

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة عبد الحميد بن باديس – مستغانم

Université Abdelhamid benBadisde Mostaganem



قسم الكيمياء

Département de chimie

Date de dépôt..... Sous le n° :...../2017

**Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master  
Spécialité : Analyses Spectrales en Chimie**

**Thème**

ÉLIMINATION DE LA POLLUTION  
MINÉRALE & ORGANIQUE PAR DEUX  
MATERIAU MODIFIE CHIMIQUEMENT :  
SUIVI PAR IR/UV-VIS

**Présenter par : KANACHE Aouda**

**Devant le jury composé de :**

**Président : BOURAADA**

**Examineur : MESEoudi**

**Encadreur : M. Belkacem BOUACHERINE**

**ANNEE UNIVERSITAIRE 2016/2017**

# SOMMAIRE

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Introduction générale** .....01

## **Chapitre I :**

**Partie A :**

A.1.Les détergents .....02

A.2.Les pesticides .....02

A.3. Les métaux lourds .....03

A.3.1.Mercure .....03

A.3.2.Plomb .....04

A.3.3.Chrome.....04

A.4.Utilisations des métaux lourds .....05

A.5.Inconvénients des métaux lourds .....05

A.5.1.Conséquences sur la santé .....05

A.5.2. Conséquences sur l'environnement.....06

A.6. Généralités sur les colorants .....06

A.6.1. Définition .....06

A.6.2. Nature des colorants .....06

1) Colorants naturels .....07

2) Colorants synthétiques .....	07
A.6.3. Classification des colorants .....	07
A.6.3.1. Classification chimique .....	07
1) Colorants anthraquinoniques .....	07
2) Colorants azoïques .....	07
A.6.3.2. Classification tinctoriale .....	08
A.6.3.2.1. Colorants solubles dans l'eau .....	08
1) colorants cationiques ou anioniques.....	08
2) colorants basiques ou cationiques .....	08
3) colorants à complexe métallique .....	08
I.6.3.2.2. Colorants insolubles dans l'eau .....	08

**Partie B :**

B.1.L'élimination par précipitation chimique .....	09
B.2.L'élimination par échange ionique .....	09
B.3.L'élimination par adsorption .....	09
B.3.1.Adsorption .....	09
B.3.1.1. Définition .....	09
B.3.1.2. Principe .....	10
B.3.1.3. Les différents types d'adsorption .....	10
B.3.1.3.1. Adsorption chimique .....	10
B.3.1.3.2. Adsorption physique.....	10
B.3.1.4 Paramètres d'adsorption physique et chimique .....	11

B.3.1.5. Cinétique d'adsorption.....	11
--------------------------------------	----

**Partie C :**

C.1.La spectroscopie Infrarouge .....	13
---------------------------------------	----

C.1.1. Introduction .....	13
---------------------------	----

C.1.2. Historique .....	13
-------------------------	----

C.1.3.Types de spectromètres .....	13
------------------------------------	----

B.1.3.1.Spectromètres dispersifs .....	13
--	----

C.3.2. .Spectromètres à transformée de Fourier (FT-IR).....	14
---	----

C.1.3.3. Fonctionnement du spectromètre FT-IR .....	14
---	----

C.1.3.4.Les applications industrielles.....	15
---	----

C.1.4. Les informations obtenues à partir des spectres FT-IR.....	15
---	----

C.2.La spectroscopie UV-VISIBLE .....	15
---------------------------------------	----

C.2.1.Définition .....	15
------------------------	----

C.2.2.Les spectres dans l'UV / visible .....	16
--	----

C.2.3.L'absorption .....	16
--------------------------	----

C.2.4.Le matériel .....	16
-------------------------	----

C.3. Diffraction des rayons X .....	17
-------------------------------------	----

C.3.1. Principe de la méthode .....	17
-------------------------------------	----

C.4.La résonance magnétique nucléaire .....	18
---	----

C.4.1.Définition .....	18
------------------------	----

C.4.2.Le principe de la RMN.....	18
----------------------------------	----

**Chapitre II :**

I. L'étude cinétique .....	20
----------------------------	----

I.1. Modèles cinétiques .....	20
I.1.1. Modèle cinétique du pseudo premier ordre .....	20
I.1.2. Modèle cinétique du pseudo second ordre .....	20
I.2 Les isothermes d'adsorption .....	21
I.2.1 Modèle de Freundlich .....	22
I.2.2 Modèle de Langmuir .....	22
II. Procédure expérimental .....	23
II.1 Préparation des matériaux .....	23
II.2 Modification par activation physique et chimique .....	23
II.3 Analyse spectroscopique FTIR .....	23
II.3.1 Protocole expérimental .....	23
II.4 Matériels et méthodes .....	25
II.4.1 Les matériaux utilisés .....	25
II.4.2 Etablissement des courbes d'étalonnage des deux polluants.....	25
III. Etude de l'élimination .....	26
III.1 golden Yalow .....	26
III.1.1 Propriétés Physiques et Chimiques du colorant utilisé.....	26
III.2 L'étude cinétique .....	26
III.2.1 Temps de contact .....	27
III.2.2 Modélisation de la cinétique .....	27
III.3 Isotherme .....	29
III.3.1 Modèle de Freundlich .....	29

IV. Chrome .....	30
IV.1 Les propriétés physico-chimiques du chrome .....	31
IV.2 Préparation et méthode de dosage du CrVI en solution .....	31
IV.3 Etude cinétique .....	32
IV.3.1 Effet du temps de contact .....	32
IV.3.2 Modélisation de la cinétique .....	33
IV.4 Isothermes d'adsorption .....	34
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>37</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>38</b>

Au cours ces dernières années, l'évolution des techniques industrielles a souvent engendré une production de déchets conduisant ainsi une pollution complexe de diverse formes.

Les eaux de rejets prévenants de plusieurs industries tels que les réactifs utilisés pondant la fabrication provoque une contamination de l'écosystème affectant la contamination de la nappe phréatique et des eaux de surface.

Le cycle écologique est altéré par la toxicité de ces rejets qui rend toute vie d'être vivants sur terre impossible et difficile, parmi ces toxicités on cite les métaux lourds [1,2], tels que leurs présence a un effet potentiellement préjudiciable sur la physiologie humaine et d'autres systèmes biologiques quand des seuils de tolérance sont dépassés, les composés organique [3] constituent eux aussi une source principale de la pollution [4, 5], ces types de pollution sont souvent réfractaires à plusieurs traitement classique.

Compte tenu de différents problèmes posés à notre environnement, beaucoup de méthodes de traitement des effluents industriels ont été rapportées en littérature [6]. Parmi ces méthodes, la neutralisation, la filtration sur membrane, l'électrolyse, la précipitation chimique, l'échange ionique et l'adsorption sont parmi les méthodes les plus largement employées pour l'élimination des métaux lourds dans le traitement des eaux résiduaires, bien qu'elles soient approprié aux concentrations élevées en métaux [7, 8].

Cependant pour de faibles concentrations en métal, ces techniques sont souvent inefficaces et coûteuses [9].

Parmi tous les traitements proposés, l'adsorption est l'une des méthodes la plus largement utilisée pour l'élimination de polluants des eaux contaminées. L'adsorption est un procédé de choix pour traiter les effluents industriels, et un outil utile pour protéger l'environnement [1].

Notre travail comporte deux chapitres, le premier est subdivisé en trois parties théoriques consacré aux généralités de la pollution et les méthodes d'élimination ainsi que le rôle de la spectrophotométrie, le second chapitre repose sur les expériences visant l'élimination de la pollution organique et minérale en choisissant un colorant modèle, golden Yalow et un métal lourd tel que le chrome VI, une étude comparative a été effectuée pour la fixation du colorant et du métal lourd sur un matériau d'origine végétale brut et modifié.

### I. L'étude cinétique

#### I.1. Modèles cinétiques

Divers modèles de la cinétique d'adsorption sont utilisés afin d'étudier le mécanisme du processus d'adsorption tel que la réaction chimique, la diffusion et le transfert de masse [49,50]. Deux modèles cinétiques couramment souvent utilisés pour l'analyse des résultats expérimentaux.

##### I.1.1. Modèle cinétique du pseudo premier ordre

Le modèle cinétique du pseudo premier ordre peut être exprimé par l'équation suivante [51] :

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

Après intégration de l'équation entre les instants 0 et t on obtient :

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k}{2.303} t$$

Avec :

$k_1$  : Constante de vitesse du pseudo premier ordre ( $heure^{-1}$ ).

$t$  : Temps de contact ( $heure$ ).

$q_e$  : Capacité d'adsorption ( $mg / g$ ) du matériau en mono couche (équilibre expérimental).

$q_t$  : Quantité adsorbée ( $mg / g$ ) par unité de masse du sorbant à l'instant t.

Dans le cas d'une cinétique apparente du premier ordre, le tracé de  $\log (q_e - q_t)$  en fonction du temps  $t$  donne une droite de pente égale à  $k_1 / 2.303$  et une ordonnée à l'origine égale à  $\log q_e$ .

##### I.1.2. Modèle cinétique du pseudo second ordre

Le modèle cinétique du pseudo second ordre de HO et Mc Kay [52, 53] est le suivant :

$$\frac{dq}{dt} = k_2 (q_{e2} - q_t)^2$$

L'intégration de cette équation suivie de sa linéarisation nous donne :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_{e2}^2} + \frac{1}{q_{e2}} t$$



Avec :

$k_2$  : Constante de vitesse apparente du pseudo second ordre

$q_{e2}$  : Capacité d'adsorption du matériau à la saturation ( $mg/g$ )

$q_t$  : Quantité de colorant adsorbée ( $mg/g$ ) par le matériau à l'instant  $t$ .

$h$  : qui correspond à  $k_2 q_{e2}^2$ , est la vitesse initiale d'adsorption ( $mg/g.min$ ).

Le tracé de  $t/q_t$  en fonction du temps  $t$  donnera une droite de pente égale à  $1/q_{e2}$  et d'ordonnée à l'origine égale à  $1/k_2 q_{e2}^2$ . Ces valeurs obtenues permettent la détermination de la constante de vitesse apparente  $K_2$  et la capacité d'adsorption du matériau à la saturation ( $q_{e2}$ ).

$k_2$  et  $q_{e2}$  : sont déduits de la droite  $\frac{t}{q_t} = f(t)$

### I.2. Les isothermes d'adsorption

Une isotherme est une fonction qui décrit la quantité adsorbée ( $x/m$ ) en fonction de la concentration d'équilibre ( $C_e$ ) à température constante [54]. L'allure des isothermes d'adsorption à une température donnée dépend des interactions adsorbant-adsorbé et en particulier des propriétés physico-chimiques de l'espèce adsorbée et de la nature de l'adsorbant.

Plusieurs modèles mathématiques permettent une description satisfaisante du phénomène d'adsorption [55]. Les modèles les plus appliqués sont ceux de Langmuir et de Freundlich, et ils diffèrent par leurs conditions de validité.

La quantité du produit adsorbée, ou la capacité d'adsorption peut être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$q_d = \frac{x}{m} = \frac{(C_i - C_e)V}{m}$$

Avec :

$q_e$  :  $mg/g$ .

$m$  : masse du solide (g).

$C_i$  : Concentration initiale du soluté en ( $mg/l$ ).

$C_e$  : concentration résiduelle du soluté à l'équilibre dans la solution ( $mg/l$ ).

$V$  : Volume de la solution (l).

### I.2.1 Modèle de Freundlich

En 1909, Freundlich a observé que l'adsorption des corps dissous par le récipient qui les contient ne semble pas conduire à des couches d'épaisseur dépassant celle d'une molécule, a proposé une relation décrivant bien l'équilibre représenté par l'équation suivante :

$$\frac{x}{m} = k_f C_e^{1/n}$$

La constante  $k_f$  est égale à la valeur de  $x/m$  lorsque la concentration à l'équilibre est égale à 1.

Le modèle de Freundlich implique que la distribution d'énergie pour les sites d'adsorption est exponentielle [56]. Les vitesses d'adsorption et de désorption varient avec l'énergie d'adsorption des sites et plusieurs couches sont possibles. Ce modèle ne suppose pas que lorsque la concentration augmente, le recouvrement de surface approche une valeur limite correspondant à une monocouche complète. Il est utilisé dans les eaux de rejet.

La représentation de  $\log(x/m)$  en fonction de  $\log(C_e)$  est une droite de pente  $1/n$  et d'ordonnée à l'origine  $\log(k_f)$ .

### I.2.2 Modèle de Langmuir

C'est le modèle le plus utilisé, il repose sur les hypothèses suivantes :

- On admet que seule une couche mono moléculaire se forme sur le solide.
- L'adsorption s'effectue sur des sites bien définis uniformément distribués sur la surface du solide.
- Tous les sites sont thermodynamiquement équivalents et il n'y a pas d'interaction entre les particules adsorbées. Ce modèle a deux paramètres à la forme suivante :

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

Où :

$C_{eq}$  : concentration à l'équilibre de l'adsorbat. (mg/L)

$X/m$  : quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption. (mg/g)

$K_L$  : constante correspondant à l'énergie d'adsorption.

$b$  : capacité maximale d'adsorption.

La représentation graphique de  $C_e/(x/m)$  en fonction de  $C_e$  est donc une droite d'ordonnée à l'origine  $1/k_L b$ , et de coefficient angulaire  $1/b$ [57].

### II. Procédure expérimental

#### II.1.Préparation des matériaux

Le matériau est d'origine végétale, a été nettoyé à l'eau, débarrassé de ses impuretés, puis séché à l'air libre (pendant 48heures). Le séchage est complété dans une étuve à 105°C jusqu'à poids constant (environ 48heures).

Après séchage, l'espèce est broyée et tamisée à 0,5mm. Le matériau obtenu est noté :SN105.

#### II.2.Modification par activation physique et chimique

Une quantité de matériau SN105 est placé dans un four à moufle, avec une montée de température de 200°C/heure. Le matériau est carbonisé à 300°C pendant 2 heures.

Le matériau obtenu est noté: SNC.

Une suspension, contenant 25g de matériau (SNC) et 100ml de solution activante acide ( $H_3PO_4$  1N), est chauffée sous reflux pendant une heure. La suspension est ensuite lavée jusqu'à neutralité ( $pH = 7$ ), puis elle est filtrée et enfin, séchée dans une étuve à 105°C, Le matériau obtenu est noté : SNPC.

#### II.3.Analyse spectroscopique FTIR

Dans ce travail, la spectroscopie infrarouge a été utilisée pour obtenir des informations sur la structure chimique et les groupes fonctionnels du matériau adsorbant préparé. Le spectre IR du matériau adsorbant préparé est représenté sur la figure II.1 Le tableau II.1 regroupe l'ensemble des principales bandes présentes dans le spectre IR de la figure II.2 avec leurs attributions.

##### II.3.1.Protocole expérimental

Les spectres d'absorption IR en phase solide ont été enregistrés avec le spectromètre infrarouge FT-IR. Le domaine de fréquences étudié est compris entre 4000 et 400  $cm^{-1}$ , ce qui permet de caractériser les groupes fonctionnels qui nous intéressent.

L'analyse infrarouge est utilisée afin d'identifier les principales fonctions chimiques présentes à la surface du matériau.

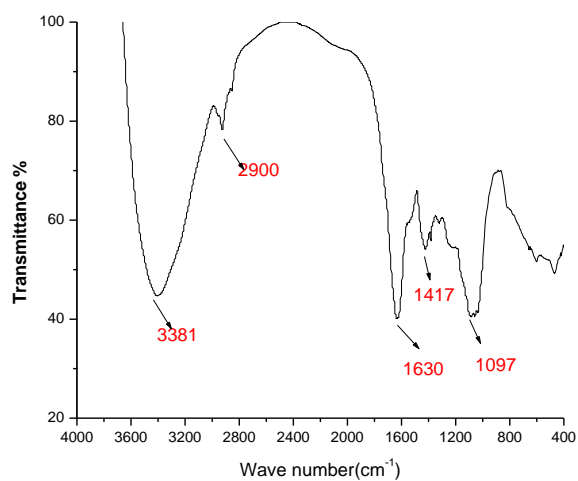
L'analyse infrarouge s'effectue sur des pastilles de KBr fabriquées en respectant les étapes suivantes :

- Les échantillons et le solvant (KBr) sont laissés dans l'étuve pendant 1 heure avant utilisation, et ce pour permettre leur séchage.

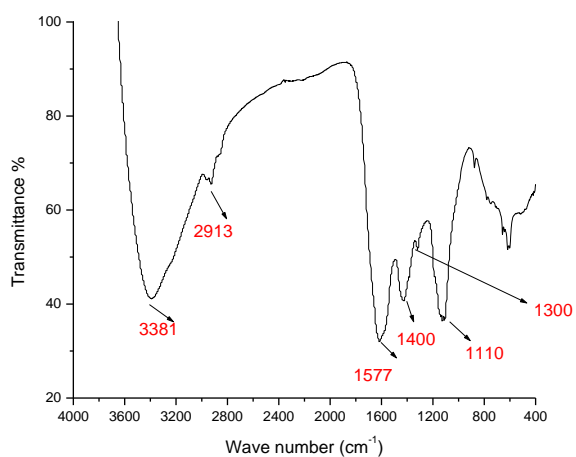
## Chapitre II : Etude de l'adsorption

- 100 mg de KBr et 5 mg du matériau sont broyés finement dans un mortier en Agathe.

Une fois le mélange pastillé est soumis directement à l'analyse IFTR



**Figure II.1 :** Spectre IFTR du matériau SN105.



**Figure II.2 :** Spectre IFTR du matériau SNPC.

La caractérisation des deux matériaux par IFTR montre bien la différence des groupements fonctionnelles attaché à leur surface la longueur d'onde associé au groupe fonctionnelles sont regroupés au **tableau II.1** :

## Chapitre II : Etude de l'adsorption

---

**Tableau II.1** : les pics IR caractéristiques attribués au matériau brute et modifié.

Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> )	Groupes fonctionnels
3981	Hydrogen-bonded O–H stretching
2900 2913	C–H stretching (méthylène groups)
1360 1417 1400	O–H in-plane bending, C–N stretching
1097	C–O, C–OH stretching
1630	C=O stretching in carboxyl or amide groups (amide I band)
1110	C–O stretching
1577	N–H bending vibration (amide I band)

### II.4 Matériels et méthodes

Dans notre travail nous avons choisi un polluant organique et un polluant métallique comme adsorbat.

Notre choix est porté sur un matériau d'origine végétale modifié par traitement chimique (acidification) et physique afin d'améliorer les performances d'élimination des polluants cités ci-dessus.

#### II.4.1 Les matériaux utilisés

- 1) SN105
- 2) SNPC

#### II.4.2 Etablissement des courbes d'étalonnage des deux polluants

Nous avons préparé 2 solutions mères de concentrations données pour les 2 polluants à partir desquelles nous avons préparé par dilutions successives, une série de solutions filles de concentrations désirées.

L'analyse de ces concentrations effectuée par spectrophotométrie visible à la longueur d'onde de 410 nm pour le colorant dans le domaine UV.

NB : les courbes d'étalonnage sont établies avant chaque expérience.

### III. Etude de l'élimination

#### III.1. golden Yalow

Nous nous ne disposant pas d'information concernant la structure et l'usage de ce colorant. Une solution mère du colorant jaune est obtenue par une pesée d'une quantité de 100mg du colorant dissout dans un litre d'eau distillée, les solutions filles à des concentrations différentes sont préparées par dilution.

##### III.1.1. Propriétés Physiques et Chimiques du colorant utilisé

Colorant	Golden Yalow
Formule brute	inconnue
Masse molaire (g/mol)	inconnue
Odeur	inodore
Absorbance ( $\lambda_{\max}$ ) nm	410
Couleur	Jaune

**Tableau II.2** : les propriétés physiques et chimiques du Golden Yalow.

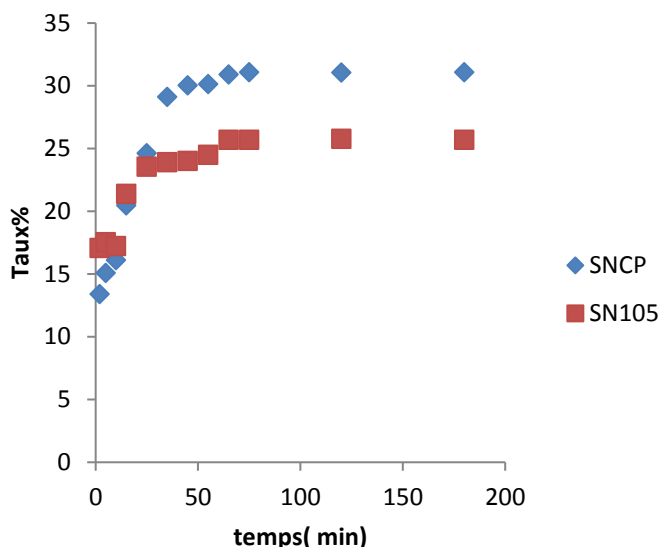
#### III.2. L'étude cinétique

Nous avons effectué une étude cinétique en mode de batch pour déterminer le temps de contact au bout duquel l'équilibre s'établit.

200 ml de solution contenant une concentration initiale de 10 mg/l de colorant pour les 2 matériaux SN105 et SNPC, on y ajoute une masse de 200 mg sec de chaque matériau. Les suspensions sont mises sous agitation magnétique pendant des durées variant de 2 à 180minutes, a la fin du temps, Les suspensions sont séparées par centrifugation à 4000tr/mn. Les surnageants contenant sont analysé par spectroscopie UV-Visible à la longueur d'onde correspondante les concentrations d'équilibre sont tirées par la courbe de calibrage.

### III.2.1. Temps de contact

Les tracés des quantités éliminées du colorant jaune sur les deux matériaux en fonction du temps de contact montre que le processus est assez lent pour les deux matériaux (**figure II.3**)



**Figure II.3 :** l'effet de temps de contact sur l'élimination du colorant jaune sur les deux matériaux.

Le colorant est éliminé de l'ordre de 25% à partir de 25 min, l'équilibre est atteint au bout de 65 min avec un taux de 26% sur le matériau brut. Par contre sur le matériau modifié le taux d'élimination atteint 35% pour un même temps d'équilibre.

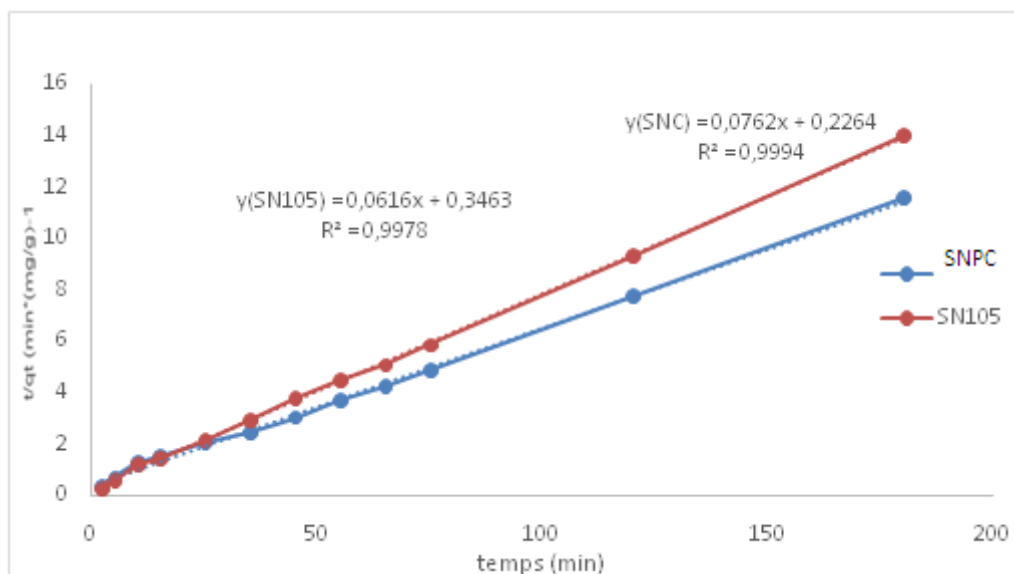
Ces observations nous permettent de suggérer un processus d'élimination de type Van der Waals c'est-à-dire mettant en jeu les charges électrostatiques entre le colorant et les groupes fonctionnels liés à la surface du matériau. Notant par ailleurs que le taux d'élimination sur le matériau modifié est supérieur à celui du matériau brut ceci revient probablement au nombre important de la porosité conférée par activation du matériau.

### III.2.2 Modélisation de la cinétique :

Les deux figures représentant les tracés de nos résultats expérimentaux selon le modèle du pseudo second ordre ont affichés un très bon coefficient de détermination. Les valeurs de la capacité de sorption à l'équilibre ( $q_e$ ) et la constante de vitesse ont été calculées

## Chapitre II : Etude de l'adsorption

à partir des paramètres des droites tracées, toutes les valeurs de ces paramètres sont regroupées dans le **tableau II.3** :



**Figure II.4** : modèles cinétiques pseudo-second ordre de l'élimination du colorant jaune sur les deux matériaux

**Tableau II.3** : les résultats obtenu du pseudo second ordre du colorant jaune sur les deux matériaux.

matériau	colorant	Cinétique d'ordre 2			
		$q_e$ (exp) (mg/g)	$q_e$ (cal) (mg/g)	$K_2$ g/mg/min	$R^2$
SN105	jaune	12.85	2.8817	1.947	0.9978
SNPC	jaune	15.54	4.4169	0.6726	0.9994

Les valeurs de la capacité de sorption à l'équilibre ( $q_e$ ), et de la constante de vitesse ( $K$ ), ont été déterminées à partir des droites de la **figure II.4**.

Une corrélation est observée entre les données expérimentales et le modèle cinétique du pseudo second ordre, avec les coefficients de détermination  $R^2$  proches de l'unité.



## Chapitre II : Etude de l'adsorption

Les résultats obtenus montrent que la capacité de sorption à l'équilibre est légèrement plus élevée dans SNPC (15.54) que dans SN105 (12.85) avec un écart entre les valeurs expérimentales et calculées de  $q_e$  de l'ordre de 2.69.

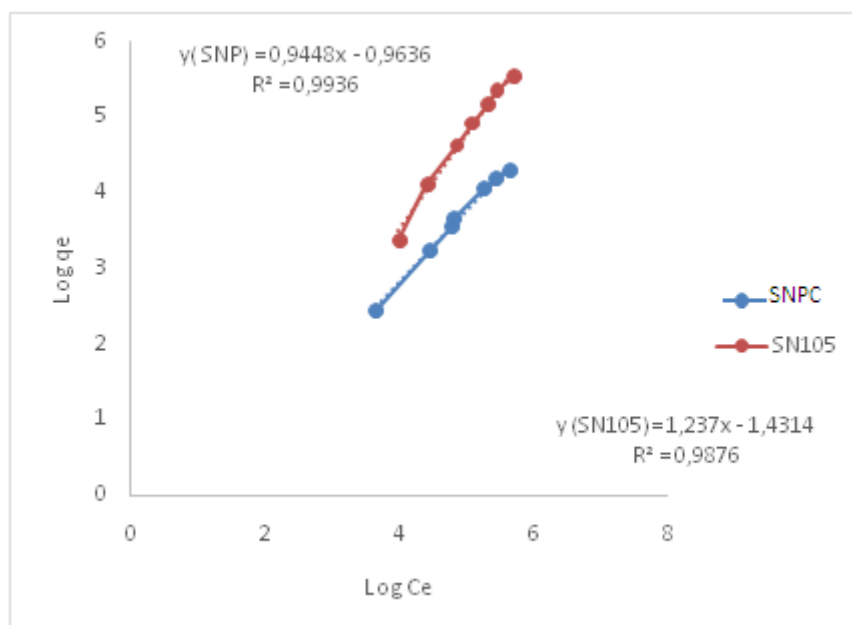
### III.3 Isotherme

Habituellement pour obtenir une isotherme en solution aqueuse, il faut déterminer préalablement la cinétique d'adsorption du soluté, ce qui conduit à la valeur du temps d'équilibre nécessaire pour mesurer l'isotherme en question.

#### III.3.1 Modèle de Freundlich

Sur la base des résultats expérimentaux obtenue nous avons remarque que les tracés correspondant des isothermes convienne le mieux ou modèle de Freundlich.

Les paramètres de Freundlich sont tiré a partir des données affiches sur les droites est sont regroupés dans le **tableau II.4** :



**Figure II.5** : Isotherme de Freundlich d'élimination du colorant jaune sur les deux matériaux.

## Chapitre II : Etude de l'adsorption

---

**Tableau II.4 :** les résultats obtenu du l'isotherme de Freundlich du colorant jaune sur les deux matériaux.

matériau	colorant	Modèle de Freundlich		
		$k_f$	n	$R^2$
	jaune			
<b>SN105</b>		0.037	0.808	0.9876
<b>SNPC</b>		0.358	1.058	0.9936

Le modèle de Freundlich est applicable dans le domaine des faibles concentrations, domaine pour lequel de bonnes valeurs de coefficient de détermination sont obtenues pour le colorant voisinant les 99%.

La valeur de la constante de Freundlich  $k_f$  indique que la capacité d'élimination du colorant sur SNPC est nettement meilleure à celle du SN105, presque 10 fois supérieure.

### IV. Chrome

Le chrome en tant que métal élémentaire n'est ni toxique ni instable. Sous sa forme trivalente, chrome III est un nutriment essentiel, son frère le chrome VI est le membre toxique de la famille.

Aussi appelé chrome hexavalent, il est présent dans l'air que nous respirons, dans l'eau que nous buvons mais également dans tout ce qui est fait de cuir (meubles, chaussures, vêtements). Ses conséquences sur la santé diffèrent selon le processus d'absorption. Ingré ou respiré, il se révèle un adversaire de taille pour notre système immunitaire pouvant provoquer irritations nasales, saignements de nez et dans les pires cas, ulcères, dommages au foie et aux reins ou cancer des poumons.

### IV.1. Les propriétés physico-chimiques du chrome

**Symbole :** Cr

**Numéro atomique :** 24

**Masse atomique :** 52

**Degré d'oxydation :** +2, +3, +6

**Point de fusion :** 1907

**Point d'ébullition :** 2672

**Couleur :** présente plusieurs couleurs selon les états d'oxydation

**Série chimique :** Métal de transition

Afin d'améliorer l'efficacité du rendement d'élimination du polluant aqueux nous avons élaboré 2 modifications à notre matériau à savoir l'activation physique et chimique.

### IV.2. Préparation et méthode de dosage du CrVI en solution

Une solution mère de CrVI à 1g/L est préparée par dissolution de 2,82g de  $K_2Cr_2O_7$  dans de l'eau distillée. Les autres solutions de différentes concentrations sont obtenues par dilution de la solution mère.

La détermination des quantités de CrVI contenues dans les solutions étudiées est suivie par dosage colorimétrique du complexe Cr-Diphényl Carbazide.

Pour ce faire, un volume V de la solution à analyser, on ajoute 1ml d'acide sulfurique, puis 0,5ml de permanganate de potassium [le Cr(III) est oxydé en Cr(VI)]. On chauffe 20mn au bain-marie, on détruit l'excès de permanganate par addition d'azoture de sodium goutte à goutte dans la solution chaude. On attend 5 à 10 secondes après chaque ajout. L'addition d'azoture doit être faite jusqu'à disparition de la couleur brune, tout en évitant un excès. On refroidit immédiatement. On transvase dans une fiole de 50ml, on ajuste le volume puis on ajoute 2,5ml de la solution alcoolique de diphényl carbazide le mélange est de couleur violette.

On laisse reposer dix minutes environ, on effectue les mesures des absorbances à 540nm.

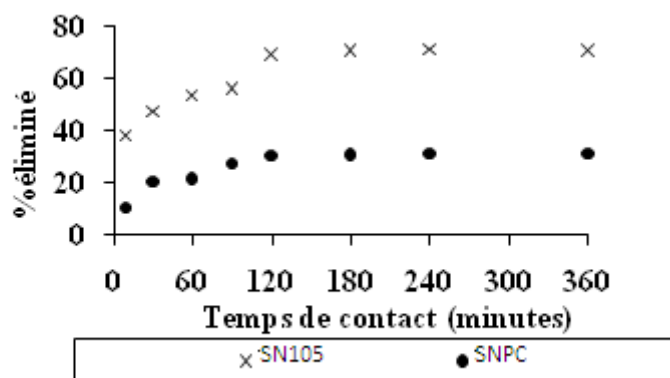
### IV.3. Etude cinétique

L'adsorption a été réalisée en mode de Batch en présence d'agitateur, en utilisant les matériaux SN105 et SNPC comme adsorbants et CrVI comme adsorbat, toutes les expériences de la biosorption ont été menées dans des erlenmeyers de 100ml tels que 100mg de l'adsorbant sec est ajouté à 100ml de solution de d'adsorbat CrVI selon les concentrations initiales désirées, les suspensions sont mises sous agitation (150tr/min) pendant 6 heures sauf l'étude cinétique, à la fin du temps de contact cité, le surnageant est séparé par centrifugation (4000tr/min). Les concentrations résiduelles en CrVI sont déterminées par mesure de l'absorbance lue au spectrophotomètre UV/VIS à la longueur d'onde  $\lambda = 540 \text{ nm}$  et détermination de la concentration à partir de la courbe d'étalonnage.

Suite aux conditions opératoires déjà étudiées, toutes les expériences ont été menées à pH 3.

#### IV.3.1. Effet du temps de contact

Les tracés des quantités du CrVI aqueux éliminées en fonction du temps de contact (**Figure II.6**) montrent que le processus d'élimination évolue assez lentement en fonction du temps jusqu'à 120 min, à partir de ce point le palier d'équilibre est atteint, au-delà duquel le taux d'élimination demeure constant, notons qu'au bout de ce temps la quantité maximale est de 68% et 27% respectivement pour SN105 et SNPC.



**Figure II.6** : Evolution du taux d'élimination en fonction du temps de contact.

## Chapitre II : Etude de l'adsorption

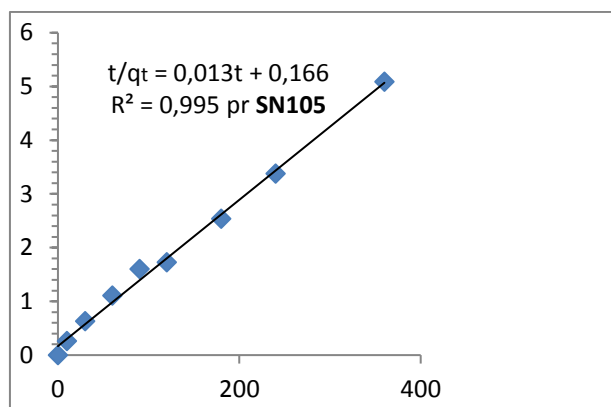
Pour assurer le coup d'efficacité du procédé d'élimination, nous avons choisi par précaution un temps de contact de 6 heures durant toutes nos expériences.

La cinétique nous a permis de vérifier le pouvoir d'élimination des matériaux préparés et déterminer l'ordre apparent de la vitesse d'élimination.

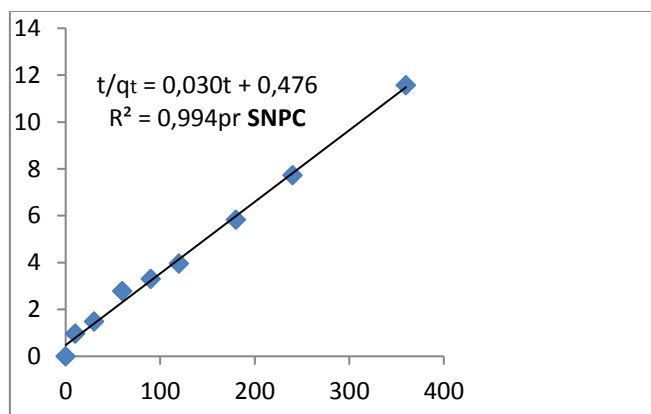
### IV.3.2. Modélisation de la cinétique

En raison de la bonne corrélation avec les résultats expérimentaux, le modèle du pseudo second ordre est adopté, ce modèle est largement utilisé par de nombreux chercheurs

Le tracé de  $t/q_t$  en fonction du temps  $t$ , représenté sur **la figure II.7 et la figure II.8** donnera une droite de pente  $1/q_e$  et d'ordonnée à l'origine  $1/(k_2q_e^2)$ . Ces valeurs permettent de déterminer la constante de vitesse apparente  $k_2$  et la capacité de sorption à l'équilibre  $q_e$ . Les valeurs calculées de  $k_2$  et de  $q_e$  ainsi que les valeurs du coefficient de régression  $R^2$  sont reportées dans le tableau 3. Une bonne corrélation a été observée entre les données expérimentales et le modèle cinétique du pseudo second ordre dont les valeurs des coefficients de régressions sont supérieures à 0,99.



**Figure II.7** : Cinétique du pseudo second ordre de l'élimination du CrVI sur SN105.



**Figure II.8 :** Cinétique du pseudo second ordre de l'élimination du CrVI sur SNPC.

**Tableau II.5 :** Paramètres cinétiques de sorption du CrVI sur SN105 et SNPC.

	Cinétique du pseudo second ordre			
	qe exp (mg.g <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> (mn <sup>-1</sup> )	qe calc (mg.g <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
<b>SN105</b>	71	0.001	76.92	0.995
<b>SNPC</b>	31	0.002	33.33	0.994

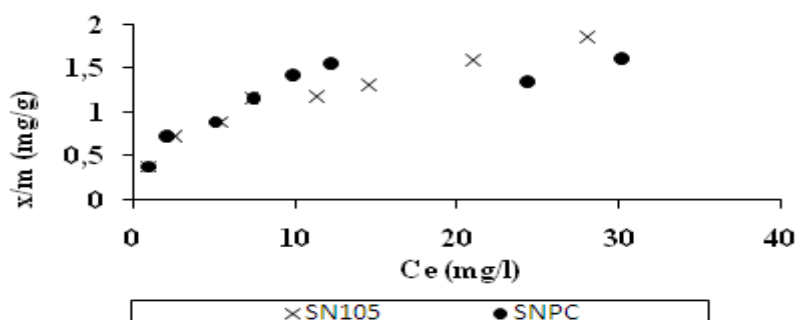
### IV.4 .Isothermes d'adsorption

Les isothermes d'adsorption ont été établies en utilisant des suspensions de 25 mg de chacun des 2 matériaux dans 50 ml de solution de CrVI à différentes teneurs. Les suspensions sont ajustées à un pH de 3 puis agitées pendant le temps optimum de 360 minutes à la température ambiante, puis centrifugées. Les concentrations résiduelles en chrome sont mesurées par spectrophotométrie UV/VIS à la longueur d'onde 540 nm.

Les quantités adsorbées du chrome par unité de masse du matériau (SN105, SNPC) à l'équilibre sont déduites de la formule :

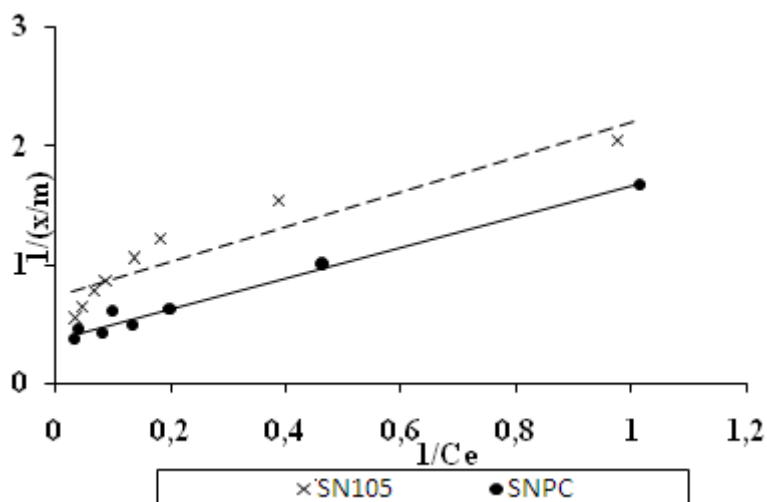
$$q_e = (C_i - C_e) \frac{V}{m}$$

Où  $q_e$  (mg/g) est la quantité éliminée à l'équilibre,  $C_i$  et  $C_e$  (mg/L) sont respectivement les concentrations initiales et à l'équilibre,  $V$  est le volume de suspension et  $m$ , la masse de solide.



## Chapitre II : Etude de l'adsorption

**Figure II.9 :** Isotherme d'adsorption du chrome VI sur les deux matériaux.



**Figure II.10 :** Isotherme d'adsorption selon Langmuir pour SN105 et SNPC.

**Tableau II.6 :** Les paramètres des isothermes d'adsorption du chrome sur SN105 et SNPC selon le modèle de Langmuir.

Sorbants	Paramètres de Langmuir		
	$Q_0(\text{mg.g}^{-1})$	$K_L(\text{l.mg}^{-1})$	$R^2$
<b>SN105</b>	1,4	0,48	0,88
<b>SNPC</b>	2,74	0,28	0,98

Sur la base des observations faites sur les courbes tracées, les résultats expérimentaux tirés relèvent, que le modèle de Langmuir convient le mieux pour ce type de sorption (SN105 et SNPC).

Les tracés des résultats selon le modèle linéaire de Langmuir sont présentés dans la figure II.10, les paramètres de ce modèle ont été déterminés et regroupés dans le **tableau II.6**.

## Chapitre II : Etude de l'adsorption

---

La valeur de la capacité maximale  $Q_{\max}$  de sorption pour SNPC est plus élevée presque double que celle de SN105 par contre la constante de Langmuir  $K_L$  est inférieure à celle de SN105.



## **Partie A : Généralités sur la pollution**

---

La pollution chimique est engendrée par des rejets de produits chimiques à la fois d'origine industrielle et domestique. Elles peuvent résulter notamment de l'utilisation de pesticides, de détergents ou encore de métaux lourds.

### **A.1. Les détergents**

Un détergent est un composé chimique, généralement issu du pétrole, doté de propriétés tensioactives, ce qui le rend capable d'enlever les salissures. Toutefois ces derniers ne sont pas conséquences. Les plus nocifs sont les détergents anioniques qu'on retrouve dans certaines Lessive.

Les phosphates constituent un des ingrédients les plus utilisés et les plus abondants dans les détergents domestiques et industriels. Ils ont pour fonction de réduire la dureté de l'eau afin de permettre un nettoyage efficace par les détergents.

Les phosphates sont des nutriments essentiels comme le montre leur utilisation dans les engrais. La principale préoccupation relative à l'utilisation des phosphates dans les détergents est qu'elle peut conduire à un excès de nutriments dans l'environnement aquatique ce qui, à son tour, peut provoquer des problèmes d'eutrophisation. Les inconvénients principaux de l'eutrophisation sont la diminution de la biodiversité et de la qualité de l'eau en tant que ressource. On constate notamment : l'augmentation du volume d'algue, l'augmentation de la biomasse du zooplancton gélatineux, la dégradation des qualités organoleptiques de l'eau, l'envasement plus rapide, et apparition de vase putride, sombre et malodorante, le développement de phytoplancton toxique, le développement de pathogènes par diminution de la pénétration des UV qui ont un pouvoir désinfectant, la diminution de l'indice biotique et enfin une perte de biodiversité dans les milieux aquatiques.

### **A.2. Les pesticides**

Le terme "pesticide" est une appellation générique couvrant toutes les substances ou produits qui éliminent les organismes considérés comme nuisibles, qu'ils soient utilisés dans le secteur agricole ou dans d'autres applications.

Ce sont des poisons destinés à tuer les herbes (herbicides), les insectes (insecticides), à lutter contre les maladies (fongicides), ou à se débarrasser de divers animaux jugés nuisibles (souricides, ...). Les pesticides se retrouvent partout : dans nos aliments, dans l'eau des rivières et dans l'eau souterraine, dans l'air, dans les sols, dans la biomasse vivante et morte,

## Partie A : Généralités sur la pollution

---

dans le sang et le lait maternel... Ils représentent par conséquent un danger pour l'homme mais aussi pour l'environnement.

Leurs utilisations peuvent être très diverses, depuis les applications au champ, jusqu'au désherbage des parcs, trottoirs et voies ferrées, la désinfection des silos, le traitement des jardins d'amateurs et des espaces verts. Il faut également souligner l'existence des "biocides", pesticides réservés à des usages domestiques tels la destruction des rats, souris, blattes, mites ou encore la protection des bois contre les champignons ou les termites.

### A.3. Les métaux lourds

Les métaux lourds sont des métaux dont le numéro atomique est supérieur à 20. Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles. On dit que les métaux sont présents « en traces ». On assimile souvent métaux lourds à métaux toxiques, mais ce n'est pas toujours le cas : des éléments comme le cuivre, le zinc, le cobalt sont des métaux lourds indispensables au métabolisme de certains organismes. La toxicité des métaux lourds a conduit les pouvoirs publics à réglementer les émissions en fixant des teneurs limites. Cette réglementation n'est cependant d'aucun secours pour déterminer sans ambiguïté une liste de métaux à surveiller car la liste varie selon les milieux considérés : émissions atmosphériques, rejets dans l'eau, règles sur l'épandage des boues ou la mise en décharge... Les métaux lourds les plus toxiques sont le mercure, le plomb, le cadmium, le titane et le chrome.

Les métaux lourds sont des polluants de nature à entraîner les nuisances même quand ils sont rejetés en quantités très faibles (leur toxicité se développe par bioaccumulation). Le degré de toxicité, le taux d'accumulation de ces éléments mais aussi le taux d'excrétion de ces polluants dépendent de leurs formes physico-chimiques, de leur concentration mais aussi de l'espèce étudiée et surtout de son stade de développement. Les facteurs physiques et chimiques (température, pH, DCO) du milieu peuvent influencer la toxicité des éléments.

#### A.3.1. Mercure

Le mercure est un métal très réactif au milieu dans lequel il se trouve (température, composition chimique...). Il peut se lier dans l'organisme aux molécules constituant la cellule vivante (acides nucléiques, protéines...) modifiant leur structure ou inhibant leurs activités biologiques. Il peut par exemple s'associer aux acides aminés soufrés, comme la cystéine, en formant des ponts disulfures. Le mercure va se greffer aux protéines sur le lieu même de leur synthèse (le Réticulum Endoplasmique Granulaire) en obstruant les membranes et en formant

## Partie A : Généralités sur la pollution

---

des mercaptides avec les protéines sulfurées. Le mercure est un polluant majeur pour l'atmosphère et le milieu aquatique.

### A.3.2.Plomb

Le plomb provient essentiellement de l'atmosphère : fumées d'échappement, fonderies, incinérations... Le plomb provoque des effets divers tels que l'altération au niveau cellulaire (altération des membranes), le blocage de la reproduction, des troubles de l'appareil respiratoire (altération des branchies et des cellules sanguines), des modifications du métabolisme des glucides, des effets sur le système nerveux (saturnisme) et une modification du développement embryonnaire[10].

### A.3.3.Chrome

Le chrome fait partie des métaux toxiques présent dans certains déchets industriels, d'incinérateurs, ou dans certains sédiments c'est un élément métallique naturel de la croûte terrestre, seuls les composés trivalents (Chrome III) et hexavalents (Chrome VI) sont retrouvés de manière significative dans l'environnement. Aussi, le terme « chrome total » désignera l'ensemble des composés trivalents et hexavalents.

Le chrome en tant que métal élémentaire n'est ni toxique ni instable sa toxicité varie fortement selon sa forme chimique (particule, nanoparticule, ion, oxyde, hydroxyde, valence..), sous sa forme trivalente, chrome III,est un nutriment essentiel. En revanche, le chrome VI, (bichromate, chromate...) est toxique et prouvé cancérigène.

Il est présent dans l'air que nous respirons, dans l'eau que nous buvons mais également son utilisation industrielle a augmenté dans tout ce qui est fait de cuir (meubles, chaussures, vêtements). Ses conséquences sur la santé diffèrent selon le processus d'absorption. Ingéré ou respiré, il se révèle un adversaire de taille pour notre système immunitaire pouvant provoquer irritations nasales, saignements de nez et dans les pires cas, ulcères, dommages au foie et aux reins ou cancer des poumons, selon différents organismes sa concentration dans l'eau de boisson ne doit pas excéder 50µg/L, cette directive a contraint la communauté scientifique, les pouvoirs publiques et les gouvernements à attacher un intérêt considérable dans le développement des techniques propres à l'élimination du chrome VI des eaux contaminées et à la dépollution de l'écosystème[11].

## Partie A : Généralités sur la pollution

---

Plusieurs méthodes ont été proposées pour l'élimination des métaux lourds, comme précipitation chimique, filtration, complexation, extraction par les solvants[12][13], osmose inverse, technique électrochimique, échange d'ions et technique d'adsorption néanmoins le coût élevé et l'efficacité varient d'une technique à l'autre[14], par ailleurs ces dernières années, la technique d'adsorption demeure largement employée en utilisant les adsorbants comme les argiles, les zéolites, charbon actif, oxydes des métaux, biomasse des déchets agricoles, bio polymères et les microorganismes, ces derniers ont été utilisés pour l'élimination de métaux lourds et reconnus comme étant relativement plus efficace [15][16].

### A.4.Utilisations des métaux lourds

**Tableau A.1:** Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement[17].

Utilisations	Métaux
Batteries et autres appareils électriques	Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Ni
Pigments et peintures	Ti, Cd, Hg, Pb, Zn, Mn, Sn, Cr, Al, As, Cu, Fe
Alliages et soudures	Cd, As, Pb, Zn, Mn, Sn, Ni, Cu
Biocides (Pesticides, herbicides, conservateurs)	As, Hg, Pb, Cu, Sn, Mn, Zn
Agents et catalyse	Ni, Hg, Sn, Pb, Cu
Verre	As, Sn, Mn
Engrais	Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn
Bijouterie	Au, Ag
Textiles	Cr, Fe, Al

### A.5.Inconvénients des métaux lourds

#### A.5.1.Conséquences sur la santé

Les métaux lourds se stockent principalement dans les os, le foie, les reins et le cerveau. "Chez l'homme, ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires. Certains, comme le cadmium, l'arsenic, le nickel et le chrome sont cancérigènes" explique le ministère de l'Ecologie. Une exposition à de fortes doses de métaux lourds est donc impliquée dans de nombreuses pathologies sévères comme la sclérose en plaque, les maladies neurodégénératives (maladie d'Alzheimer et de Parkinson), les cancers

## **Partie A : Généralités sur la pollution**

---

du poumon, des voies respiratoires et digestives ou encore l'insuffisance rénale. Ils pourraient même jouer un rôle dans le déclenchement de troubles psychologiques et neurologiques comme l'autisme[18].

### **A.5.2. Conséquences sur l'environnement**

Les métaux lourds peuvent avoir de nombreuses conséquences négatives sur l'environnement s'ils sont mal utilisés. Par exemple, si nous utilisons trop d'engrais minéraux, à long terme, les sols pourraient devenir de plus en plus acides. Et l'acidité, ce n'est pas la condition idéale pour cultiver quelque chose. Lorsque les métaux lourds ne sont pas absorbés par les sols, ils peuvent se retrouver dans des nappes phréatiques, dans des cours d'eau, et alors, ils peuvent contaminer de nombreuses plantes. Lorsque la contamination d'une plante est trop grande, elle nuit non seulement aux propriétés alimentaires, mais aussi à la production de la plante. Puis, ces contaminations mènent finalement à l'intoxication des animaux ou des humains[19].

## **A.6. Généralités sur les colorants**

### **A.6.1. Définition**

Un colorant est une substance chimique colorée capable de transmettre sa coloration à d'autre corps, il peut être sous forme organique insaturé et aromatique.

Les matières colorantes primitives étaient d'origines végétales (garance, indigo, gaude..) ou même animales (carmin tiré de la cochenille). A l'heure actuelle, presque la totalité des matières colorantes employées sont des dérivées des hydrocarbures contenus dans le goudron de houille [20].

### **A.6.2. Nature des colorants**

Les colorants sont des composés chimiques naturels ou synthétiques, en grande partie organiques, qui ont la propriété de colorer durablement le support, appliqués sur ce dernier dépendant de certaines conditions. La terminologie industrielle moderne définit un colorant comme un produit contenant le colorant organique pur avec différents additifs et agents de coupage, qui facilitent son utilisation.

## Partie A : Généralités sur la pollution

---

Il existe deux types de colorants :

### 1) Colorants naturels

Il existe seulement quelques colorants naturels, alors que l'on compte des milliers de colorants synthétiques. Les colorants naturels sont extraits des plantes, des arbres, des lichens ou insectes et des mollusques. Les colorants jaunes sont les plus nombreux.

Il existe deux catégories de colorants naturels : les colorants à mordant et les colorants de cuve. Seuls les premiers sont peu solubles dans l'eau.

### 2) Colorants synthétiques

Les matières premières des colorants synthétiques sont des composés tels que le benzène, issu de la distillation de la houille. C'est pour cette raison que les colorants de synthèses sont communément appelés colorants de goudron de houille. A partir de ces matières premières, les intermédiaires sont fabriqués par une série de procédés chimiques, qui en générale, correspondent au remplacement d'un ou de plusieurs atomes d'hydrogènes du produit de départ, par des éléments ou des radicaux particuliers.

#### A.6.3. Classification des colorants

Les principales classifications les plus couramment rencontrées dans l'industrie, sont basées sur les structures chimiques des colorants synthétiques et sur les méthodes d'application aux différents substrats (textiles, papier, cuir, matières plastiques, etc...).

##### A.6.3.1. Classification chimique

Le classement des colorants selon leurs structures chimiques repose sur la nature du groupe chromophore. Il est à signaler que le colorant anthraquinoniques faisant objet de cette étude.

#### 1) Colorants anthraquinoniques

Du point de vue commercial, ils sont plus importants après les colorants azoïques. Leur formule générale dérivée de l'anthracène montre que le chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amino[21].

#### 2) Colorants azoïques

Les colorants azotés sont les colorants les plus couramment utilisés dans l'industrie textile, sont des composés organiques contenant un groupe azoté qui s'avère être stable

comme colorants de textile [22]. Les colorants azotés sont résistants à la lumière, aux acides, aux bases et à l'oxygène qui font que leur utilisation dans l'industrie textile soit très répandue [23].

En plus de ces colorants il y'a ceux du diphénylméthane, du triphénylméthane, indigoïdes, nitrés et nitrosés.

### **A.6.3.2. Classification tinctoriale**

#### **A.6.3.2.1. Colorants solubles dans l'eau**

##### **1) colorants cationiques ou anioniques**

Solubles dans l'eau grâce à leurs groupes sulfonâtes ou carboxylates, ils sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorant-fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupes amino des fibres textile [20,24].

##### **2) colorants basiques ou cationiques**

Les colorants basiques ou cationiques sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres. En phase de disparaître dans la teinture de la laine et de la soie, ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur lesquelles ils permettent des nuances très vives et résistantes [22,24].

##### **3) colorants à complexe métallique**

Les colorants à complexe métallique appartenant à la classe des azoïques et des anthraquinoniques. Ils sont des composés organiques qui présentent des groupes suffisamment voisins pour former des complexes par chélation avec des sels de chrome, de cobalt, de calcium, d'étain ou d'aluminium [24].

#### **I.6.3.2.2. Colorants insolubles dans l'eau**

Ils sont désignés par le terme de colorants plastosolubles. Ces colorants ont été créés après les difficultés rencontrées avec la teinture des acétates de cellulose. Il existe d'ailleurs plusieurs autre classe de colorants insolubles dans l'eau, exemple : colorants de cuve, colorants au soufre, et colorants d'oxydation [25,26].

## *Liste des figures*

---

<b>Figure C.1</b> : Schéma de principe d'un spectromètre IR dispersif.....	p13
<b>Figure C.2.</b> Schéma de principe d'un spectromètre FT-IR.....	p14
<b>Figure C.3.</b> Représentation schématique d'un spectrophotomètre de type mono faisceau à monochromateur.....	p17
<b>Figure II.1</b> : Spectre IFTR du matériau SN105.....	p24
<b>Figure II.2</b> : Spectre IFTR du matériau SNPC.....	p24
<b>Figure II.3</b> : L'effet de temps de contact sur l'élimination du colorant jaune sur les deux matériaux.....	p27
<b>Figure II.4</b> : Modèles cinétiques pseudo-second ordre de l'élimination du colorant jaune sur les deux matériaux.....	p28
<b>Figure II.5</b> : Isotherme de Freundlich d'élimination du colorant jaune sur les deux matériaux.....	p29
<b>Figure II.6</b> : Evolution du taux d'élimination en fonction du temps de contact.....	p32
<b>Figure II.7</b> : Cinétique du pseudo second ordre de l'élimination du CrVI sur SN105...p33	
<b>Figure II.8</b> : Cinétique du pseudo second ordre de l'élimination du CrVI sur SNPC....p35	
<b>Figure II.9</b> : Isotherme d'adsorption du chrome VI sur les deux matériaux.....	p35
<b>Figure II.10</b> : Isotherme d'adsorption selon Langmuir pour SN105 et SNPC.....	p35



## *Liste des tableaux*

---

- Tableau A.1:** Sources industrielles et agricoles des métaux présents dans l'environnement...p5
- Tableau B.2 :** Critères de distinction entre l'adsorption physique et chimique.....p11
- Tableau II.1 :** les pics IR caractéristiques attribués au matériau brute et modifié.....p25
- Tableau II.2 :** les propriétés physiques et chimiques du Golden Yalow.....p26
- Tableau II.3 :** les résultats obtenu du pseudo second ordre du colorant jaune sur les deux matériaux.....p28
- Tableau II.4 :** les résultats obtenu du l'isotherme de Freundlich du colorant jaune sur les deux matériaux.....p30
- Tableau II.5 :** Paramètres cinétiques de sorption du CrVI sur SN105 et SNPC.....p34
- Tableau II.6 :** Les paramètres des isothermes d'adsorption du chrome sur SN105 et SNPC selon le modèle de Langmuir.....p35

### B.1.L'élimination par précipitation chimique

La neutralisation du pH des eaux résiduaires a deux objectifs :

- ramener les effluents acides et basiques dans une zone de pH compatible avec les conditions de rejet dans le milieu réceptacle.

-Transformer les ions métalliques en solution en composés insolubles, ce qui permet alors leurs séparations ultérieures après décantation et filtration [27].

La neutralisation des eaux provoque la précipitation de certains ions métalliques sous forme de composés peu solubles (souvent des hydroxydes) alors qu'ils ne sont pas présents sous forme d'ions complexes. Dans ce cas, il est nécessaire, avant neutralisation, de détruire les complexes métalliques par oxydation. La précipitation des métaux présents dans les effluents acides est effectuée le plus souvent à l'aide de la chaux ou de la soude, cette précipitation peut également se faire par d'autres réactifs sous forme de carbonates et des sulfures [28].

### B.2.L'élimination par échange ionique

L'échange ionique est une technique de purification dans laquelle les ions présents dans une solution (liquide) peuvent être fixés sur un matériau solide à la place d'une quantité équivalente d'ions de même charge relargués par le support. Lorsque les ions échangés sont de charges positives, ainsi le matériau sera appelée cationique et anionique dans le cas contraire.

Les échangeurs d'ions sont des substances granulaires insolubles ayant dans leur structure moléculaire des groupements acides ou basiques susceptibles d'échanger, sans qu'il y ait une modification apparente de leur aspect physique et sans altération ou solubilisation des ions négatifs ou positifs fixés sur ces groupements qui se trouvent à leur contact [27].

### B.3.L'élimination par adsorption

#### B.3.1.Adsorption

##### B.3.1.1. Définition

L'adsorption est le processus au cours duquel des molécules d'un fluide (gaz ou liquide) appelé adsorbat, viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé adsorbant [29]. Le processus d'adsorption se produit jusqu'à l'obtention d'un état d'équilibre auquel correspond à une concentration bien déterminée du soluté [30].

### B.3.1.2. Principe

L'adsorption est un phénomène de fixation de molécules sur la surface d'un solide. Ce phénomène est utilisé pour récupérer les molécules indésirables de fluide (liquide ou gazeux) dispersées dans un solvant. Les sites où se fixent les molécules d'adsorbat sont appelés sites actifs [31].

L'affinité de l'adsorbat vers l'adsorbant est due à deux types de liaisons : chimique ou physique et on parle alors de chimisorption ou physisorption [32].

### B.3.1.3. Les différents types d'adsorption

D'après le principe de l'adsorption on distingue deux types d'adsorption :

#### B.3.1.3.1. Adsorption chimique

L'adsorption chimique, aussi appelée chimisorption, met en jeu une énergie élevée (supérieure à 10 Kcal/mol) et correspond aux liaisons covalentes plus permanentes entre l'adsorbant et la molécule adsorbée [33].

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

#### B.3.1.3.2. Adsorption physique

Appelée également physisorption, elle est caractérisée par une faible énergie de liaison inférieure à 10 Kcal/mol et correspond aux liaisons de nature électrostatique de type Van Der Waals [34,35]. Dans le cas d'une telle adsorption, le temps de rétention de la substance adsorbée est court et la surface adsorbante peut être recouverte de multiples couches moléculaires de produit adsorbé [34].

### B.3.1.4 Paramètres d'adsorption physique et chimique

Paramètres	Adsorption physique	Adsorption chimique
Chaleur d'adsorption	Quelque kcal/mol	Quelque dizaine de kcal/mol
Nature de liaison	Van der Waals	Covalente
Température	Relativement basse comparée à la température d'ébullition de l'adsorbat	Plus élevée que la température d'ébullition de l'adsorbat
Réversibilité	Réversible pour les solides non poreux	Irréversible
Cinétique	Très rapide	Très lente
Nature des couches	Formation de monocouche ou multicouches	Formation de monocouche

**Tableau B.2 :** Critères de distinction entre l'adsorption physique et chimique [36].

### B.3.1.5. Cinétique d'adsorption

La connaissance de la cinétique de l'adsorption présente un intérêt pratique considérable pour la mise en œuvre optimale d'un adsorbant dans une opération industrielle fondée sur les phénomènes d'adsorption, ainsi que pour connaître les facteurs conduisant à la cinétique la plus rapide possible [37,38].

Il est admis, en général, que le processus dynamique de l'adsorption, tant en phase gazeuse ou liquide qu'en phase liquide d'ailleurs, peut être divisé en trois étapes :

- Le transfert de masse externe, étape qui implique le transfert de l'adsorbat de la phase gazeuse à la surface de la particule d'adsorbant.
- Le transfert de masse interne, impliquant la pénétration de l'adsorbat dans la système poreux de l'adsorbant.
- L'adsorption proprement dite, cette dernière étape est considérée comme extrêmement rapide en cas des gaz, et lente en cas des liquides. Si l'adsorbant n'est pas poreux, c'est l'étape du transfert de masse externe qui contrôle la vitesse d'adsorption en faisant intervenir les paramètres classiques du transfert de masse. Cependant, avec des adsorbants poreux, ce

## **Partie B : Méthodes de traitement des polluants**

---

qui est le cas le plus courant, c'est l'étape de transfert de masse interne qui limite la vitesse d'adsorption.

### C.1. La spectroscopie Infrarouge

#### C.1.1. Introduction

Les spectromètres FT-IR ont été développés pour apporter une réponse aux limitations des spectromètres dispersifs. L'introduction de l'interféromètre de Michelson en spectroscopie IR a élargi considérablement les domaines d'application.

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR) est une technique de mesure qui utilise l'interaction de lumière IR avec les vibrations moléculaires et permet l'acquisition de spectres infrarouges. Le signal mesuré est un interférogramme. Le spectre IR est calculé en utilisant la transformée de Fourier [39].

#### C.1.2. Historique

Le rayonnement infrarouge (IR) fut découvert en 1800 par Frédéric Wilhelm Hershel. Ces radiations localisées au-delà des longueurs d'onde dans le rouge, sont situées entre la région du spectre visible et des ondes hertziennes.

Les techniques d'analyses par Infrarouge à Transformée de Fourier ont fait leurs premiers pas au début des années 70[40].

#### C.1.3. Types de spectromètres

Il existe deux grands types d'appareils. Leurs différences résident essentiellement dans le système de sélecteurs de longueurs d'onde[41].

##### C.1.3.1. Spectromètres dispersifs

Les premiers spectromètres infrarouges sont de type dispersif. Ces appareils sont conçus selon le schéma de principe représenté sur la figure C.1.

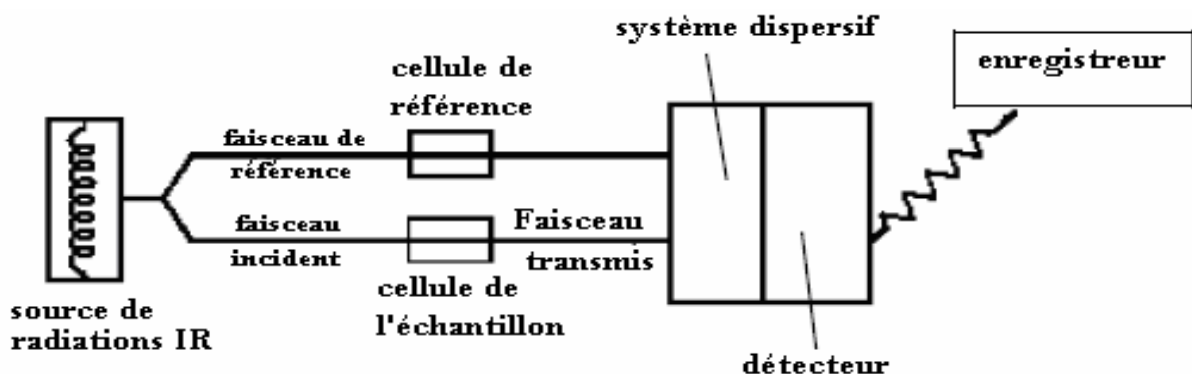


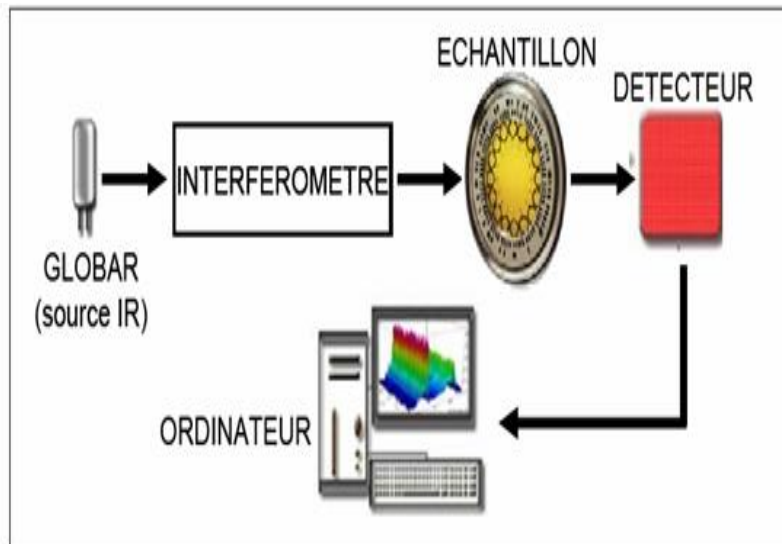
Figure C.1 : Schéma de principe d'un spectromètre IR dispersif.

Ces instruments séparent les fréquences de l'énergie émise à partir de la source infrarouge à l'aide d'un prisme (en chlorure de sodium utilisable jusqu'à 650  $\text{cm}^{-1}$  ou en bromure de potassium utilisable jusqu'à 400  $\text{cm}^{-1}$ ) ou de réseaux, éléments dispersifs plus efficaces (bloc de silice sur lequel on a gravé des traits, métallique en surface). Le détecteur

## Partie C : Spectroscopie

mesure la quantité d'énergie pour chaque fréquence qui passe à travers l'échantillon. Il en résulte un spectre qui est le tracé de l'intensité en fonction du nombre d'onde  $I = f(\nu)$ . Les détecteurs utilisés antérieurement étaient de type thermique (thermocouples) [42].

### C.3.2. Spectromètres à transformée de Fourier (FT-IR)



**Figure C.2.** Schéma de principe d'un spectromètre FT-IR.

Un spectromètre à transformée de Fourier comporte essentiellement cinq parties (**Figure C.2**) :

- Une source lumineuse,
- Un dispositif permettant de générer les interférences (l'interféromètre).
- Un compartiment d'échantillon qui permet d'accueillir plusieurs types d'accessoires dépendant du mode des mesures et de la nature de l'échantillon.
- Un détecteur ou capteur photosensible : les détecteurs les plus utilisés sont : les détecteurs (DTGS) et les détecteurs (MCT) à l'azote liquide.
- Le convertisseur qui transforme le signal analogique en un signal numérique.

#### C.1.3.3. Fonctionnement du spectromètre FT-IR

Dans tous les spectromètres FT-IR, le faisceau infrarouge provenant de la source est dirigé vers l'interféromètre qui va moduler chaque longueur d'onde du faisceau à une fréquence différente. Le faisceau modulé est ensuite réfléchi vers l'échantillon qui absorbe une partie de l'énergie incidente, le faisceau arrive ensuite sur le détecteur pour être transformé en un signal

## Partie C : Spectroscopie

---

électrique. Le signal apparaît comme un interférogramme, il représente la signature de l'intensité en fonction du déplacement du miroir. L'interferogramme est la somme de toutes les fréquences de faisceau, il est ensuite converti en spectre infrarouge par l'opération mathématique de transformée de Fourier [43].

### C.1.3.4. Les applications industrielles

La Spectroscopie FT-IR est largement utilisée en raison de sa fiabilité et sa polyvalence d'analyser de nombreux types des échantillons. Le spectromètre FT-IR est souvent le premier instrument utilisé pour identifier un polymère ou un composé organique inconnu. Dans les industries de raffinages et pétrochimiques, la spectroscopie FT-IR permet d'identifier les résines, les résidus, les aromatiques etc [44].

### C.1.4. Les informations obtenues à partir des spectres FT-IR

Les informations obtenues à partir des spectres FT-IR peuvent être quantitatives et qualitatives :

- Informations quantitatives : Par l'application de la loi de Beer Lambert.
- Informations qualitatives : L'analyse qualitative des spectres infrarouge permet d'identifier les groupements fonctionnels et de faire des assignations vibrationnelles.

## C.2. La spectroscopie UV-VISIBLE

### C.2.1. Définition

Le domaine spectral concerné est subdivisé en trois plages appelées proche UV, visible et très proche IR (200-400 nm). La plupart des spectrophotomètres commerciaux recouvrent la gamme allant de 190 à 950 nm. L'absorption des rayonnements par les molécules dans cette gamme de longueur d'onde est due au passage du niveau fondamental à un niveau excité sous l'effet du rayonnement ; plus précisément au passage d'un électron d'un niveau électronique à un autre niveau électronique d'énergie supérieure. Le document de base fourni par les spectrophotomètres, appelé spectre, correspond au tracé des variations de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde des photons incidents.

L'énergie totale d'une molécule est la somme d'une énergie électronique notée  $E_{elec}$ , caractéristique des orbitales moléculaires construites à partir des orbitales atomiques des



## Partie C : Spectroscopie

---

atomes qui constituent la molécule, d'une énergie de vibration notée  $E_{\text{vib}}$  et d'une énergie de rotation notée  $E_{\text{rot}}$ [45].

### C.2.2. Les spectres dans l'UV / visible

Les spectres dans l'UV / visible donnent la transmittance ou l'absorbance de l'échantillon analysé en fonction de la longueur d'onde du rayonnement ou parfois du nombre d'onde, son inverse. La transmittance notée  $T$ , est donnée par :

$$T = I/I_0 \dots \dots \dots (1)$$

Où  $I_0$  est l'intensité incidente et  $I$ , l'intensité transmise. L'absorbance est définie par :

$$A = -\log(T) \dots \dots \dots (2)$$

Cette dernière grandeur est très utile en analyse quantitative par application de la loi de Beer-Lambert. Plus un composé est absorbant, plus la transmittance est faible et plus l'absorbance est élevée.

Lorsqu'on étudie un composé à l'état gazeux, sous faible pression et pour peu que ce composé ait une structure simple, on obtient un spectre de raie ayant une structure fine.

### C.2.3. L'absorption

L'absorption dans le domaine UV / visible est due au passage d'un niveau électronique à un autre d'énergie supérieure avec changement des niveaux de vibration et de rotation ; au cours de ce processus, un électron passe d'une orbitale moléculaire à une autre d'énergie supérieure. Nous allons dans un premier temps ne considérer que les composés de la chimie organique. Seules les orbitales moléculaires construites à partir d'orbitales atomiques  $s$  et  $p$  sont à prendre en compte.

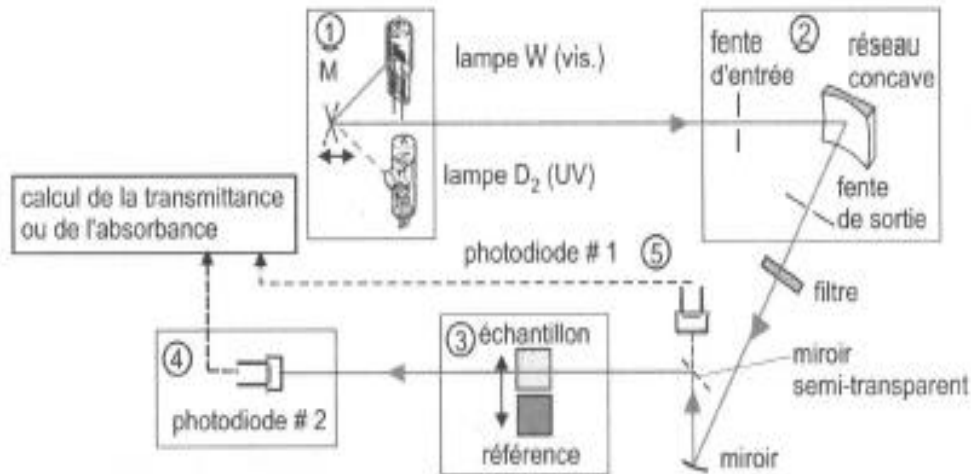
### C.2.4. Le matériel

Il existe dans le commerce différents modèles de spectrophotomètres. Tout d'abord les spectrophotomètres de type monofaisceau dont un schéma de principe est représenté sur la figure C.3. Il y a deux possibilités selon que l'on travaille en faisceau monochromatique ou non. Source lumineuse ==> Echantillon ==> Système dispersif ==> détecteur.

poly chromatique Il y a, dans ce cas, acquisition instantanée de l'ensemble du spectre. Le système dispersif peut être un prisme et le détecteur une barrette de photodiodes. Source

## Partie C : Spectroscopie

lumineuse ==> Monochromateur ==> Echantillon ==> détecteur On acquiert le spectre en effectuant un balayage en longueur d'onde à l'aide du réseau monochromateur[46].



**Figure C.3.** Représentation schématique d'un spectrophotomètre de type monofaisceau à monochromateur.

### C.3. Diffraction des rayons X

La diffraction des rayons X permet d'identifier la nature des phases cristallines présentes dans un solide. Cependant, plusieurs mailles cristallines doivent se succéder pour former des raies de diffraction visible. Si le nombre de mailles constituant les cristallites est faible, les raies de diffraction apparaîtront larges. Cette propriété permet dans certains cas de déterminer la taille des cristallites.

#### C.3.1. Principe de la méthode

La diffraction des rayons X est une méthode très puissante pour l'investigation des solides cristallins. A l'aide de cette technique on peut obtenir des informations structurales (symétrie cristalline, paramètres de maille, distribution des atomes au sein de la maille élémentaire), texturales (dimension des cristallites, tensions internes du réseau) et de composition (qualitatives et quantitatives, en comparant la position et l'intensité des raies de diffraction obtenues).

Pour un échantillon sous forme de poudre on considère un nombre très grand de cristallites ayant des orientations aléatoires. La condition de diffraction est remplie si certaines

crystallites ont une orientation telle que le faisceau incident de rayon X illumine un jeu de plans (hkl) sous un angle d'incidence  $\theta$  satisfaisant l'équation de Bragg.

$$2. d_{hkl} \sin \theta_{hkl} = \lambda$$

Où

$d_{hkl}$  est la distance entre deux plans atomique {hkl} consécutifs.

$\theta_{hkl}$  est l'angle de Bragg.

$\lambda$  est longueur d'onde du faisceau incident [47].

### C.4. La résonance magnétique nucléaire

#### C.4.1. Définition

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.

#### C.4.2. Le 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 que d'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

## Partie C : Spectroscopie

---

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[48].

## CONCLUSION GENERALE

---

Notre présent travail a mis en évidence l'efficacité d'un matériau d'origine végétale, vue le faible cout et la disponibilité, quant à l'élimination des polluants en solution aqueuse, alors que d'autres adsorbants traditionnels notamment synthétisés ont eu un énorme potentiel d'utilisation.

Afin d'optimiser les performances d'élimination des substances des eaux de rejets industriels, nous avons profité à la modification de notre matériau au moyen d'un traitement physique et chimique.

Les deux matériaux brut et modifié ont été appliqué à l'élimination de la pollution mixte organique (colorant jaune) et métallique (Cr VI).

Notre travail est subdivisé en deux chapitres le premier porte sur les généralités de la pollution, rôle de la spectroscopie et méthodes d'élimination, le second, partie expérimentale consacré à l'étude de l'adsorption des deux polluants choisis.

Les expériences cinétiques menées nous ont permis de déterminer le temps de contact à l'équilibre soit 31 % et 25% respectivement pour SNPC et SN105 avec le colorant jaune et 68% et 27% respectivement pour SNPC et SN105 avec le Cr VI.

Les résultats expérimentaux de l'étude cinétique sont régis par le modèle cinétique du pseudo second ordre avec un coefficient de corrélation  $R^2$  proche de l'unité.

Le tracé des isothermes d'adsorption du colorant jaune a été soumis au modèle de Freundlich avec un coefficient de corrélation de l'ordre de 98%, Par contre celui du Cr VI a obéi au modèle de Langmuir avec un coefficient de corrélation de l'ordre de 88% pour le SN105 et 98% pour le SNPC.

Notons par ailleurs que le modèle de Freundlich est applicable pour l'élimination de faible concentration.

La capacité d'adsorption des deux colorants atteint 31% avec le colorant jaune et 68% avec le Cr VI pour SNPC .

Sur la base des données fournies par les spectres IR, la structure chimique et les groupes fonctionnels des matériaux préparés, ces résultats ont montrés que les groupes fonctionnels seraient responsables à la rétention des polluants en particulier le matériau activé mais le

## CONCLUSION GENERALE

---

mécanisme intervenant l'interaction du soluté à l'interface solide-liquide demeure expérimentalement complexe.

D'autres facteurs relatifs aux conditions opératoires seront ultérieurement abordés d'une manière détaillée dans d'autres études.

## Références bibliographiques

---

- [1] W. Stumm. Chemistry of solid-Water Interface. Processes at the Mineral-Water and Particle-Water interface in Natural Systems, John Wiley & Sons, Inc, New York. (1992)
- [2] J. F. Pankow. Aquatic Chemistry Concepts, Lewis Publishers, Chelsea, Michigan. (1991).
- [3] K. R. Ramakrishna, T. Viraraghavan, *Water Sci. Technol.*, 36, 189. (1997).
- [4] C. O'Neill, F. R. Hawkes, D. L. Hawkes, N. D. Lourenco, H. M. Pinheiro. W. Dele, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 74, 1009. (1999).
- [5] R. S. Juang, F. C. Wu, R. L. Tseng, *Environ. Technol.*, 18, 525. (1997)
- [6] N. M. Mamdouh, M. S. El-Geundi, *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 50, 257. (1991).
- [7] <http://www.conservation-nature.fr/article2.php?id=104> (24/04/2017)
- [8] <http://www.institut-numerique.org/i3-dangers-des-metaux-lourds-5306014f3a11b>
- [9] <https://www.topsante.com/medecine/environnement-et-sante/pollution/metaux-lourds-607390>
- [10] <http://deversementsdemetauxlourds.e-monsite.com/pages/les-consequences.html>
- [11] R. PERRIN, J. PSCHARFF, « Chimie industrielle », 2<sup>ème</sup> Edition Dunod, Paris, 1999, pp : 661-679.
- [12] M. HEDAYTULLAH, « Les colorants synthétiques », Presses Universitaires de France, Paris, pp : 166.
- [13] K. WINNACKER, L. KUCGLER, « chimie organique » 3<sup>ème</sup> partie, Edition Eyrolles, Paris, 1968, pp: 5-17
- [14] J. BANDARO « Abatement of azo-dyes and bichlorophenols mediated by iron-oxides: Mechanism and flow reactor studies », these de doctorat, University of Peradeniya, Sri Lanka de nationalité ceylanaise, 1999.
- [15] M. CAPON, V. COURILLEAU, C. VALTE, « Chimie des couleurs et des odeurs », Edition FOF, Berlin Springer, ISBN 2-9502444-2-4, 1999, pp : 14-16.
- [16] E. Z. GUIVARCH « Traitement des polluants organiques en milieux aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée "Electro-Fenton" Application à la minéralisation des colorants synthétiques », thèse de doctorat, Université de Marne-La-Vallée, 2004.

## Références bibliographiques

---

- [17] M. R. GHEZZAR, « Traitement par plasma glidarc de composés toxiques et de rejets industriels », thèse de doctorat, Université de Mostaganem, 2007.
- [18] F. ABDELMALK, « Plasmachimie des solutions aqueuses. Application à la dégradation de composés toxiques », thèse de doctorat, Université de Mostaganem, 2003.
- [19] J.D. ROBERTS, M.C. CHSERIO, « Chimie organique moderne », Interdiction, Paris, 1977.
- [20] M.TERMOUL mémoire de magister, préparation d'un charbon actif a partir de noyaux d'olive pour l'adsorption du bleu de méthylène, phénol et 4-chlorophénol . Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem, Algérie(2006).
- [21] Klemm D, Schmauder H-P, Heinze T (2002) Cellulose. In: De Baets S, Vandamme EJ, Steinbüchel A (eds) Biopolymers. Polysaccharides II, vol 6. Wiley, Weinheim, pp 275.
- [22] Young, C.T. 1996. Nuts. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*17: 521-579.
- [23] A. Talidi. Etude de l'élimination du Chrome et du bleu de méthylène en milieux aqueux par adsorption sur la pyrophyllite traitée et non traitée. Thèse de doctorat. Université Mohammed V – AGDAL, Rabat – Maroc. (2006).
- [24] Julien Reungoat. Etude d'un procédé hybride couplant adsorption sur zéolithes et oxydation par l'ozone: Application au traitement d'effluents aqueux industriels. Thèse de doctorat. Institut national des sciences appliquées de Toulouse, Université de Toulouse ,2007
- [25] MaE.F.Ibanez, Etude de la carbonisation et l'activation de précurseurs végétaux durs et mous, Thèse dotera, l'université de Granada, (2002).
- [26] Mekaoui M. (2001) « Etude de l'adsorption, de la persistance et de la photodégradation de l'herbicide Tribenuron Méthyle (TBM) dans le sol et l'eau ». Thèse de Doctorat d'état. Univ. Mohammed V, Faculté des Sciences-Rabat.
- [27] El Azzouzi M. Persistance, mobilité et photodégradation de l'imazapyr dans le sol et l'eau. Thèse de Doctorat d'état. Univ. Mohammed V, Faculté des Sciences de Rabat. Maroc. (1999)



## Références bibliographiques

---

- [28] Mechrafi E. Adsorption, désorption et mobilité des herbicides au contact des adsorbants organiques et minéraux. Thèse de Doctorat. Univ. Mohammed V, Faculté des Sciences-Rabat. Maroc. (2002)
- [29] C.E. Chitour, Physico-chimie des surface, vol 2, édition OPU 1992.
- [30] Whittaker, M.P.M and Grindstaff, L.I. 1974. Production of activated carbon from rubber and a carbonaceous binder. US Patent # 3,822,218.
- [31] Acemioglu, J. Colloid Interface Sce.274 (2004) 371-379.
- [32] Methodes spectroscopiques d'analyses et de caracterisation, Génie des Procédés", centre SPIN, Ecole des Mines de Saint-Etienne, p 4-5.
- [33] SPECTROSCOPIE INFRAROUGE, Richard Giasson ; CHM 1312.
- [34]<http://scdurca.univ-reims.fr/exl-doc/GED00000629.pdf>
- [35]<http://www.emse.fr/fr/transfert/spin/formation/ressources/sam96/fichierspdf/gener al.pdf>
- [36] Determination of fat in live farmed Atlantic salmon using non-invasive NIR techniques, C. Solberg, E.Saugen, L. P.Swenson, L.Bruun, T.Isaksson, Department of Fisheries and Natural Science, Bodo Regional University, N-8049 Bodo, Norway ; Journal of the Science of Food and Agriculture.
- [37] uv-visible = Analyse Chimique, Méthodes et techniques instrumentales modernes, 6ème édition F. Rouessac, A. Rouessac, D. Cruché ; Dunod, Paris (2004)
- [38] Méthodes spectroscopiques, Chimie SPE PC1 – Poincare, p3.
- [39] uv-visible = Analyse Chimique, Méthodes et techniques instrumentales modernes, 6ème édition F. Rouessac, A. Rouessac, D. Cruché ; Dunod, Paris (2004)
- [40] D.A. Skoog, D.M. West, F.J. Holler; De Boek&Larcier, Paris & Bruxelles (1997) DRX Mémoire BB.
- [41] mémoire de master de Rima HASSENI, Effet de la température de calcination et de l'agent de complexation sur les propriétés structurales d'un oxyde mixte (2014)
- [42] <http://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/physique-rmn-1987/>
- [43] P. K Malik, Dyes pigments 56 (2003) 239-249.
- [44] P.E.P. Barrett, L.G. Joyer, P.P. Halenda, J.Am. Chem. Soc.73 (1951) 373-380.
- [45] Y.S.HO, G. Mc Kay, Chem. Eng.J.70 (1998) 115-124.

## Références bibliographiques

---

- [46] Y.S.HO, G. Mc Kay, *Process Biochem.*34 (1999) 451-465.
- [47] W. J. Weber Jr, J. C. Morris, J. Saint, *Eng Div. Am Soc Civil Eng* (1963).
- [48] G. Scacchi, M. Bouchy, J. F. Foucaut, O. Zahraa. *Cinétique et catalyse*. 1ère édition, Tec et doc, Paris, (1996).
- [49] R. Calvet, M. Terce, J. C. Arvieu. *Mise au point bibliographique : Adsorption des pesticides par les sols et leurs constituants*. Ann. 31, (1980) 413-427.
- [51]Hinderso, H., Ismadji, S., Wicaksana, F., Mudjjati, and Indraswati, N. 2001. Adsorption of Benzene and Toluene from Aqueous Solution onto Granular Activated Carbon. *Journal of Chemical Engineering Data*, 46: 788-791.