises : les sauts d'énergie sont quantifiés.

Les particules sont au repos dans un niveau fondamental d'énergie  $E_1$ , et se retrouvent ensuite par apport d'une énergie  $E$  dans un niveau excité  $E_2$ , avec

$$E = E_2 - E_1 \quad [51].$$

### 2-Définition :

Les méthodes spectroscopiques permettent de déterminer les caractéristiques géométriques et énergétiques des molécules.

Elles sont essentiellement utilisées pour déterminer les structures moléculaires.

La spectroscopie résulte de l'interaction entre un rayonnement électromagnétique et une molécule.

L'énergie d'une molécule résulte de quatre contributions :

L'énergie des électrons ( $E_e$ )

L'énergie de translation ( $E_t$ )

L'énergie de vibration ( $E_v$ )

L'énergie de rotation ( $E_r$ ).

Ces énergies sont quantifiées. L'absorption d'une radiation électromagnétique de fréquence  $\Delta$  induit une variation d'énergie de la molécule, sans action  $E_t$  :

$$E = E_e + E_t + E_v + E_r$$

$$\square \Delta E = h\nu = \Delta E_e + \Delta E_v + \Delta E_r$$

Energie		Niveaux Vibrationnels
Niveaux	_____	v = 3
Electroniques	_____	v = 2
	_____	v = 1
n = 2	_____	v = 0
		v = 3
		v = 2
Niveaux rotationnels □	=====	v = 1
n = 1	_____	v = 0

**Figure 3 : Niveaux d'énergie**

Grandeur Ordres de grandeur

$\Delta E_e$  De l'ordre de 1 eV : transition dans l'UV-visible.

$\Delta E_v$  De l'ordre du 1/10 d eV : transition dans l'IR.

$\Delta E_r$  De l'ordre du 1/1000 d eV : transition dans les micro-ondes[52].

### **3-Domains d'application de la spectroscopie :**

La spectroscopie permet d'expliquer un grand nombre de phénomènes qui nous entourent en permanence :

la couleur de nos habits, du ciel.... [53].

Dans les laboratoires, elle permet :

- L'identification des molécules
- La détermination des structures
- L'étude des cinétiques de réaction
- la détermination des mécanismes réactionnels

-Les dosages

-Les analyses médicales (IRM, scintigraphie, mammographie&)

## II. LA SPECTROSCOPIE INFRAROUGE :

La spectroscopie infrarouge est une technique d'analyse physico-chimique qui sonde les liaisons entre les noyaux atomiques et leurs arrangements. Cette méthode permet d'accéder directement à l'information moléculaire, à la nature chimique, à l'organisation et à la structure des matériaux analysés. Sous l'effet du rayonnement IR, les molécules de l'échantillon analysé vont subir des changements d'état vibrationnel, à des fréquences de vibration caractéristiques de chaque groupement moléculaire [54].

### Principe :

Lorsque l'énergie de l'onde est voisine de celle de vibration de la molécule, cette dernière va absorber le rayonnement et on enregistrera une diminution de l'intensité réfléchie ou transmise.

Le domaine infrarouge entre  $4000\text{ cm}^{-1}$  et  $400\text{ cm}^{-1}$  ( $2.5 - 25\ \mu\text{m}$ ) correspond au domaine d'énergie de vibration des molécules (Figure 2).

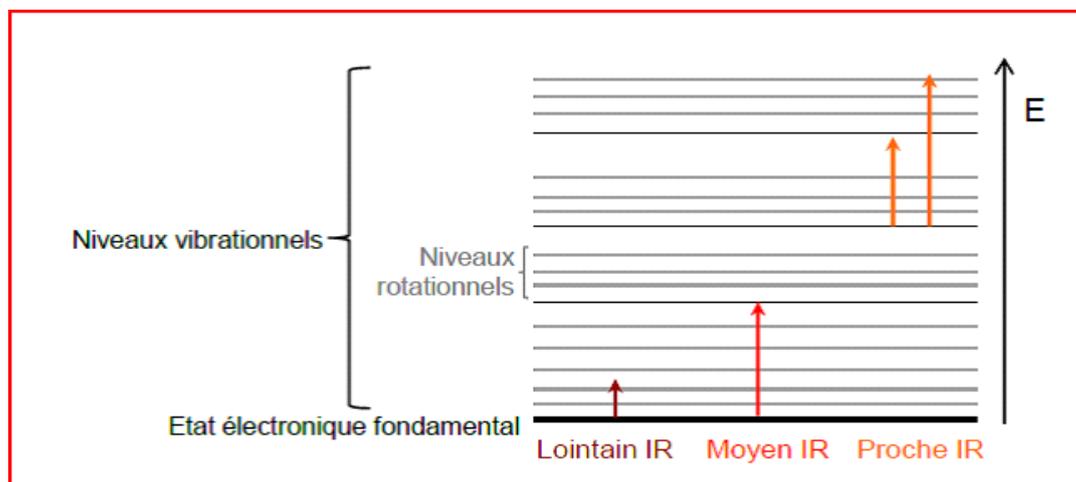


Figure 4: Diagramme d'énergie d'une molécule avec les différentes transitions possibles dans le domaine de l'infrarouge

Toutes les vibrations ne donnent pas lieu à une absorption, cela va dépendre aussi de la géométrie de la molécule et en particulier de sa symétrie. Pour une géométrie donnée, on peut déterminer les modes de vibration actifs en infrarouge grâce à la théorie des groupes. La position de ces bandes d'absorption va dépendre en particulier de la différence d'électronégativité des atomes et de leur masse. Par conséquent, à un matériau de composition chimique et de structure données va correspondre un ensemble de bandes d'absorption caractéristiques permettant d'identifier le matériau.

Dans l'IR lointain ( $hc/\lambda$  très petite), un photon incident n'aura sur une molécule qu'un effet très faible : on aura des modifications des énergies de rotation de la molécule qui sont quantifiées. Dans l'IR moyen et proche, un photon incident modifiera les énergies de rotation et en plus de vibration [55] [56].

Ces énergies de vibration sont également quantifiées :

- \_ Modification des énergies d'oscillations des longueurs de liaisons interactions de valence
- \_ Modification des énergies d'oscillations des angles entre les liaisons interactions de déformation
- \_ De l'infrarouge (IR), le rayonnement est faiblement énergétique et ne peut affecter principalement que les modes de vibrations des molécules. Ces interactions sont utilisées notamment dans la spectroscopie IR et la spectroscopie Raman [57].

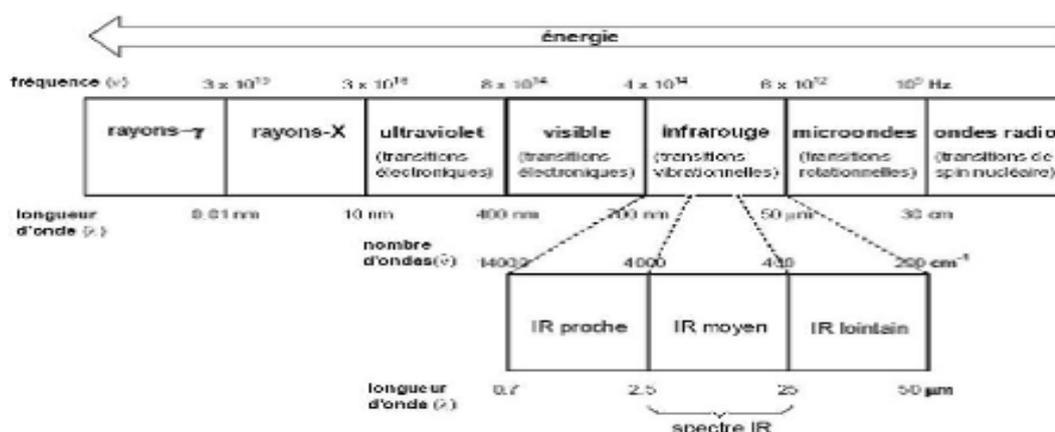


Figure 5: domaine de l'IR dans le spectre électromagnétique [58].

**III. SPECTROSCOPIE DE RESONNANCE MAGNETIQUE NUCLEAIRE RMN :**

La résonance magnétique nucléaire (RMN) est fondée sur la mesure de l'absorption de la radiation de radiofréquence (RF) par un noyau atomique dans un champ magnétique fort.

L'absorption de la radiation pousse le spin nucléaire à se réaligner ou à retourner dans la direction de la plus haute énergie.

Après avoir absorbé l'énergie, les noyaux atomiques réémettront une radiation RF et retourneront à leur état initial de moindre niveau d'énergie.

**1. Principe de la RMN :**

Les noyaux atomiques dotés d'un nombre impair de protons, de neutrons ou des deux, auront un spin nucléaire intrinsèque.

Lorsqu'un noyau atomique avec un spin non nul est placé dans un champ magnétique, le spin nucléaire peut s'aligner soit dans la même direction soit dans la direction opposée au champ.

Ces deux types d'alignement de spin nucléaire sont caractérisés par des énergies différentes, et l'application d'un champ magnétique facilite la levée de dégénérescence des spins nucléaires.

Un noyau atomique dont le spin est aligné avec le champ aura une moindre énergie que lorsque son spin est aligné dans la direction opposée du champ.

L'énergie d'une transition de RMN dépend de la force de champ magnétique ainsi qu'un facteur de proportionnalité s'appliquant à chaque noyau appelé rapport gyromagnétique.

L'environnement local autour d'un noyau donné dans une molécule a tendance à légèrement perturber le champ magnétique local exercé sur ce noyau et à affecter son énergie de transition exacte.

Cette dépendance de l'énergie de transition vis-à-vis de la position d'un atome particulier dans une molécule rend la RMN extrêmement utile pour la détermination de la structure des molécules. La spectroscopie par RMN constitue l'un des plus puissants instruments de détermination de la structure des espèces organiques aussi bien qu'inorganiques.

Cette technique s'est également montrée utile dans la détermination quantitative des espèces absorbantes[59].

## 2-Interprétation des spectres RMN –H et RMN \_C :

Les spectres RMN –H et RMN \_C révèlent, ainsi la présence des principaux signaux relatifs au produit attendu Les résultats sontregroupés dans les tableaux

**Tableau1 : Déplacements chimiques observe après analyse par RMN H des produits KFZ 3**

Nature du proton	_CH2_	_CH_	_CH2_Cl_	CH aromatique
Déplacement chimiqueKFZ3 : (ppm)	1 ,49	1,73	4,5	7,2_ 6,71

**Tableau 2 : Déplacements chimiques observe après analyse par RMN C des produits KFZ 3**

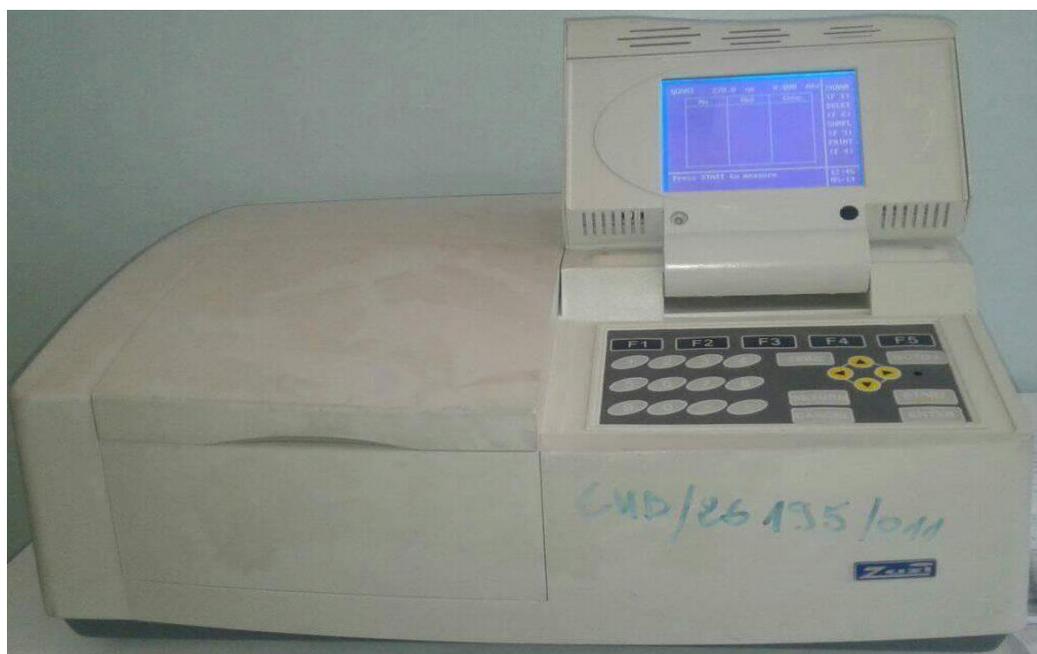
Nature du carbone	_CH2_	_CH_	_CH2_Cl_	C=C aromatique
Déplacement chimiqueKFZ3 : (ppm)	26,71	29,72	46 ,53	125_130

L'analyse par spectroscopie de résonance magnétique nucléaire du proton et du carbone 13 montre donc que les signaux et les déplacements chimiques observe correspondant bien à la structure du polymère. [60].

**IV. SPECTROSCOPIE UV-VISIBLE :**

La spectroscopie d'absorption ultra-violette visible est à la fois une méthode d'analyse fondée essentiellement sur le phénomène d'absorption d'énergie lumineuse par des composés chimiques. L'absorption des rayons ultraviolets entraîne l'excitation des électrons de l'état fondamental à un état d'énergie plus élevé. L'énergie du rayonnement ultraviolet absorbé est égale à la différence d'énergie entre l'état fondamental et les états d'énergie plus élevés.

Généralement, la transition la plus favorisée provient de l'orbital moléculaire occupé le plus élevé (HOMO) à l'orbital moléculaire inoccupé le plus bas (LUMO). Pour la plupart des molécules, les orbitales moléculaires les plus faibles en énergie sont les orbitales, qui correspondent aux liaisons sigma. Le domaine du spectre ultraviolet utilisable en analyse s'étend de 200 à 400 nm alors que celui du spectre visible est de 400 à 800 nm. Les spectres U.V visible provenant des excitations électroniques sont obtenus à partir des composés qui contiennent des liaisons multiples et conjuguées, ils correspondent à des spectres d'émission ou d'absorption [61]. Le spectre UV-visible a été enregistré dans le DMSO à température ambiante à l'aide d'un appareil spectrophotomètre UV-visible, à double faisceau « Unicam UV 300 » relié à un micro-ordinateur version vision 32 qui donne directement les densités optiques (DO).



**Figure 6: Spectromètre UV- visible Unicam UV 300[61].**

**1. Principe :**

La spectroscopie UV obéit à la loi de Beer-Lambert, qui stipule que: lorsqu'un faisceau de lumière monochromatique passe par une solution d'une substance absorbante, la vitesse de diminution de l'intensité du rayonnement avec l'épaisseur de la solution absorbante est proportionnelle au rayonnement incident ainsi que la concentration de la solution.

L'énergie fournie par le faisceau lumineux dont la longueur d'onde doit satisfaire à la relation :  $E = h c / \lambda = h \nu$  (relation de PLANK) (1)

Où :

$h$  : constante de PLANK (J.s).

$C$  : vitesse de la lumière (m/s).

$E$  : l'énergie d'onde (J).

$\lambda$ : longueur d'onde (m).

$\nu$ : fréquence (s<sup>-1</sup> ou Hz).

L'expression de la loi Beer-Lambert est:  $A = \log I_0/I = \log 1/T = \epsilon \cdot l \cdot C$  (2)

Avec :

$A$  : Absorbance (sans unité)

$I_0$  et  $I$ , les intensités respectives de la lumière incidente et transmise.

$l$  : parcours ou trajet optique (correspond à la largeur de la cellule).

$C$  : Concentration molaire en solution de l'espèce absorbante (mol.dm<sup>-3</sup>).

$\epsilon$  : coefficient d'absorption molaire ou d'extinction molaire (dm<sup>3</sup>.mol<sup>-1</sup>.cm<sup>-1</sup>).

$T(\%)$  : Transmittance

De la loi de B er-Lambert, il est clair que plus le nombre de molécules capables d'absorber la lumière d'une longueur d'onde donnée, plus l'étendue de l'absorption de lumière n'est grand. C'est le principe de base de la spectroscopie UV.

**2. Les domaines d'application de la spectroscopie UV-visible :**

Détection de groupes fonctionnels

La spectroscopie UV est utilisée pour détecter la présence ou l'absence de chromophore dans le composé. Cette technique n'est pas utile pour la détection de chromophores dans des composés complexes. L'absence d'un groupe sur un groupe particulier peut être considérée comme une preuve de l'absence d'un groupe particulier.

Si le spectre d'un composé se révèle transparent au-dessus de 200 nm qu'il confirme l'absence de :

- a) Conjugaison.
- b) Un groupe carbonyle.
- c) Benzène ou composé aromatique.
- d) Des atomes de brome ou d'iode [61].

## V. LA SPECTROSCOPIE RAMAN :

Dans cette partie nous allons décrire les bases théoriques et techniques de la spectroscopie Raman, le principe de cette technique d'analyse ainsi que ses applications. L'intérêt de cette partie est aussi de présenter les limites actuelles de la spectroscopie Raman.

La découverte de l'effet Raman date des années 1920, mais ce type de spectroscopie n'a d'abord été qu'un objet de recherche fondamentale, à cause de difficultés expérimentales. La commercialisation de lasers comme sources excitatrices et la conception d'appareils munis de microscopes ont rendu cette technique plus maniable.

La spectroscopie Raman est complémentaire de l'analyse infrarouge et conduit à une information moléculaire.

L'effet Raman est un phénomène physique de diffusion de la lumière.

Les caractères essentiels de l'effet Raman se sont alors dégagés :

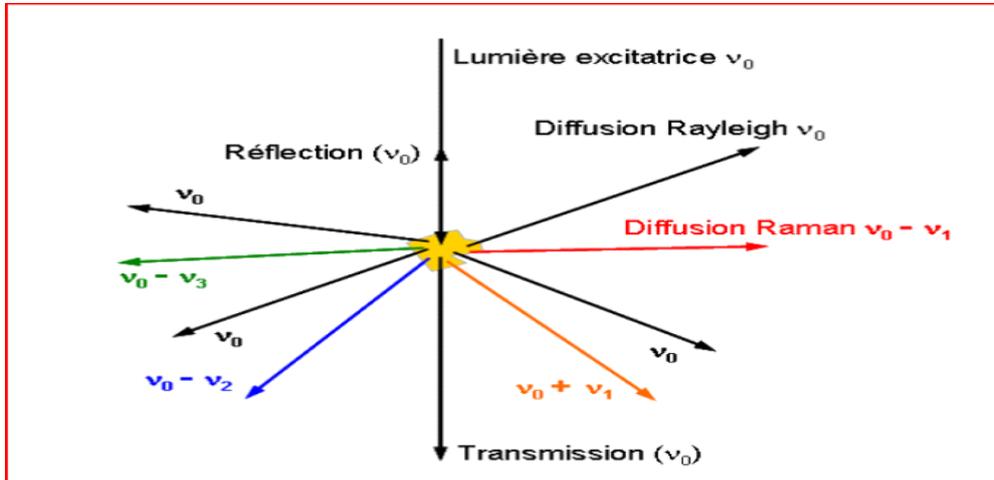
La diffusion d'une radiation monochromatique par des systèmes polyatomiques entraîne l'apparition de radiations de très faibles intensités dont les fréquences sont différentes de celle de la radiation incidente.

Les changements de fréquence observés lors de l'excitation d'un échantillon sont essentiellement liés aux vibrations atomiques. Cependant, l'effet Raman reste un phénomène de très faible intensité car seul un photon sur un million sera diffusé contre un pour dix mille Pour l'effet Rayleigh [62 63].

### **Principe :**

Le principe physique de cette méthode repose sur les différentes manières dont la lumière est renvoyée lorsqu'elle arrive sur la surface de l'objet [64].(Figure 5).

- \_ Une partie de cette lumière est réfléchiée par la première couche d atome
- \_une seconde est transmise dans les cristaux isotropes ou anisotropes selon des règles d'optique ;
- \_une troisième est absorbée et transformée en chaleur
- \_ Et enfin une quatrième est diffusée dans toutes les directions de l'espace ;



**Figure 7 : illustration de la diffusion de la lumière et des échanges d'énergie en diffusion Raman (Phénomènes de réflexion, transmission, absorption et diffusion de la lumière) [64].**

## VI. MICROSCOPIE RAMAN :

Le développement des microscopes, appliqués à la spectroscopie Raman, représente une évolution importante quant à l'emploi de la diffusion Raman. La microscopie Raman utilise la configuration en rétrodiffusion :

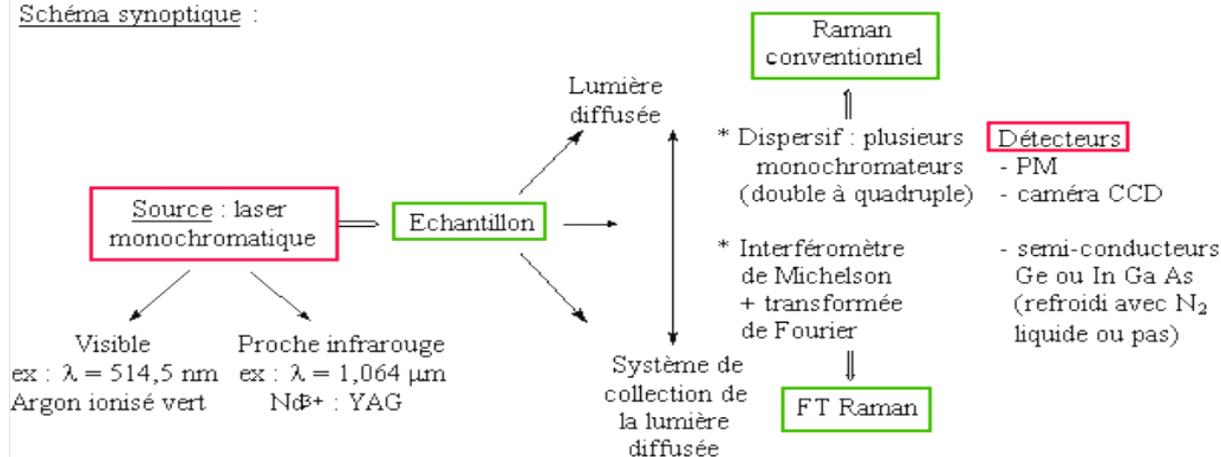
le faisceau laser est focalisé sur l'échantillon par l'intermédiaire de l'objectif puis la lumière Raman diffusée est collectée par ce même objectif dans le sens inverse du passage du faisceau incident (Figure 8) [65].

Comme les spectromètres IR, on distingue deux grands types d'appareillage :

Les spectromètres Raman conventionnels et les spectromètres Raman à transformée de Fourier.

Les éléments principaux sont indiqués sur le schéma suivant :

Schéma synoptique :



Explication des sigles :

PM = photomultiplicateur

caméra CCD = Charged Coupled Device

Ge : germanium

In Ga As : Arsénure d'Indium dopé au Gallium

Nd<sup>3+</sup> : YAG : cristal d'un garnet d'yttrium aluminium dopé avec 3% d'ions Nd<sup>3+</sup>**Figure 8:Description schématique d'un système Raman.**

Les différents éléments d'un spectromètre Raman classique sont :

- Une source de lumière laser
- Un système optique d'illumination
- Un support d'échantillon
- Un système optique de collection de la lumière diffusée
- Un monochromateur
- Un détecteur de rayonnement
- Un système électronique et informatique d'analyse des résultats

### **Domaines d'application de la spectroscopie Raman :**

Les nombreux développements instrumentaux ont permis depuis une vingtaine d'années une renaissance de la spectrométrie Raman qui, complémentaire de l'infrarouge au niveau conceptuel, l'est aussi au niveau des applications. Les exemples traités dans la littérature montrent qu'elle est susceptible de très nombreuses applications, parmi lesquelles on note [67-68] :

- la Détermination de la structure chimique (C=O, C=C, O-H, C-O, C-C, C-S, ... etc.).
- la Configuration (cis, Trans.) tacticité pour les polymères.
- la Conformation (arrangement planaire, en hélice á, â, ... etc. en feuillets) : domaine de la biologie.
  - la Détermination de la cristallinité et de l'épaisseur lamellaire (modes à basses fréquences) pour les polymères.
  - L'Etude des forces intra et intermoléculaires (liaison hydrogène).
  - l'Etude de l'orientation des molécules (polarisation).
  - les Analyses de traces.

- les Analyses quantitatives.

## VII. LA DIFFRACTION DES RAYONS X :

### 1. principe:

La diffraction de rayons X est une onde électromagnétique monochromatique projetée sur une surface d'un alliage, le rayon pénètre dans le métal.

Une interaction entre le rayon et les atomes peut provoquer une transmission et une absorption de ces rayons par l'échantillon.

Encore, une partie réfractée, dispersée et une autre partie diffractée. La partie diffractée a été décrite par la loi de Bragg suivant :

$$n\lambda = 2d \sin \theta \text{ Eq. 2.1}$$

Avec:

n: ordre de réflexion,

d: la distance entre les plans du réseau atomique,

$\lambda$ : longueur d'onde et l'angle d'incidence

$\theta$ : l'angle entre le faisceau incident et les plans diffusant

Habituellement, les spectres de rayons X peuvent être représenté par l'intensité des pics en fonction de l'angle d'incidence  $2\theta$ . Dans notre travail, nous présenterons les spectres de Rx en utilisant l'intensité des pics en fonction de vecteur d'onde (Q), donnée par la relation suivante:

$$Q = 2\pi/dhkl = 4\pi \sin(\theta_{Cu})/\lambda_{Cu} \text{ Eq. 2.2}$$

L'expression de l'intensité diffractée dans l'espace des vecteurs d'onde Q permet de la transformer en espace d'angle de diffraction d'une autre radiation (par exemple la radiation  $K\alpha$  du cuivre) par l'équation 2.2.

Cette transformation est très utile afin d'identifier les phases cristallines du diffractogramme en comparant les positions des pics avec les fiches de bases de données auxquelles ces pics pourraient appartenir.

Enfin ; il est possible d'estimer la taille moyenne des grains en utilisant les spectres de rayons X par la formule de Scherrer (eq. 2.3) qui relie la taille moyenne et largeur à mi-hauteur du pic le plus intense dans le spectre [69].

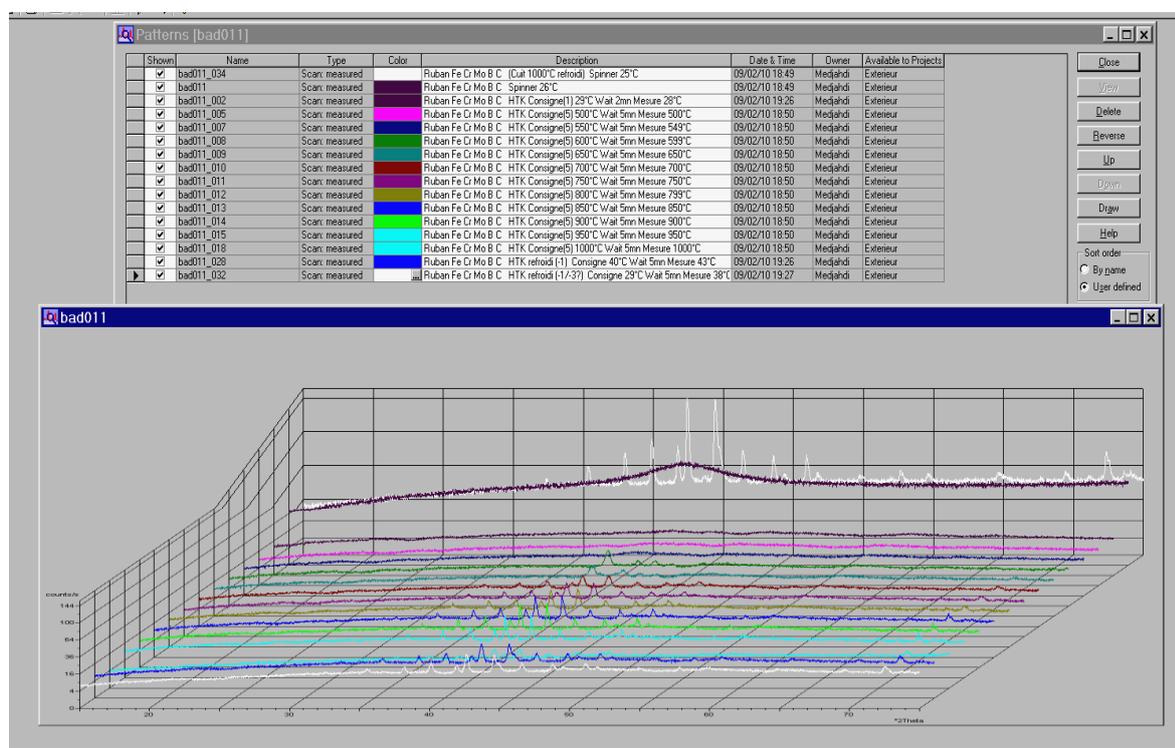
$$L = 0.9 \lambda / D \cdot \cos \theta \text{ Eq. 2.3}$$

Avec:

L: la taille des grains;  $\lambda$ : longueur d'onde,  $\theta$ : valeur de l'angle de diffraction et

D: largeur à mi-hauteur du pic.

Dans ce travail, les mesures de diffraction de rayons X ont été réalisées sur un diffractomètre du Panalytical X'pert Philips PW 1830 avec une radiation de  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda=1.5418 \text{ \AA}$ ) avec la radiation de  $\text{CoK}\alpha$  ( $\lambda= 1.7897 \text{ \AA}$ ) ont été réalisées au niveau du laboratoire l'IFM université de Turin. D'autre part, la cinétique de la cristallisation (**fig.9**), a été mesuré par diffractomètre Panalytical X'pert in situ couplé à une chambre en température (four de la température ambiante jusqu'à la température  $1200^\circ\text{C}$ ), il est équipé d'un détecteur rapide X'Celerator avec la radiation de  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda=1.5418 \text{ \AA}$ ). Ces mesures ont été effectuées au niveau de l'institut Jean Lamour Nancy (France). Dans ce travail les phases cristallines ont été identifiées en utilisant les bases de données du logiciel PCPDFWIN (International Centre for Diffraction Data, USA, 1997).

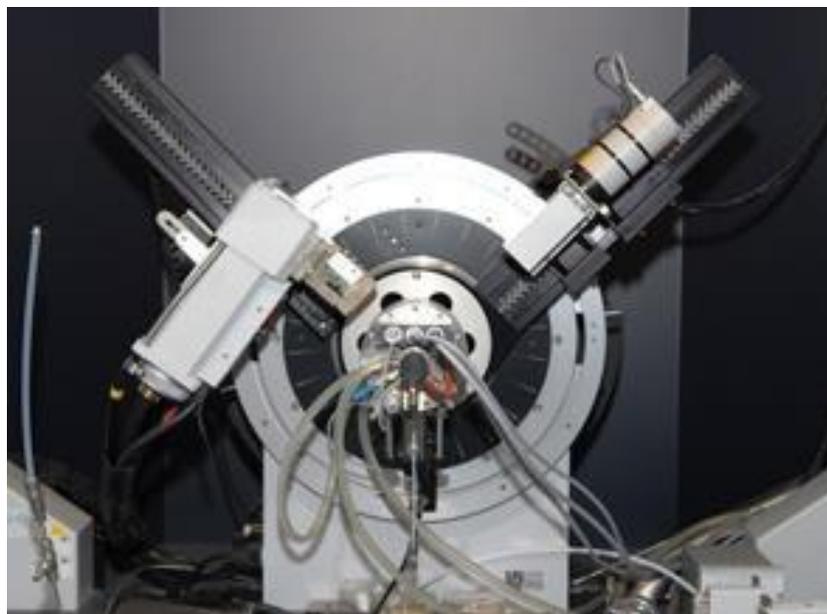


**Figure 9: Exemple de fenêtre du logiciel HT-DRX lors de l'étude de la cinétique de cristallisation [69].**

## **2.Méthode:**

La diffraction des rayons X est une méthode de haute technologie pour l'analyse non destructive d'une large gamme de matériaux (les métaux, les minéraux, les polymères, les catalyseurs, les matières plastiques, produits pharmaceutiques, les revêtements à couche mince, la céramique et les semi-conducteurs). La demande fondamentale de la diffraction des rayons X est l'identification qualitative de la composition minéralogique d'un cristal de l'échantillon. Il est sous la forme d'une poudre aplanie dans une coupelle, ou bien sous la

forme d'une plaquette solide plate. Des rayons X sont envoyés sur cet échantillon, et un détecteur fait le tour de l'échantillon pour mesurer l'intensité des rayons X selon la direction. Pour des raisons pratiques, on fait tourner l'échantillon en même temps, ou éventuellement on fait tourner le tube produisant les rayons X.



**Figure 10:Appareil de Diffraction des Rayons X. modèle Bruker D8-Advance**

### **3. champ d'application:**

La diffractométrie de rayons X est une méthode d'analyse physico-chimique. Elle ne fonctionne que sur la matière cristallisée (minéraux, métaux, céramiques, produits organiques cristallisés), mais pas sur la matière amorphe (liquides, polymères, verres), toutefois, la matière amorphe diffuse les rayons X, et elle peut être partiellement cristallisée, la technique peut donc se révéler utile dans ces cas-là. Par contre, elle permet de reconnaître des produits ayant la même composition chimique brute, mais une forme de cristallisation différente[70].

## **VIII. ANALYSE CALORIMETRIQUE DIFFÉRENTIELLE (DSC) :**

La DSC décrite pour la première fois en 1964 comporte des éléments de chauffage séparés [71. 72].

Le principe de la méthode est de maintenir une différence de température nulle entre la référence et l'échantillon ( $\Delta T = 0$ ). Pour ce faire, l'écart de température dû à la réaction dans l'échantillon est mesuré par la différence de signal entre deux sondes sensibles (Pt-100 $\Omega$ ), situées respectivement sous l'échantillon et sous la référence.

Cette différence est immédiatement annulée par une variation de la puissance délivrée par les éléments de chauffage (notée  $D_p$ ) [73]. D'où la notion de calorimétrie caractérisant cette méthode. Le signal obtenu en DSC correspond à cette différence de puissance.

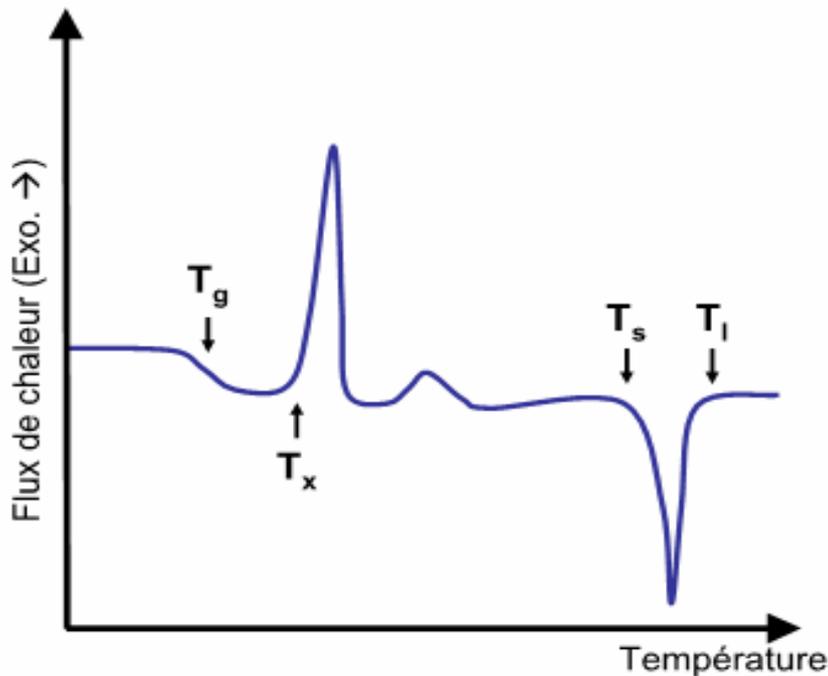
La DSC se trouve à l'intersection des trois sciences : la cinétique, la thermique et la thermodynamique. Actuellement, il est possible d'améliorer l'analyse thermique avec des creusets légers à faible inertie thermique, d'où une constante de temps du signal plus petite. Le dépouillement et le traitement des thermo-grammes sont offerts par les logiciels, en particulier en ce qui concerne les options d'intégration des pics [74]. Pour l'analyse de thermo-grammes en DSC, MettlerToléro décrit différentes interprétations de courbes pour des mesures dynamiques et pour des mesures isothermes [75 .76].

### **IX. CALORIMETRIE DIFFERENCIEL A BALAYAGE (DSC) :**

L'idée de l'analyse thermique est basée sur trois facteurs chacun lié à l'autre le temps ( $t$ ), la température ( $T$ ) et le flux de chaleur ( $dQ/dt$ ).

La substance subit plusieurs transformation pendant ce traitement représenté par la courbe flux de chaleur en fonction de la température qui inclut deux réactions, endothermique (chaleur absorbée) et exothermique (la chaleur libéré).

Bien que, dans cette étude, la technique DSC a été employé comme une technique principale pour déterminer l'existence et la mesure de phase amorphe dans des échantillons projetés. De plus, cette technique a été aussi employée, comme un outil pour vérifier l'existence de la température de la transition vitreuse ( $T_g$ ), de la cristallisation ( $T_x$ ) et de liquidus ( $T_l$ ) de l'alliage projeté (**fig.11**)



**Figure 11: Courbe de DSC typique d'un verre métallique représente la température de transition vitreuse ( $T_g$ ), Cristallisation ( $T_x$ ), fusion ( $T_m$ ), liquidus ( $T_l$ ) et la zone de liquide surfondu ( $\Delta T_x$ ).[77]**

## X. LA VISCOSITE :

### Définitions :

La viscosité (du latin viscum, gui) est un paramètre important de la qualité de la plupart des produits finis. C'est une grandeur physique qui exprime la capacité d'un corps à s'opposer au cisaillement [78].

Peut-être aussi défini comme la résistance à l'écoulement uniforme et sans turbulence se produisant dans la masse d'une matière. On considère idéalement un liquide au repos comme un ensemble de couches moléculaires parallèles. Soumise à une contrainte tangentielle, une des couches du liquide se déplace par rapport à celle qui lui est sous-jacente en raison du frottement permanent sur les molécules de la seconde couche, le mouvement est transmis partiellement à cette dernière, en même temps que la vitesse de déplacement de la première couche diminue. Cet effet de retard, provoqué par la friction interne des molécules de la couche sous-jacente sur celle de la couche supérieure, est appelé la viscosité [79].

La viscosité se manifeste chaque fois que les couches voisines d'un même fluide sont en mouvement relatif, c'est à dire lorsqu'il s'établit un gradient de vitesse. On peut donc dire de la viscosité qu'elle est la mesure du frottement fluide [80].

## XI. METHODE DE MESURE DE VISCOSITE :

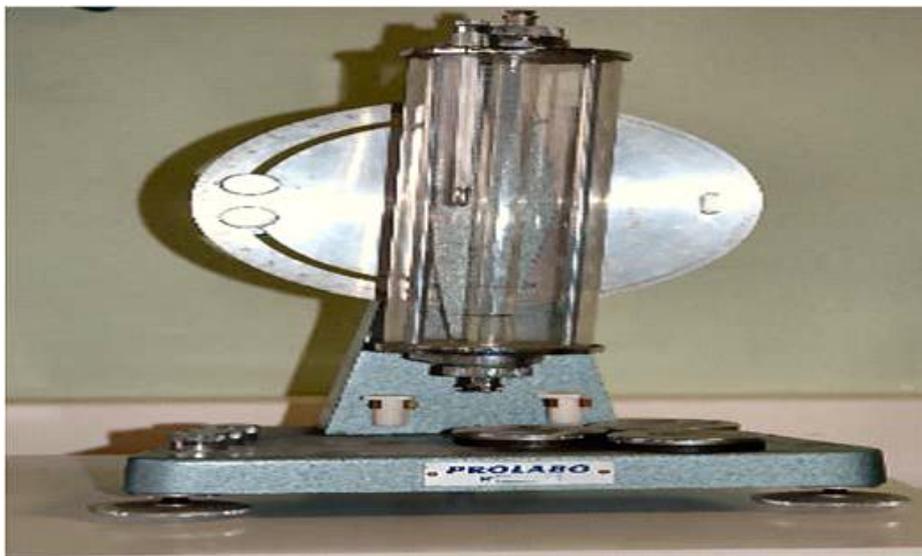
En vue de comprendre les comportements d'un fluide complexe, les mesures de la viscosité classiquement faites en utilisant un viscosimètre, il s'agit de méthodes de mesure rapides et pratiques.

### 1. Méthode directe par un viscosimètre :

Il existe plusieurs types de viscosimètre comme : Le viscosimètre à corps chutant, le viscosimètre à corps vibrants et le viscosimètre à tube capillaire.

#### a) Les viscosimètres à corps chutant

Sont généralement utilisés pour effectuer des mesures relatives en mesurant le temps de chute libre d'un corps solide dans un liquide sous l'influence de la gravité. Les viscosimètres les plus courants sont ceux à bille chutant verticalement ou à bille roulant sur un plan incliné [81].



**Figure12 : viscosimètre d'Hoppler**

#### b) Les viscosimètres à tube capillaire

Ont comme avantages la simplicité de construction et l'utilisation sous pression atmosphérique.

Le principe de ces viscosimètres est basé sur l'application de l'équation de Poiseuille qui permet de calculer la viscosité d'un liquide qui s'écoule dans un tube circulaire de faible section à partir de son champ de vitesse, de la section du canal et d'autres paramètres connus de viscosimètre. Ce type permet d'étudier les systèmes newtoniens (Ex : viscosimètre d'Oswald, viscosimètre Hubbelohde)

(Ex : viscosimètre d'Oswald, viscosimètre Hubbelohde)



**Figure13 :Viscosimètre Hubbelohde**

c) Les viscosimètres rotatifs

Contrairement aux viscosimètres précédents, les appareils à mobile tournant (appelés aussi à géométrie variable) permettent de faire varier le taux (ou la tension) de cisaillement et ainsi d'étudier les systèmes newtoniens et non newtoniens.

Ces viscosimètres possèdent un ensemble de tiges de différentes géométries, de façon à obtenir la meilleure précision dans l'intervalle de viscosités du produit (ex: viscosimètre Brookfield, viscosimètre Funfilab) [82].



**Figure 14: viscosimètre fungi lab**

d) Les viscosimètres à corps vibrants

Consistent à caractériser les déformations d'un corps solide (fil, lame) immergé dans un liquide. La viscosité du liquide sera calculée à partir des déformations apportées sur le solide par un courant électrique alternatif en présence d'un champ magnétique [81].



**Figure 15: viscosimètre vibrant.**

## **2. Méthode indirecte (manuelle) :**

- Méthode de stock (chute de bille) :

Cet ensemble « Chute d'une bille dans un fluide a été conçu spécialement pour l'étude d'une « Chute verticale avec Frottements ». (Mentionné ultérieurement).

## ***Chapitre III :***

### ***Partie expérimentale***

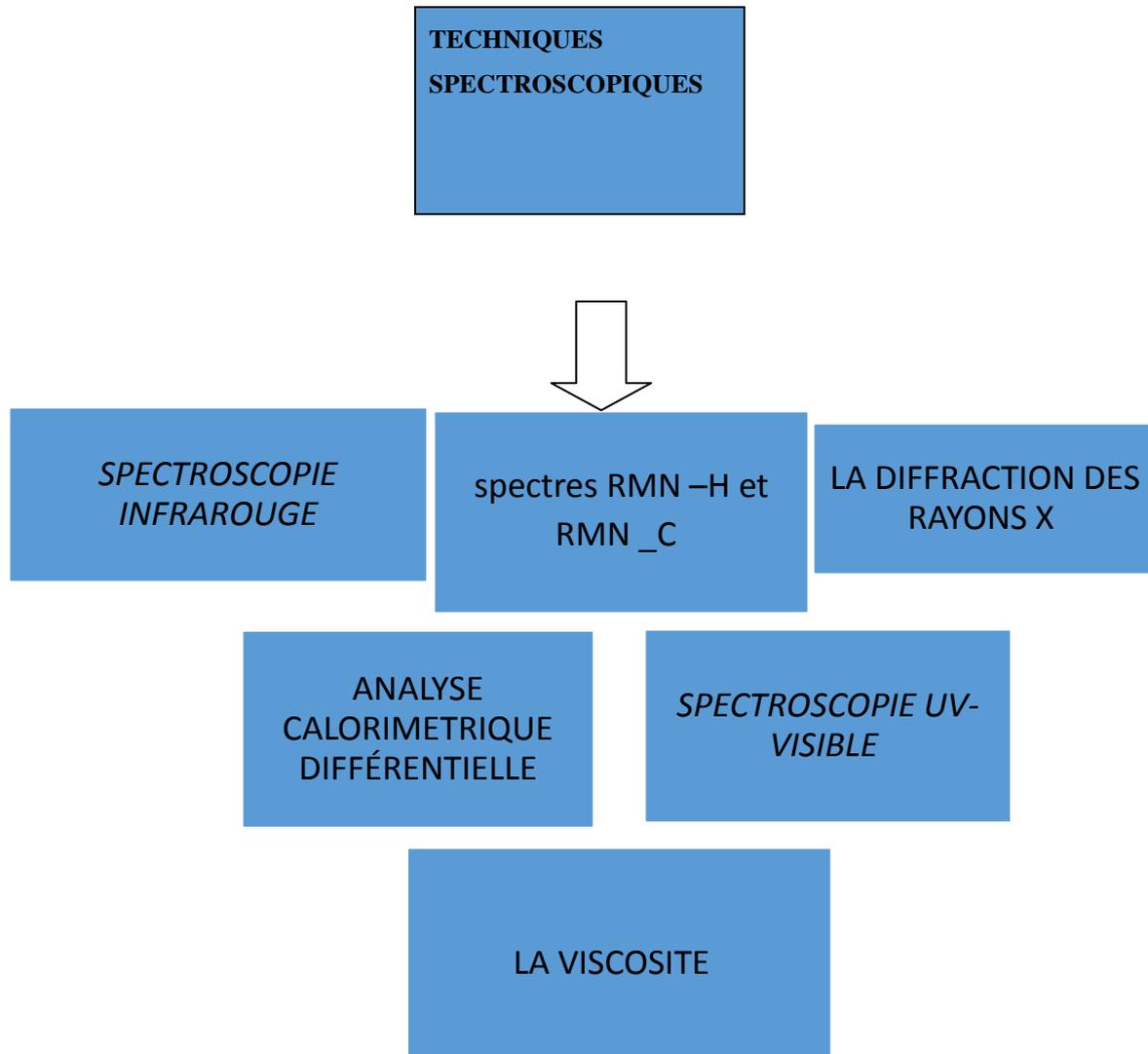
## **SYNTHESE DE L'ADSORBANT**

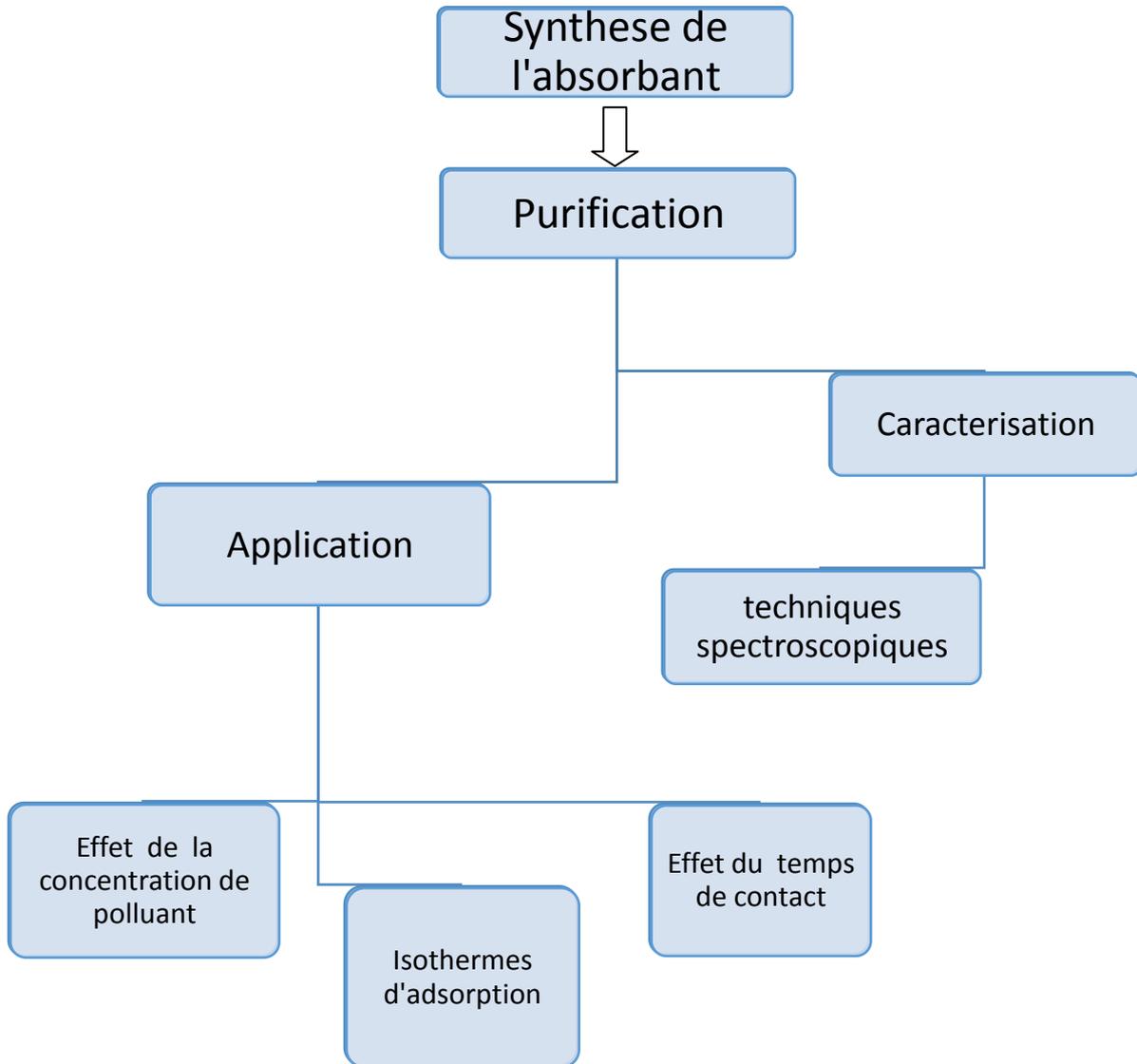
La technologie de séparation par adsorption constitue aujourd'hui une des technologies de séparation les plus importantes. Elle est largement utilisée pour la séparation et la purification des gaz et des liquides dans des domaines très variés, Le procédés d'adsorption offre une grande souplesse dans la conception et l'exploitation, produits des effluents de haute qualité. En outre, en raison d'adsorption est parfois réversible, les adsorbants peuvent être régénérés par le procédés de désorption pour approprié, il existe deux types de processus d'adsorption : adsorption physique et adsorption chimique [83].

### **I. CARACTERISATION DE L'ADSORBANT (POLYMERE PHENOLIQUE)**

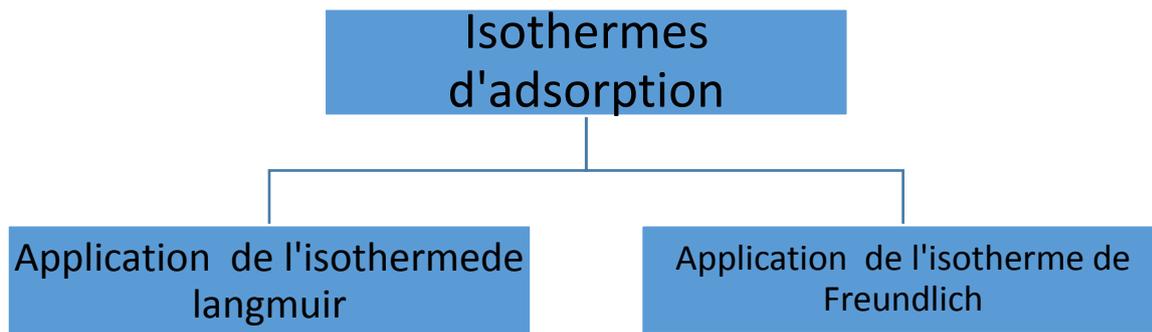
Les adsorbants à base de polymères organiques ont trouvé des applications pour l'élimination des métaux lourds ou la fabrication des médicaments.

Les polymères de base sont des polystyrènes, des esters polyacryliques ou des résinesPhénoliques [84]. Charef et ses collaborateurs en 2010 ont étudié l'élimination du métal bivalent à partir des eaux usées par le polystyrène réticulé modifié [85].





#### IV. ISOTHERMES D'ADSORPTION



Modèle de Langmuir

- $\frac{C_e}{q_e} = \frac{K_d}{q_m} + \frac{C_e}{q_m}$

Modèle de Freundlich

- $\ln (X/m) = 1/n \ln C_e + \ln K_f$

**CONCLUSION GENERAL :**

Nous avons espéré appliquer nos recherches et obtenir des résultats sur le plan pratique mais la pandémie corona virus était un obstacle pour nous.

En effet, en considérant seulement l'eau, elle est la substance minérale la plus répandue à la surface de la terre et elle constitue l'hydrosphère. Elle est synonyme de vie et en est le vecteur privilégié. Donc il faut admettre combien il est important de ne pas la gaspiller ou la polluer. Par conséquent, il faut la traiter quel que soit son usage, domestique ou industriel et éviter ainsi des rejets pollués dans le milieu naturel. Tous ces paramètres ont poussé au développement d'un axe de recherche bien précis qu'est le « traitement des Eaux ». [87].

# *Références Bibliographie*

## **Références Bibliographie**

### **Références Bibliographie**

- [1] :UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE, THÈSE Par Mme KHALFAOUI AMEL Épouse DERBAL Etude Expérimentale de L'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels: Application aux Peaux d'Orange et de Banane 2012
- [2] :UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEM, Mémoire Spécialité : Chimie, Thème : Elimination des métaux lourds par complication-adsorption en utilisant un ligand organique Présenté par : Benghenima Abdellatif Soutenu le 16/06/2015
- [3] La pollution en Algérie : quand la place publique est polluée, c'est que la République est malade ...» Article de Karim Tedjani 13 Octobre 2012
- [4] :UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA, Mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Biologie et Physiologie Animale Présenté Par : Mlle Louiza DOUAFER 2009/2010, Thème : Evaluation de la pollution des sols de quelques biotopes de l'Est algérien par l'utilisation d'un bioindicateur,
- [5] :Arquès P. La Pollution de l'air [Ouvrage]. - [s.l.] : Edisud, 1998
- [6] :Mayer H. Air pollution in cities [Revue] // AtmosphériqueEnvironnement. - 1999. - Vol. 33. - pp. 4029-4037.
- [7] :Monk P.S. [et al.] Atmosphérique composition change: global and régional air quality [Revue] // Atmosphericenvironnement Vol.43. - 2009.
- [8]: Anderson H.R. Air pollution and mortality: A history [Revue] // AtmosphericEnvironment. -2009. - Vol. 43. -p. 142.
- [9] :Kulkarni N. et Grigg J. Effect of air pollution on children [Conférence] // Symposium: social paediatrics. - [s.l.] : Elsevier, 2008. - pp. 238-243.
- [10] : FNORS Santé et environnement dans les régions de France [Rapport]. - [s.l.] : Ministère de la santé, de la Jeunesse, des Sports et de la vie associative, Septembre 2008.
- [11] : OECD Environmental outlook to 2030 [Rapport]. - [s.l.] : OECD, 2008.
- [12] : POLLUTIONSHYDRIQUESREGISMOILLERON13JANVIER2017
- [13] : THÈSE DOCTORAT EN SCIENCES EN GENIE DES PROCÉDES, Etude Expérimentale de l'Elimination des Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Sous-produits de Céréales, Par ARRIS Siham Epouse CHEBIRA, Université de Constantine. /2008
- [14] :Ozay. O, Ekici. S, Baran. Y, Aktas.N, Sahiner. N, Removal of toxic metal ions with magnetic hydrogels., Water Research (43), 4403–4411, 2009.
- [15].Des environnements plus sains pour des personnes en meilleure santé  
<http://www.euro.who.int/en/media-centre/events/events/2015/04/ehp-mid-term-review/publications/economic-cost-of-the-health-impact-of-air-pollution-in-europe>Organisation mondiale de la santé Bureau régional de l'Europe UN City, Marmorvej 51, DK-2100 Copenhague Ø, Danemark

## **Références Bibliographie**

- [16] : Thèse de doctorat présentée par : *KHALDI KHADIDJA*, Intitulé ELIMINATION DE POLLUANTS EN MILIEU AQUEUX PAR MATERIAUX ALUMINOSILICATES D'ORIGINE ALGERIENNE : DIATOMITE ET DIATOMITE ACTIVEE Université des sciences et de la technologie d'Oran Année Universitaire : 2018-2019
- [17] : DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, Délivré par *l'Université Toulouse III - Paul Sabatier*, Rapporteurs : *Detlef BAHNEMANN* et *Benigno SANCHEZ* Présentée et soutenue par *José Gregorio Biomorgi Muzattiz*, Titre : Dégradation de polluants organiques en phase gaz et en phase aqueuse en présence de matériaux à base d'aluminosilicates par des Procédés d'Oxydation Avancés, Le 20 janvier 2010
- [18] : DOCUMENT DE TRAVAIL sur la pollution de l'eau, Corapporteurs: M. Bobbo Hamatoukour (Cameroun) et Mme Christa Klass, ASSEMBLEE PARLEMENTAIRE PARITAIRE ACP-UE, *Commission des affaires sociales et de l'environnement* 8.11.2010 Kofi Annan
- [19] : Thèse de doctorat présentée par : *KHALDI KHADIDJA*, Intitulé : ELIMINATION DE POLLUANTS EN MILIEU AQUEUX PAR MATERIAUX ALUMINOSILICATES D'ORIGINE ALGERIENNE : DIATOMITE ET DIATOMITE ACTIVEE, Université des sciences et de la technologie d'Oran, Année Universitaire : 2018-2019
- [20] : BOURAS Hadda : l'impact des rejets des eaux usées urbaines industrielles sur l'irrigation cas de la région de FISDIS –BATNA
- [21] : UNIVERSITÉ DE PERPIGNAN VIA DOMITIA, et UNIVERSITÉ DE MOSTAGANEM Préparée au sein de l'école doctorale ED305 et des unités de recherche : - Biocapteur-Analyse-Environnement, Laboratoire de Biodiversité et Biotechnologies Microbiennes (BAE-LBBM USR 3579) - Science et Technologie de l'Environnement et de la Valorisation (STEVA) Présentée par Batoul BENKADDOUR, Soutenue le 02 octobre 2018 devant le jury composé Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Cheliff (Algérie)
- [22]: Naimi Ait-Aoudia M, Berezowska-Azzag E. Water resources carrying capacity Assessment : the case of Algeria's capital city. *Habitat International* 58. 2016;51–58
- [23] : THÈSE DOCTORAT EN SCIENCES EN GENIE DES PROCÉDES Par ARRIS Siham Epouse CHEBIRA Université de Constantine. /2008 Etude Expérimentale de l'Elimination dépolluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Sous-produits de Céréales
- [24] [25] : *Identification d'éléments indésirables ou toxiques dans les ressources en eau potentielles du bassin ferrifère lorrain* L. Vaute Etude réalisée dans le cadre des actions de Semice public du BRGM 98-5-210 Décembre 1999
- [26] : M. Fay, S. Wilbur, H. Abadin, L. Ingerman, S. G. Swarts, S. Research, *Toxicological Profile for Nickel*. Ed, U.S. 2005. p: 1-185
- [27] : Mémoire Présenté par IKENE Farida, Pour obtenir le diplôme de *Master Spécialité: Chimie des polymères*, Sujet : ELIMINATION DE NICKEL A PARTIR DES SOLUTIONS AQUEUSES EN UTILISANT LA SCIURE ENROBEE DE POLYANILINE Soutenue le 27 Juin 2012

## Références Bibliographie

- [28] : Mémoire DIPLOME DE MASTER, Spécialité : Chimie, Option : Chimie Inorganique et Environnement, Thème Elimination des métaux lourds par complication-adsorption en utilisant un ligand organique Présenté par : Benghenima Abdellatif *Soutenu le 16/06/2015*, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEN
- [29] :Université A.MIRA-BEJAIA, Présenté par Melle MOKHTARI Asma & Melle LALAOUI Fatima Pour l'obtention du Diplôme de Master en Génie des Procédés Rétention de quelques métaux lourds sur une apatite modifiée par la magnétite Soutenu le: 29/ 06 /2015 V. Laforest, Thèse, 1999, Ecole Nationale Supérieure des Mines, Saint-Étienne,
- [30]:S. Bouranene, P. Fievet, A. Szymczyk, Investigating nanofiltration of multi-ionic Solutions using the steric, electric and dielectric exclusion model, Chem. Eng. Sci. 64 (2009) 3789-3798
- [31]:[Http://inchem.org/documents/ech/ech/ech108.htm#SectionNumber](http://inchem.org/documents/ech/ech/ech108.htm#SectionNumber)
- [32] : F. Boudrahem, contribution à l'étude de l'adsorption de métaux lourds sur des charbons actifs dans un réacteur agité fermé, Thèse, université de Bejaïa, 2007
- [33] : M. Tardat- Henry et J-P. Beaudry, chimie des eaux, Edition revues et corrigés, 1984
- [34] : A. Pichard, M. Bisson, N. Houeix, G. Gay, Nickel et ses dérivés, INERIS - Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques ([www.ineris.fr](http://www.ineris.fr)), 2005.
- [35]:M.R.Huxstep, Inorganic contaminant removal from potable water by reverse Osmosis,(Task 49AS, Treatment of small Community Water Supplies by Reverse Osmosis) Charlotte Harbor (FL) Water Association, Inc, Progress Report, January 1- March 31, U.S. Environmental Protection Agency, 1982.
- [36] : J.F.Blais, S. Dufresne, G. Mercier, Etat du développement technologique en matière D'enlèvement des métaux des effluents industriels, Rev. Sci. Eau, 12 (4), 2000
- [37] : N. Chabane, N. Boudrahem, cinétique d'adsorption du phénol sur le charbon actif en grains dans un réacteur tubulaire a lit fixe fonctionnant en circuit fermé et modélisation du procédé en circuit ouvert, Université de Bejaia, 2007.
- [38] : Université A.MIRA-BEJAIA Département de Génie des Procédés Mémoire de Master Présenté par Melle MOKHTARI Asma & Melle LALAOUI Fatima En Génie des Procédés THEME : *Rétention de quelques métaux lourds sur une apatite modifiée par la magnétite* Soutenu le: 29/ 06 /2015
- [39]: A. Dabrowski, p.podkoscielny, Z.Hubicki, M.Barczak, «Adsorption of phenolCompounds by activated carbon –a critical review», Chemosphere 58, 1049-1070.(2005)
- [40] :Université A.MIRA-BEJAIA Mémoire de Master Présenté par Melle MOKHTARI Asma & Melle LALAOUI Fatima En Génie des Procédés THEME *Rétention de quelques métaux lourds sur une apatite modifiée par la magnétite* Soutenu le: 29/ 06 /2015
- [31][42] [43] [44][45][46][47] : Mémoire DIPLOME DE MASTER UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEN Option : Chimie Inorganique et Environnement Présenté

## Références Bibliographie

par : Benghenima Abdellatif *Soutenu le 16/06/2015* Thème : Elimination des métaux lourds par complication-adsorption en utilisant un ligand organique

[48]: H. S. Bamufleh, single and binary sulfur removal components from model diesel fuel using granular activated carbon from dates stones activated by ZnCl<sub>2</sub>, Faculty of Engineering, Saudi Arabia. *Applied Catalysis A: General*. 365 (2009) 153-158.

[49]: S. S. Ashour, Kinetic and equilibrium adsorption of methylene blue and remazol dyes onto steam-activated carbons developed from date pits, *Journal of Saudi Chemical Society*. 14 (2010) 47-53.

[50]: F. Banat, S. Al-Asheh, L. Al-Makhadmeh, Evaluation of the use of raw and Activated date pits as potential adsorbents for dye containing waters, Department of Chemical Engineering, Jordan University of Science and Technology. Jordan. *Process Biochemistry*. 39 (2003) 193-202.

[51] : UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE, THÈSE DU DOCTORAT EN SCIENCES EN GENIE DES PROCÉDES, KHALFAOUI AMEL Épouse DERBAL, Etude Expérimentale de L'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels: Application aux Peaux d'Orange et de Banane *Année Universitaire* : 2012

[52] Glasser L. 1987 - Fourier Transforms for Chemists. Part I. Introduction to the Fourier Transform - *J. Chem. Ed.*, 64, p. A228-A233. Glasser L. 1987 - Fourier Transforms for Chemists. Part II. Fourier Transforms in Chemistry and Spectroscopy - *J. Chem. Ed.*, 64, p. A260-A271.

[53] : Nenner I., Beswick A. et Jouvét C. 1995 - La lumière, scalpel des molécules - *La Recherche*, 273, p. 136-141.

Poulton G.A. 1975 – Isomer Analysis by Spectral Methods - *J. Chem. Ed.*, 52, p. 397-398.

[54]. G. Herzberg, “Infrared and Raman Spectra of Polyatomic Molecules”, Van Nostrand Reinhold, New York, N.Y., (1945),

[55]. G. Herzberg, (1945), “Infrared and Raman Spectra of Polyatomic Molecules”, Van Nostrand Reinhold, New York, N.Y., (1945),

[56]. AnandhaBabu, G, Thirupugalmani, K & Ramasamy, P 2009b, ‘Growth and characterization of 4-aminopyridinium-4-nitrophenolate single crystals’, *Crystals Research Technology*, vol. 44, pp. 675-681.

[57]. Sengamalai.C, M.Arivazhagan, and K.Sampathkumar,(2013). Vibrational spectral investigations of the Fourier transform infrared and Raman spectra of 2-methyl-6-nitroquinoline. *Elixir Comp. Chem*. 56 13291-13298

[58]. G. Herzberg, “Infrared and Raman Spectra of Polyatomic Molecules”, Van Nostrand Reinhold, New York, N.Y., (1945)

[59] UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEN, Mémoire DIPLOME DE MASTER Spécialité : Chimie, Option : Chimie Inorganique et Environnement, Thème : Elimination des métaux lourds par complication adsorption en utilisant un ligand organique, Présenté par : Benghenima Abdellatif *Soutenu le 16/06/2015*

## Références Bibliographie

- [60] Mayor Diop; thèse de doctorat; Université Cheikh Anta Diop; Senegal. 2004
- [61] Wen \_ ping Wang . Ye \_ zi You. Chun \_ Yan Hong. Jun Xu, Cai \_ Yuan pan , Synthesis of comb \_ shaped copolymers by combination of reversible addition \_ fragmentation chain transfer polymerisation and cationic ring \_ opening polymerisation . *Polymer* 46. 9489\_9494 (2005)
- [62] : Galez P., Tamet F., Poulet G., Brondex A., Techniques Spectroscopiques d'analyse. Université de Bouira, MEMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de Master En CHIMIE, Spécialité : Chimie durable et environnement, Sujet : Synthèse, caractérisation et la complication des cations métalliques Ag<sup>+</sup> par la poly aniline chimique. Etude de l'activité antibactérienne. Soutenu publiquement le 24/09/2017.
- [63]: S. K. WALIA, S. ALI-SADAT, G. R. CHAUDHRY, Influence of nitro group on biotransformation of nitrotoluenes in *Pseudomonas putida* strain OU83, *Pestic. Biochem. Phys.*, 76, 73–81 (2003).
- [64]: George Socrates., *Infrared characteristic group frequencies., Tables and charts.*, 1994.
- [65]: *Keresztury, G.; Chalmers, J. M.; Griffith, P. R., Raman. Spectroscopy: Theory, in Handbook of Vibrational Spectroscopy, Vol.1, John Wiley & Sons Ltd. (2002 Eds.), New York.*
- [66]: D.F. Shriver, Mr Peter William Atkins (2001) "Chimie inorganique" De Boeck université
- [67]: G. Lithvinov, Proceedings of the 13th International Conference on Raman spectroscopy, Weizburg, Germany, 1992.
- [68]: A. Altun, K. Golcuk, M. Kumru, *Journal of Molecular Structure (Theochem)* .625, 637 (2003) 17–23 ,155.
- [69]: R.L. Peesole, L.D. Shield, I.C. McWilliam, *Modern Methods of Chemical Analysis*, Wiley, New York, 1976.
- [70]: T. Gloriant, M. Gich, S. Surinach, M.O. Bar, and A. L. Greer. Evaluation of the Volume Fraction Crystallised during Devitri \_ cation of Al-Based Amorphous Alloys. *Matériels Science Forum*, 18:365\_370, 2000.
- [71] : Thèse de doctorat présentée par : *KHALDI KHADIDJA, Intitulé ELIMINATION DE POLLUANTS EN MILIEU AQUEUX PAR MATERIAUX ALUMINOSILICATES D'ORIGINE ALGERIENNE : DIATOMITE ET DIATOMITE ACTIVEE*, Université des sciences et de la technologie d Oran, *Année Universitaire : 2018-2019*
- [72]: .Bugay, D.E. Characterization of the solid-state: Spectroscopic techniques. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 2001, 48, 43–65.
- [73] : J. M. Hollas, (2003) *Spectroscopie*, 2e édition Maison d'édition : Dunod, Paris, pages : 28-29 (traduit de l'anglais par D. Simon
- [74]: M.E., Griesser, U.J., Sawatzki, J., Qualitative and quantitative study of polymorphic forms in drug formulations by near infrared FT-Raman spectroscopy. *J. Mol. Structure.*, 661-662, 307-317
- [75]: Schrader B., (2002) "FT Raman Spectroscopy" In *Handbook of Vibrational Spectroscopy* Wiley, Chalmers J.C., Griffith P.R., Chichester

## ***Références Bibliographie***

- [76]: Lewis, HGM Edwards, Handbook of Raman Spectroscopy, CRC Press, New York (2001).
- [77]: Parker S.F., Williams K.P.J., Hendra P.J., Turner A.J., 1988 “Fourier-transform Raman spectroscopy using a bench-top FT-IT spectrometer” Applied Spectroscopy, 42, (1988), 796-800
- [78]: T. Gloriant, M. Gich, S. Surinach, M.O. Bar, and A. L. Greer. Evaluation of the Volume Fraction Crystallised during Devitri\_cation of Al-Based Amorphous Alloys. Materials Science Forum, 18:365\_370, 2000.
- [79] : AYOUAZ Sabrina, BENMAMAS Fatima, 2017. Etude de la viscosité de quelques produits de CEVITAL. Mémoire de Master en Sciences Alimentaires. Université Abderrahmane Mira. Bejaïa. P 5-7.
- [80] : SCHER JOEL ,2006.Rhéologie, Texture et texturation des produits alimentaire. Article. Issus de procédés chimie –bio- agroalimentaire publié le 10.12.2006.
- [81] : CARRE B, GOMEZ J, MELCION B, GIBOULOT, 1994. La viscosité des aliments destinés à l'aviculture. Utilisation pour prédire la consommation et l'excrétion d'eau.
- [82] : MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER Présenté par : *GACEM Soumia & OULD BEZIOU Meriem* Thème *Etude de la viscosité de quelques produits Alimentaires* Soutenu le : 14 / 09 / 2019
- [84] :Chitour, C.E. Physico-chimie des surfaces, Volume 2, Les interfaces gaz-solide et Sun, L.M., Meunier, F., Brodu, N., Manero, M,H, Adsorption-Aspects théoriques, J2730 V2, Paris, France, 2016,
- [85] :Charef, N., Arrar, L., Ourari, A., Zalloum, R.M., Mubarak, M,S, Synthesis and Chelating Properties of Polystyrene Supported Schiff Base (N,N' disalicylidenepropylenetriamine) Resin Toward Some Divalent Metal Ions, Journal of Macromolecular Science Part A, 2010, 177-184.
- [86] :Audry, S., Blanc, G., Schafer, J. The impact of sulphide oxidation on dissolved metal (Cd, Zn, Cu, Cr, Co, Ni, U) inputs into the Lot-Garonne fluvial system (France). AppliedGeochemistry, 2005, 20, 919-931
- [87] : Etude comparative des perturbations de la couche limite et de la portance, sur plaque plane et sur modèle d'Aileen présence de fluides désirants. Exigence partielle pour l'obtention de garde de maitre en science appliquées. University du Québec a Chicoutimi. P46-50.