

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE EPOPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des sciences appliquées

Département de Génie des procédés



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie des procédés

Spécialité: Génie des procédés de l'environnement

Présenté par :

KHOUDA Roumaissa

Thème:

**UTILISATION DES EPLUCHURES  
DE POMME DE TERRE COMME ADSORBANT  
POUR L'ELIMINATION DE ROUGE CONGO  
EN PHASE AQUESE**

Soutenu publiquement le :13/06/2022

Devant le jury composé de :

CHAOUKI Mourad

MCA (UKM Ouargla)

Président

SIBOUKER Hicham

MCB (UKM Ouargla)

Examineur

BENABDESSELAM Soulef

MCA (UKM Ouargla)

Encadreur

Année Universitaire : 2021/2022

## *Dédicace*

Je dédie ce succès à ma mère qui grâce à ses prières et ses encouragements je suis arrivée jusqu'ici et à mon cher père qui a toujours voulu m'arriver à ce stade. Je dédie ce succès aux sahraouis que je remercie pour son soutien, ma sœur bien-aimée Batoul, et mes frères Mohammed El Akhdar, Ishak, Salah Eddin, et tous les membres de ma famille.

**ROUMAISSA.KHOUDA**

## *Remerciements*

Je remercie du fond du cœur mon encadreur **BENABDESSELAM Soulef** pour ses efforts et ses conseils, pour accomplir ce travail, et je tiens également à remercier tous les enseignants du génie des procédés.

## Résumé :

Dans cette étude, les épluchures de pomme de terre, déchets agricoles très abondants ont été évalués pour leurs capacités à éliminer le colorant Rouge Congo (RC) à partir d'une solution aqueuse. Les essais d'adsorption ont été réalisés à diverses concentrations initiales de colorant (7-20 mg/L), quantités de déchet (1-7g), pH de la solution (2,5-12) et température (30-70°C). Les résultats obtenus ont montré que la concentration de RC contenue dans la solution aqueuse diminuait avec le temps. Les quantités adsorbées de RC à l'équilibre par le déchet ont été vérifiées par rapport aux isothermes de Langmuir et Freundlich. Les résultats indiquent que l'équation de Langmuir fournit une bonne corrélation des données expérimentales. Les données expérimentales de l'étude cinétique d'adsorption à différentes concentrations initiales a montré que le modèle pseudo -deuxième- ordre est le plus adapté pour décrire l'adsorption du RC sur les épluchures de pomme de terre.

**Mots clés :** Épluchures de pommes de terre, Adsorption, Rouge Congo, Isothermes d'adsorption, Etude cinétique.

## ملخص:

في هذا الدراسة، تم تقييم قشور البطاطس، وهي نفايات زراعية وفيرة للغاية، لقدرتها على إزالة الصبغة الكونغو الحمراء (RC) من محلول مائي. أجريت اختبارات الامتزاز بتركيزات أولية مختلفة من الصبغة (7-20 مجم / لتر) وكميات المخلفات (1-7 جم) ودرجة حموضة المحلول (2.5-12) ودرجة الحرارة (30-70 درجة مئوية). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن تركيز RC الموجود في المحلول المائي ينخفض مع مرور الوقت. تم فحص كميات RC الممتصة عند التوازن بواسطة النفايا تم مقابلتها بمتساوية الحرارة Langmuir و Freundlich. تشير النتائج إلى أن معادلة لانجموير توفر ارتباطاً جيداً بالبيانات التجريبية. أظهرت البيانات التجريبية لدراسة الحركية لامتصاص بتركيزات أولية مختلفة أن نموذج الدرجة الثانية الزائفة هو الأنسب لوصف امتزاز RC على قشور البطاطس.

**الكلمات المفتاحية:** قشور البطاطس، امتزاز، كونغواحمر، متساوية حرارة امتزاز، دراسة حركية.

# Sommaire

Dédicace .....	/
Remerciements .....	/
Resume .....	/
Sommaire .....	/
Liste des figures .....	/
Liste des tableaux .....	/
Introduction générale.....	2

## Chapitre I :Généralités sur l'adsorption

I. Phénomène d'adsorption .....	4
I.1. Bref historique du phénomène d'adsorption.....	4
I.1.1. Définition de l'adsorption .....	4
I.1.2. Principe et application de l'adsorption .....	5
I.1.3. Application de l'adsorption.....	5
I.1.4. Les type d'adsorption .....	6
I.1.5. Facteurs influençant le processus d'adsorption .....	8
I.2. Isothermes d'adsorption .....	9
I.2.1. Classification des isothermes d'adsorption.....	10
I.2.2. Modèles d'isothermes .....	12
I.3. Cinétique d'adsorption.....	13
I.3.1. Modèle cinétique du pseudo premier ordre .....	14
I.3.2. Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre .....	14
I.3.3. Diffusion intra particulaire de modèle de soluté dans le solide .....	14
I.4. Domaines d'application de l'adsorption .....	15
I.4.1. Les facteurs d'adsorption.....	15

## Chapitre II :Généralités sur les colorants

II. I. Introduction .....	18
II.2. Définition d'un colorant .....	18
II.3. Types de colorants.....	18
II.3.1. Les colorants naturels.....	18
II.3.1.1. Les colorants d'origine minérale .....	18
II.3.1.2. Les colorants d'origine organique .....	18
II.3.2. Les colorants synthétiques.....	19
II.4. Effets des colorants .....	20

<b>II.5. Classification chimique des colorants.....</b>	<b>20</b>
<b>II.5.1. Les colorants azoïques .....</b>	<b>20</b>
<b>II.5.2. Colorants anioniques ou acides .....</b>	<b>21</b>

Dédicace .....	/
Remerciements .....	/
Resume .....	/
Sommaire .....	/
Liste des figures .....	/
Liste des tableaux.....	/
Introduction générale.....	2

### Chapitre I :Généralités sur l'adsorption

<b>I. Phénomène d'adsorption .....</b>	<b>4</b>
<b>I.1. Bref historique du phénomène d'adsorption.....</b>	<b>4</b>
<b>I.1.1. Définition de l'adsorption .....</b>	<b>4</b>
<b>I.1.2. Principe et application de l'adsorption.....</b>	<b>5</b>
<b>I.1.3. Application de l'adsorption.....</b>	<b>5</b>
<b>I.1.4. Les type d'adsorption .....</b>	<b>6</b>
<b>I.1.5. Facteurs influençant le processus d'adsorption .....</b>	<b>8</b>
<b>I.2. Isothermes d'adsorption .....</b>	<b>9</b>
<b>I.2.1. Classification des isothermes d'adsorption.....</b>	<b>10</b>
<b>I.2.2. Modèles d'isothermes .....</b>	<b>12</b>
<b>I.3. Cinétique d'adsorption.....</b>	<b>13</b>
<b>I.3.1. Modèle cinétique du pseudo premier ordre .....</b>	<b>14</b>
<b>I.3.2. Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre .....</b>	<b>14</b>
<b>I.3.3. Diffusion intra particulaire de modèle de soluté dans le solide .....</b>	<b>14</b>
<b>I.4. Domaines d'application de l'adsorption.....</b>	<b>15</b>
<b>I.4.1. Les facteurs d'adsorption.....</b>	<b>15</b>

### Chapitre II :Généralités sur les colorants

<b>II. I. Introduction .....</b>	<b>18</b>
<b>II.2. Définition d'un colorant .....</b>	<b>18</b>
<b>II.3. Types de colorants.....</b>	<b>18</b>
<b>II.3.1. Les colorants naturels .....</b>	<b>18</b>
<b>II.3.1.1. Les colorants d'origine minérale .....</b>	<b>18</b>
<b>II.3.1.2. Les colorants d'origine organique .....</b>	<b>18</b>
<b>II.3.2. Les colorants synthétiques.....</b>	<b>19</b>

II.4. Effets des colorants .....	20
II.5. Classification chimique des colorants.....	20
II.5.1. Les colorants azoïques .....	20
II.5.2. Colorants anioniques ou acides .....	21
II.5.3. Colorants anthraquinoniques .....	21
II.6. Bref historique du colorant Rouge Congo .....	22
II.6.1. Définition de Rouge Congo.....	22
II.6.2. Structure chimique du Rouge Congo .....	23
II.6.3. Propriétés physiques et chimiques de Rouge Congo.....	23
II.6.3.1. Propriétés physiques du Rouge Congo.....	23
II.6.4. Toxicité du Rouge Congo .....	24
II.7. Utilisation et application des colorants .....	24
II.8. Procédés de traitement des colorants .....	25
II.8.1. Procédés chimiques .....	25
II.8.1.1. Les procédés d'oxydation classique .....	25
II.3.3. Toxicités des colorants .....	26

### Chapitre III :Matériel et méthode

III. Le but .....	29
III.1. Matériels et Méthodes .....	29
III.1.1. Les produits .....	29
III.1.2. Matériels .....	29
III.1.3. Les appareillages.....	30
III.1.4. Des paramètres sur l'adsorption .....	31
III.2. Mode opératoire .....	31
III.2.1. Préparation absorbant (épluchures de pommes de terre) .....	31
III.2.2. Préparation des solutions mère du rouge Congo .....	32
III.2.3. Etude de l'effet de la concentration initiale en colorant sur l'adsorption .....	32
III.3.1. Effet de la variation de la quantité de déchet .....	32
III.3.2. Effet de la variation de ph .....	33
III.3.3. Effet de la variation de la température .....	33
III.3.4. Méthodes de dosage par spectroscopie UV-Visible .....	34
III.3. Formules de calcul .....	34
III.3.1. Modèles cinétiques du pseudo premier ordre .....	34
III.3.2. Modèles cinétiques du pseudo deuxième ordre .....	35
III.3.3. Modèles d'isothermes .....	35

### Chapitre IV :Résults et discussion

<b>IV. Résultats</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>IV.1. Influence des paramètres opératoires sur l'adsorption :</b> .....	<b>38</b>
<b>IV.1.1. Equilibres d'adsorption</b> .....	<b>41</b>
<b>IV.1.2. Modèle cinétique de premier ordre</b> .....	<b>42</b>
<b>IV.1.3. Modèle cinétique de deuxième ordre</b> .....	<b>43</b>
<b>IV.2. Calcule Rendement</b> .....	<b>44</b>
<b>IV.2.1. Effet de déchet (épluchures de pommes de terre)</b> .....	<b>44</b>
<b>IV.2.2. Effet de concentration de RC</b> .....	<b>44</b>
<b>IV.2.3. Effet de PH</b> .....	<b>45</b>
<b>IV.2.4. Effet de température</b> .....	<b>46</b>
<b>Conclusion générale</b> .....	<b>49</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>51</b>



## Liste des figures

<b>FigI.1:</b>	Phénomène d'adsorption	4
<b>FigI.2:</b>	Schéma de l'adsorption physique	8
<b>FigI.3:</b>	Classification des isothermes selon BrunauerBrunauer 1938	10
<b>Fig I.4 :</b>	Classes des isothermes d'après Gilles et al	12
<b>FigII.1:</b>	Squelette anthraquinonique.	21
<b>FigII.2:</b>	Structure chimique du rouge Congo	23
<b>FigIII.1:</b>	Spectrophotomètre	30
<b>Fig III.2 :</b>	Agitateur magnétique	30
<b>Fig III.3 :</b>	Séchagele déchet (EPDT)	31
<b>FigIII.4:</b>	Solutionde rouge Congo	32
<b>FigIII.5:</b>	Epluchuresde pommes de terre sèches	33
<b>FigIII.6:</b>	Solutionde rouge Congo pH=10	33
<b>FigIV.1:</b>	Effet de la concentration initiale de RC	38
<b>FigIV.2:</b>	Effet de la quantité de l'adsorbant (éplucheur de pomme de ter)	39
<b>FigIV.3:</b>	L'effet de la variation de la température de la solution sur l'adsorption étudié	40
<b>FigIV.4:</b>	L'effet le pH du milieu sur l'adsorption du colorant (concentration initiale de RC=7mg/l, quantité de éplucheur de pomme de ter =2.5g)	40
<b>FigIV.5:</b>	Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir	41
<b>FigIV.6:</b>	Modélisation de l'isotherme d'adsorption par l'équation de Freundlich	42
<b>FigIV.7:</b>	Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-second ordre	43
<b>FigIV.8:</b>	Cinétique d'adsorption du RC selon le modèle de pseudo-deuxième-ordre	43
<b>FigIV.9:</b>	Rendementd'adsorption on fonction de la quantité EPDT	44
<b>FigIV.10:</b>	Rendementd'adsorption en fonction de concentration initiale RC	45
<b>FigIV.11:</b>	Rendementd'adsorption en fonction de Ph	45
<b>FigIV.12:</b>	Rendementd'adsorption en fonction de température	46

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1:</b>	Critères distincts entre adsorption physique et chimique	7
<b>Tableau II.2:</b>	Taux de fixation sur textile pour les différentes classes de colorants	21
<b>Tableau II.3:</b>	Propriétés physique du Rouge Congo	23
<b>Tableau II.4:</b>	Propriété chimique du Rouge Congo	24
<b>Tableau III.1:</b>	Les produits chimiques	29
<b>Tableau III.2:</b>	Principales macromolécules des grandes cultures amylacées	
<b>Tableau IV.1:</b>	Les paramètres équationnels de modèle de Langmuir	41
<b>Tableau IV.2:</b>	Valeurs des constantes de Langmuir	41
<b>Tableau IV.3:</b>	Valeurs des constantes de Freundlich	42
<b>Tableau IV.4:</b>	Valeurs des constantes de modèle cinétique de premier ordre et de deuxième ordre	44
<b>Tableau IV.5:</b>	Démontre les meilleures valeurs permettant d'obtenir un bon rendement	46

# **Introduction générale**

### Introduction générale

L'eau ne peut être considérée comme un simple produit commercial, elle doit être classée comme un patrimoine universel qui doit être protégée, défendue et traitée.

Elle est une ressource vitale pour l'homme, sa survie, sa santé, son alimentation ; elle l'est également pour ses activités agricoles, économiques et la qualité de son environnement en dépend étroitement. Cependant, elle est le réceptacle universel de tout type de pollution.

Tous les pays auront, à court ou à long terme, à faire face au problème de sa raréfaction. La mobilisation des eaux superficielles a été de tous les temps une préoccupation majeure des pouvoirs publics.

Les populations des pays hydro sensibles ne cessent d'augmenter considérablement et leurs besoins en nourriture et en eau croient continuellement. Traditionnellement, cette situation a été solutionnée en développant l'agriculture extensive et/ou en augmentant simplement la mobilisation des ressources en eau conventionnelle disponibles qui, actuellement, s'approchent de leurs limites naturelles. De plus, ces dernières décennies ces mêmes ressources sont exposées à diverses pollutions qui limitent leur utilisation normale et leur vocation principale qui est l'alimentation en eau potable.

Plusieurs techniques sont appliquées pour éliminer voire diminuer la concentration en polluants contenus dans l'eau ; les métaux lourds, les pesticides, les composés aromatiques et les colorants, ces techniques peuvent être chimiques, physiques ou biologiques.

L'adsorption semble une technique efficace, rentable et facile à appliquer pour traiter les eaux colorées. Dans notre étude, on a choisi les épiluchures de pomme de terre comme adsorbant abondant et à faible cout pour décolorer l'eau contaminée par un colorant 'Rouge Congo'.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre rassemble quelques généralités sur l'adsorption
- Le deuxième chapitre rassemble quelques généralités sur les colorants
- Le troisième chapitre est consacré au matériel et méthodes utilisés dans cette étude, tandis que dans le quatrième chapitre, on présente les résultats obtenus avec leur interprétation.
- Enfin, on finit notre manuscrit par une conclusion générale.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur l'adsorption**

## I. Phénomène d'adsorption

### I.1. Bref historique du phénomène d'adsorption

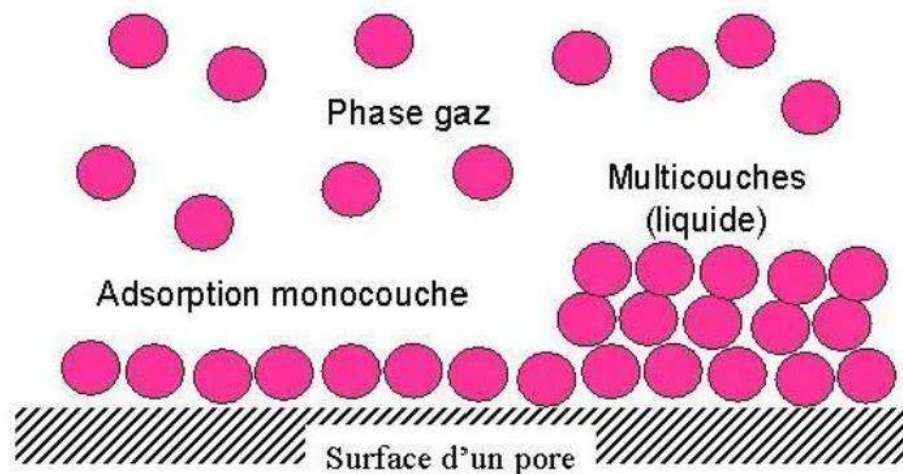
Le terme « adsorption » a été utilisé pour la première fois en 1881 par Keyser pour décrire et établir une différenciation entre la condensation d'un gaz à la surface et son adsorption, processus dans lequel les molécules de gaz pénètrent dans la masse.

Le phénomène d'adsorption est devenu aujourd'hui un outil très nécessaire pour la purification et la séparation des substances indésirables.

Il est largement répandu pour l'élimination des polluants organiques tels que les colorants, il a également une applicabilité large dans le traitement d'eaux résiduaires.

Le phénomène d'adsorption est un phénomène de dépôt de molécules en phase fluide (l'adsorbat) sur une surface solide appelé adsorbant. Tous les constituants d'un mélange ne s'adsorbent pas à la même vitesse et dans les mêmes proportions. Cela entraîne un phénomène de séparation. Depuis le début des années soixante, les procédés de séparation .[1]

Par adsorption sont devenus des opérations industrielles courantes.



**FigI.1** :Phénomène d'adsorption (Bechki 2019).

#### I.1.1. Définition de l'adsorption

L'adsorption est un phénomène de fixation de molécules d'un fluide sur la surface d'un solide, ce qui augmente la concentration des molécules de ce fluide sur la surface du solide sans modifier le volume de ce milieu poreux.

C'est un processus physique et ou chimique dans lequel une substance s'accumule à l'interface entre les phases, ce dernier peut être solide-liquide, liquide-liquide, gaz-liquide ou gaz-solide.

L'adsorbat étant la substance retirée de la phase liquide et l'adsorbant : la phase solide sur laquelle l'accumulation a lieu.

### I.1.2. Principe et application de l'adsorption

Le transfert de masse des molécules se fait de la phase fluide vers le centre de l'adsorbant. Ce processus s'opère au sein d'un grain d'adsorbant. Les matériaux adsorbants disposent de larges surfaces spécifiques, généralement développées sur des matériaux poreux industriels.

Au cours de l'adsorption d'une espèce chimique comme une molécule de polluant en solution aqueuse, le transfert de la phase liquide vers la phase solide se déroule en plusieurs étapes qu'on peut définir comme suit :

**a- Diffusion externe :** Elle correspond au transfert du soluté (molécules de la phase liquide ou gazeuse) au sein de la solution à la surface externe de l'adsorbant.

Le transfert de matière dépend de l'écoulement du liquide sur la surface de l'adsorbant.

**b- Diffusion interne :** Les molécules du liquide pénètrent à l'intérieur des pores.

La diffusion dépend du gradient de concentration du soluté.

**c- Diffusion de surface :** Elle correspond à la fixation des particules à la surface des pores de l'adsorbant.

### I.1.3. Application de l'adsorption

Les différentes applications de technique d'adsorption résultent de trois caractéristiques qui la distinguent des autres procédés de séparation, à savoir :

- La rétention de très petites particules.
- La rétention des composants à très faibles concentrations, par exemples des impuretés ou des molécules et ions métalliques qui confèrent au produit couleur, odeur, ou saveur désagréables, voire une toxicité.
- La sélectivité de l'adsorbant par rapport à certains constituants du mélange.

On peut citer quelques exemples d'application de l'adsorption, notamment :

- Le traitement d'air chargé en composés organiques volatils
- La récupération des métaux lourds des eaux résiduaires industrielles.
- Le séchage, la purification et désodorisation des gaz.
- Le raffinage des produits pétroliers.
- La récupération du toluène en héliogravure ou du Perchloroéthylène dans les secteurs du dégraissage et du nettoyage à sec.
- La catalyse de contact.
- La déshumidification et de la désodorisation de l'air.

#### **I.1.4. Les type d'adsorption**

L'étude du phénomène d'adsorption montre que la nature de celle-ci varie selon les situations étudiées, on distingue deux types d'adsorption qui diffèrent par leur nature de fixation et par les énergies mises en jeu.

##### **I.1.4.1 Adsorption physique (physisorption)**

Dans le cas de l'adsorption physique, la fixation des molécules d'adsorbat sur la surface de l'adsorbant est assurée par des forces électrostatiques type dipôles, liaison hydrogène ou Van der Waals (La liaison physique est plus faible).

Elle se produit sans modification de la structure moléculaire, mettant en jeu une chaleur d'adsorption assez faible (de l'ordre de 5 à 25 KJ/mole). La physisorption est rapide et réversible.

##### **I.1.4.2. Adsorption chimique (Chimisorption)**

Dans le cas de l'adsorption chimique, le processus résulte d'une réaction chimique accompagnée d'une formation de liaisons chimiques entre les molécules d'adsorbat et la surface de l'adsorbant, donnant naissance à des forces de liaisons très importantes.

La chaleur d'adsorption mise en jeu est en général assez grande, dépassant les 80 KJ/mole.

L'adsorption chimique est souvent irréversible (ou difficilement réversible) et favorisée par une haute température.



Le tableau I.1 rassemble les critères de distinction entre adsorption physique et chimique.

**Tableau I.1** : Critères de distinction entre adsorption physique et chimique[2]

Paramètres	Adsorption physique	Adsorption chimique
<b>Chaleur d'adsorption</b>	Quelques kcal/mol	Quelques dizaines de kcal/mol
<b>Nature de liaison</b>	Van der waals	Covalente
<b>Spécificité</b>	Processus non spécifique	Processus spécifique
<b>Température</b>	Relativement basse comparée à la température d'ébullition de l'adsorbat	Plus élevé que la température d'ébullition de l'adsorption
<b>Réversibilité</b>	Réversible pour les solides non poreux	Irréversible
<b>Cinétique</b>	Très rapide	Très lente
<b>Nature de couche</b>	Formation de la monocouche et multicouches	Formation de la monocouche

L'adsorption est un processus dynamique dans lequel les molécules adsorbables sont transférées du fluide à la surface du solide pendant que d'autres molécules sont relâchées dans le fluide. Quand les vitesses des deux processus « transfert fluide vers solide » et « transfert solide vers fluide » deviennent égales, un équilibre d'adsorption est obtenu. L'équilibre d'adsorption est la courbe reliant la concentration à l'équilibre d'un adsorbat sur un adsorbant en fonction de la concentration dans le fluide de l'espèce adsorbable et de la température. Cette courbe dépend uniquement de la nature du fluide, de celle de l'adsorbant et des conditions de température et de pression.

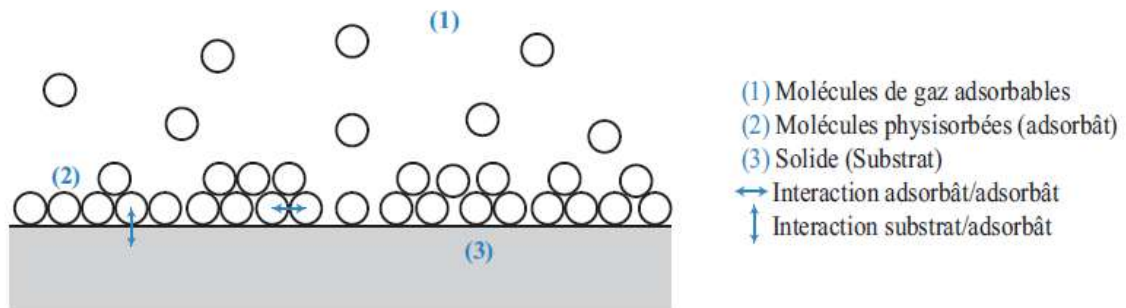
Expérimentalement, l'équilibre d'adsorption peut être représenté par trois types de courbe :

Les isoptères =  $f(p)_{N_a}$ ,

Les isobares  $N_a = f(T)_p$

Les isothermes  $N_a = f(p)_T$  ou  $N_a = f(p/P_s)_T$

Avec  $T$  la température,  $p$  la pression,  $P_s$  la pression de vapeur saturante et  $N_a$  la quantité adsorbée.



**FigI.2** :Schéma de l'adsorption physique.

## I.1.5. Facteurs influençant le processus d'adsorption

### I.1.5.1. Structure des adsorbants

La taille des particules, la surface spécifique et la porosité sont les principales propriétés qui affectent l'affinité d'un adsorbant vis-à-vis d'un soluté donné.

### I.1.5.2. Nature de l'adsorbât

Les propriétés physico-chimiques de l'adsorbât sont fondamentales et possèdent un rôle important lors de son adsorption sur une surface solide de l'adsorbant.

D'après la règle de LUNDELIUS : «Moins une substance est soluble dans le solvant, mieux elle est adsorbée». Pour qu'une molécule soit adsorbée, il faut d'abord rompre le lien avec le solvant. [3]

### I.1.5.3. Polarité et concentration

L'adsorption d'une substance croît avec l'augmentation de sa concentration dans la solution. Toutefois, cet accroissement n'est pas proportionnel car il se produit lentement.

- Pour qu'il y ait une bonne adsorption il faut qu'il y ait une affinité entre le solide et le soluté.
- En règle générale, les solides polaires adsorbent préférentiellement d'autres corps polaires.
- Par contre les solides non polaires adsorbent préférentiellement des substances non polaires.

#### I.1.5.4. pH

C'est un facteur essentiel et prédominant dans le phénomène d'adsorption, Il touche directement l'état de charge de l'adsorbant et de l'adsorbé. Son effet sur la rétention des contaminants est souvent étudié. Dans la plupart des cas, le pH faible favorise l'adsorption des anions alors que le milieu alcalin favorise celle des cations.

#### I.1.5.5. Température

L'adsorption est un processus généralement exothermique, par conséquent, son déroulement doit être favorisé par un abaissement de la température. L'adsorption est donc étroitement conditionnée par la température dont l'augmentation favorise les processus de chimisorption et dont l'abaissement favorise l'adsorption physique.

#### I.1.5.6. Masse de l'adsorbant

L'adsorption est d'autant plus grande que la masse de l'adsorbant dans la solution est importante. Du fait du coût élevé des adsorbants, le choix d'un rapport liquide-solide optimal est recommandé. [4]

#### I.1.5.7. Porosité

La porosité est liée à la répartition de la taille des pores. Elle reflète la structure interne des adsorbants microporeux. [5]

### I.2. Isothermes d'adsorption

L'étude de l'adsorption d'un gaz par un solide est en général destinée à fournir des informations sur la surface spécifique et sur la structure poreuse du solide. La quantité de gaz retenue par un échantillon donné dépend de la température T, de la pression p de la vapeur, et de la nature du gaz et du solide.

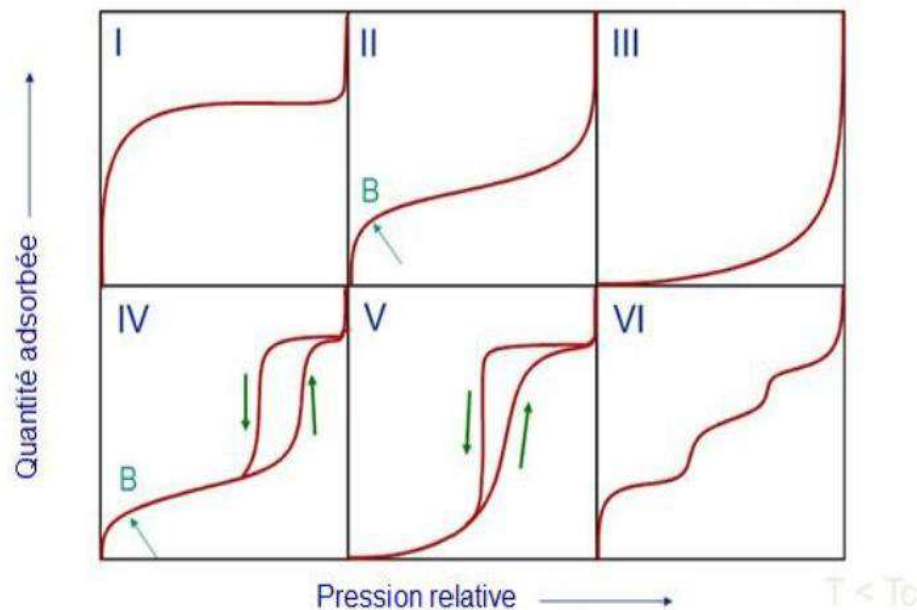
$$N_a = f(P, T, \text{gaz}, \text{solide})$$

**$N_a$**  : Représente le nombre de moles adsorbées.

Pour un système particulier à une température donnée, l'isotherme d'adsorption est l'expression de la quantité adsorbée en fonction de la pression [6].

### I.2.1. Classification des isothermes d'adsorption

La grande majorité des isothermes peut être classée en six types selon leur allure.



**FigI.3** :Classification des isothermes selon (Brunauer 1938) (Chemrak 2018).

Le type d'isotherme obtenu permet déjà de tirer des données qualitatives sur les interactions entre l'adsorbat et l'adsorbant.

- Les isothermes de type I, sont typiques d'une adsorption en monocouche, ou correspondant au remplissage de micropores avec saturation lorsque le volume à disposition est totalement rempli. Ce type d'isotherme est caractéristique pour l'adsorption sur les charbons microporeux et les zéolithes.
- Les isothermes de type II, au contraire, correspondent en général à l'adsorption multicouche sur des surfaces ouvertes. Cependant, une isotherme de type II peut aussi résulter d'une somme d'isothermes I + II, (remplissage de micropores suivi d'une adsorption multicouche sur une surface externe).
- Les isothermes de type III, reflètent un manque d'affinité entre l'adsorbat et l'adsorbant, et des interactions adsorbat-adsorbat relativement fortes. C'est le cas de l'adsorption de l'eau sur des surfaces hydrophobes (par exemple graphite ou charbons actifs contenant peu d'oxygène).

- Les isothermes de type IV, peuvent résulter de la combinaison d'une isotherme de type I (adsorption forte, mais limitée) et de type V. C'est le cas de l'eau sur les carbones riches en oxygène.
- Les isothermes de type V, reflètent aussi une forte interaction entre les adsorbats.
- De plus, l'existence d'une hystérèse au cours de la désorption reflète la présence de mésopores dans lesquels la vapeur se condense en formant un ménisque de forte courbure.
- Les isothermes de type VI, présentent des marches caractéristiques d'une adsorption multicouche sur une surface non-poreuse très homogène.

L'isotherme d'adsorption représente les quantités adsorbées de soluté en fonction de la concentration de ce dernier en solution à une température donnée (Figure I.4). L'allure de la courbe d'isotherme varie selon le couple adsorbat-adsorbant étudié. Les isothermes d'adsorption des solutés ont été classées selon Giles et coll en quatre principales classes [7] :

**a) Isothermes de type S** (dite sigmoïde) : Les isothermes de cette classe présentent, à faible concentration, une concavité tournée vers le haut.

**b) Isothermes de type L** (dite Langmuir) : sont les plus fréquentes. Ce comportement se rencontre dans le cas où l'adsorption est faible et lorsque les molécules de l'adsorbat sont orientées à plat.

**c) Isothermes de type H** (haute affinité) : La partie initiale de l'isotherme est presque verticale, la quantité adsorbée apparaît importante à concentration quasiment nulle du soluté dans la solution. Ce phénomène se produit lorsque les interactions entre les molécules adsorbées et la surface du solide sont très fortes.

**d) Isothermes de type C** : sont sous forme de ligne droite, ce type de courbe est obtenu lorsqu'il y a compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites de l'adsorbant.

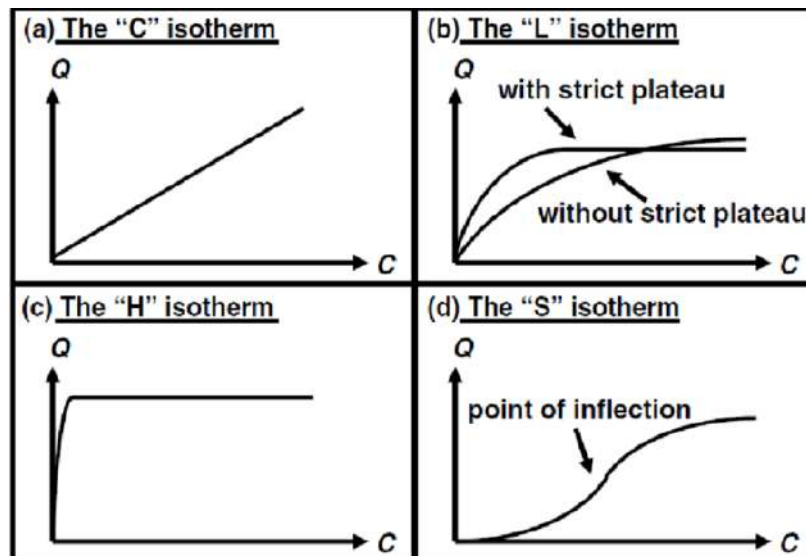


Fig I.4 : Classes des isothermes d'après Gilles et al[8].

## I.2.2. Modèles d'isothermes

Plusieurs lois ont été proposées pour l'étude de l'adsorption, et de nombreux modèles ont été développés pour caractériser les processus impliqués, dont on cite les plus utilisés :

### I.2.2.1. Isotherme de Langmuir

Le modèle le plus connu est celui de Langmuir. Ce modèle suppose que le nombre de sites d'adsorption à la surface du matériau est fixe et que chaque site ne peut adsorber qu'une seule particule. On néglige de plus l'interaction entre particules adsorbées ce qui permet de considérer une énergie d'adsorption constante. L'isotherme de Langmuir est donnée par la relation :

$$Q_e = Q_m \frac{K_L C_e}{1 + K_L C_e}$$

$K_L$  : Constante d'équilibre de Langmuir (mg/L).

$Q_e$  : La quantité adsorbée du soluté à l'équilibre (mg/g).

$Q_m$  : La capacité maximale d'adsorption (mg/g).

$C_e$  : La concentration du soluté à l'équilibre (mg/L).

### I.2.2.2. Isotherme de Freundlich

Le modèle simple et empirique de Freundlich est aussi très souvent utilisé.

On considère qu'il s'applique à de nombreux cas, notamment dans le cas de l'adsorption en multicouches avec des interactions possibles entre les molécules adsorbées.

$$Q = K_F \cdot C_e^{1/n}$$

$K_F$  et  $1/n$  : Constantes de Freundlich caractéristiques de l'efficacité d'un adsorbant donné vis-à-vis un soluté donné.

La forme exploitée la plus courante est le tracé en échelle logarithmique des variations de  $Q$  en fonction de  $C_e$  :  $\ln Q = \ln K_F + 1/n (\ln C_e)$  [9]

### I.2.2.3. Isotherme de B. E. T (Brunauer, Emmet et Teller)

L'hypothèse de B.E.T repose sur la formation de multicouches où les molécules se posent les unes sur les autres et donnent une zone inter-faciale pouvant contenir plusieurs épaisseurs de molécules adsorbées.

Ce modèle suppose la formation de multicouches d'adsorbat, une distribution homogène des sites de la surface de l'adsorbant et l'existence d'une énergie d'adsorption qui retient la première couche de molécules adsorbées et une deuxième énergie qui retient les couches suivantes. Le modèle rend compte aussi du phénomène de saturation en faisant intervenir la solubilité du soluté dans son solvant, sous forme de concentration de saturation ( $C_s$ ).

## I.3. Cinétique d'adsorption

La cinétique d'adsorption est le second paramètre indicateur de la performance épuratoire d'un adsorbant. Elle permet de déterminer le temps nécessaire à la mise en équilibre entre le soluté et l'adsorbant, ainsi elle permet d'avoir une idée sur le mécanisme d'adsorption et le mode de transfert entre les deux phases liquide et solide.

Plusieurs modèles cinétiques ont été développés pour spécifier la nature des interactions à l'interface solide-liquide ainsi que pour décrire la cinétique d'adsorption, les trois plus fréquents sont les modèles du pseudo-premier et du second ordre, le modèle cinétique de sorption de Weber et Morris, etc.

### I.3.1. Modèle cinétique du pseudo premier ordre

Le modèle cinétique du pseudo premier ordre est souvent formulé par l'équation de Lagergren [10] qui peut être exprimé par l'équation suivante :

$$dQ/dt = K_L(Q_e - Q_t) \text{ (EqI.1)}$$

Après intégration et l'application des conditions aux limites ( $t=0, q_t=0$ ) et ( $t=t, q=q$ ), l'équation devient :

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - K_L t \text{ (EqI.2)}$$

Où

**$K_L$** : Constante de vitesse du pseudo premier ordre ( $\text{min}^{-1}$ ) ;

**$t$** : Temps de contact (min) ;

**$Q_e$**  : Quantité adsorbée à l'équilibre (mg/g) à la saturation de monocouche ;

**$Q_t$** : Quantité adsorbée (mg/g) par unité de masse de l'adsorbant à l'instant  $t$  ;

### I.3.2. Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre

Ce modèle exprimé par Ho et McKay [11] par l'équation de suivante :

$$dQ/dt = K_2 (Q_e - Q_t)^2 \text{ (EqI.3)}$$

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

$$t/Q_t = 1/(K_2 \cdot Q_e^2) + (1/Q_e) \cdot t \text{ (Eq.I.4)}$$

Où

**$Q_t$** : Quantité adsorbée au temps  $t$  ;

**$Q_e$**  : Quantité adsorbée à l'équilibre (mg/g) ;

**$K_2$** : Constante de vitesse du second ordre [ $\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ] ;

### I.3.3. Diffusion intra particulaire de modèle de soluté dans le solide

La cinétique de diffusion intra particulaire est exprimée par la relation de Weber et Morris [12] :



$$Q_t = K_{\text{diff}} \cdot t^{1/2} + C \quad (\text{Eq I.5})$$

**Q<sub>t</sub>**: Quantité adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g) au temps t ;

**K<sub>diff</sub>**: Constante de vitesse de diffusion intra particulaire [mg/(g.min)].

**t**: Temps de contact (min)

Le tracé de la courbe  $Q_t = f(t^{1/2})$  présente généralement deux parties dont une partie qui est linéaire. Cette dernière traduit l'étape de la diffusion intra particule [13].

## I.4. Domaines d'application de l'adsorption

L'adsorption qui s'avère comme un traitement efficace à l'industrie. En pratique, elle est utilisée dans les cas suivants [14] :

- Séchage ;
- Traitement des huiles ;
- Traitement des gaz ;
- Industrie textile ;
- Décoloration et traitement des eaux.

### I.4.1. Les facteurs d'adsorption

#### I.4.1.1. Les facteurs liés à l'adsorbant

- ✓ La granulométrie influence la cinétique d'adsorption ainsi que l'accessibilité aux pores.
- ✓ L'indice d'iode est un indicateur global de la capacité d'adsorption vis-à-vis des petites molécules.

#### I.4.1.2. Les facteurs liés à l'adsorption

- ✓ La solubilité est inversement proportionnelle à la capacité d'adsorption.
- ✓ L'augmentation de la masse moléculaire accroît la capacité d'adsorption. Cependant, si elle devient trop grosse, elle n'a plus accès aux micropores, donc cela va diminuer le nombre de sites possibles de façon conséquente.
- ✓ La structure de la molécule influence sa capacité d'adsorption. Plus une molécule se rapproche d'une structure symétrique ou coplanaire, plus elle sera adsorbable. De

même pour la répartition des charges de façon homogène, par opposition aux molécules dont la charge est concentrée sur un atome.

#### **I.4.1.3. Les facteurs extérieurs**

Etant donné que le phénomène d'adsorption est exothermique, l'augmentation de la température entraîne la diminution de la capacité d'adsorption.

# **Chapitre II**

## **Généralités sur les colorants**

## II. I. Introduction

L'un des phénomènes les plus alarmants est la croissante accumulation de substances récalcitrantes difficilement biodégradables dans les eaux. La situation s'aggrave par le manque ou l'insuffisance d'un système adéquat de traitement des eaux capable de diminuer la concentration des substances toxiques qui représentent des risques chimiques chroniques. Parmi ces substances toxiques, on cite les colorants [15].

## II.2. Définition d'un colorant

Un colorant est une substance chimique colorée capable de transmettre sa coloration à d'autres corps. Il est un composé organique insaturé et aromatique. Les premières matières colorantes 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 sont synthétiques issues des dérivées des hydrocarbures contenus dans le goudron de houille [16].

## II.3. Types de colorants

### II.3.1. Les colorants naturels

Les premiers employés ont été d'origine minérale (terres colorées) ; et depuis que l'homme a réussi à maîtriser les techniques des tissages, il s'est servi de teintures d'origine végétale ou animale.

#### II.3.1.1. Les colorants d'origine minérale

Les oxydes métalliques sont les premiers colorants utilisés dans l'histoire [17]. En effet, les colorants d'origine minérale, par leur facilité de préparation, ont été employés très tôt dans divers domaines, par exemple par les chinois qui avaient utilisé le cinabre (sulfure de mercure) pour la préparation de rouge vermillon. Au XVI<sup>ème</sup> siècle, en Europe centrale, la smaltite (arséniure de cobalt) servait à colorer le verre en bleu [18].

#### II.3.1.2. Les colorants d'origine organique

Les colorants d'origine végétale ou animale sont surtout employés pour réaliser des peintures, des laques et essentiellement des teintures.

**a) Les colorants d'origine végétale**

Jusqu'à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, la teinture des tissus a été réalisée à l'aide des colorants d'origine végétale, par exemple, les égyptiens ont connu depuis des millénaires la préparation et utilisation de l'indigo (extrait des feuilles de la plante indigotière) pour la teinture de la laine et de soie.

Des racines de garance sont utilisées pour extraire l'alizarine et la purpurine (teintes de la laine et du coton en rouge vif, en bordeaux et en violet sur mordants métalliques). La gaude fut aussi employée pour obtenir des teintures jaunes. [18]

**b) Les colorants d'origine animale**

La pourpre de Tyr qui ornait les vêtements des hauts dignitaires du monde oriental et romain, provenait d'un mollusque de la Méditerranée, le murex. La cochenille du Mexique fournit un rouge écarlate utilisé pour la teinture de la laine et de la soie, elle est maintenant employée dans l'industrie alimentaire (E120) et dans les cosmétiques. Le kermès ou cochenille des teinturiers a servi à teindre des textiles (la laine et la soie) en écarlate. [19]

**II.3.2. Les 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.

Les colorants synthétiques ont progressivement remplacé les colorants naturels et les recherches menées depuis le XIX<sup>ème</sup> siècle ont débouché sur la fabrication d'un très grand nombre de familles de colorants qui sont souvent des imitations de colorants naturels.

Jusqu'en 1850, les colorants alimentaires provenaient :

- Des végétaux comestibles (carotte [orange], betterave [rouge], peau de raisin noir [noir] ...).
- D'extraits d'origine animale ou végétale non habituellement consommés (acide carminique [rouge] provenant d'insectes, stigmate de crocus [safran]...).

- Du résultat de la transformation de substances naturelles (caramel [marron]).

La plupart des colorants naturels sont encore utilisés aujourd'hui mais ont été largement supplantés par les colorants synthétiques. [20].

#### II.4. Effets des colorants

Beaucoup de colorants sont visibles dans l'eau même à de très faibles concentrations ( $< 1 \text{ mg L}^{-1}$ ). Ainsi, ils contribuent aux problèmes de pollution liés à la génération d'une quantité considérable d'eau usée contenant des colorants résiduels [21]. Le rejet de ces eaux résiduaires dans l'écosystème est une source de pollution, d'eutrophisation et de perturbation non esthétique dans la vie aquatique et par conséquent présente un danger potentiel de bioaccumulation qui peut affecter l'homme par transport à travers la chaîne alimentaire.

#### II.5. Classification chimique des colorants

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore

##### II.5.1. Les colorants azoïques :

Les colorants azoïques sont caractérisés par la présence au sein de la molécule d'un groupement azoïque ( $-\text{N}=\text{N}-$ ) reliant deux noyaux benzéniques. Cette catégorie de colorant est actuellement la plus répandue sur le plan de l'application, puisqu'ils représentent plus de 50% de la production mondiale de matières colorantes. [22,23]

Les colorants azoïques sont les colorants les plus couramment utilisés dans l'industrie textile, ils sont des composés organiques contenant un groupe azoté qui s'avère être stable comme colorants de textile [24]. 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[25].

**Tableau II.1** :Taux de fixation sur textile pour les différentes classes de colorants[26].

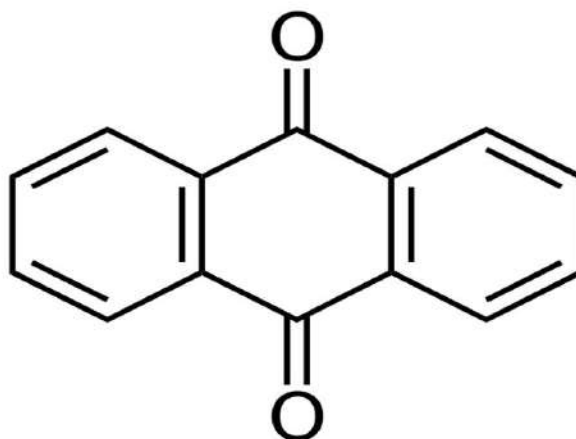
Classe de colorant	Fixation (%)	Fibresutilisées
Acide	80 – 93	Laine, nylon
Azoïque	90 – 95	Cellulose
Basique	97 – 98	Acrylique
De cuve	80 – 95	Cellulose
Direct	70 – 95	Cellulose
Dispersé	80 – 92	Synthétique
Réactif	50 – 80	Cellulose
Soufré	60 – 70	Cellulose

**II.5.2. Colorants anioniques ou acides :**

Les colorants acides sont des substances organiques possédant des groupes sulfonâtes  $\text{NaSO}_3$ -ou carboxylates  $\text{NaCOO}$ . Ces colorants se présentent le plus souvent sous forme de sels de sodium ou de potassium. Leurs groupements sulfonâtes jouent le rôle d'élément solubilisant car il facilite l'ionisation de la molécule de colorant au sein du solvant.

**II.5.3. Colorants anthraquinoniques**

Sont d'un point de vue commercial, les plus importants après les colorants azoïques. Leur formule générale dérivée de l'anthracène (Figure II.2) montre que le chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amino[27].

**FigII.1** :Squelette anthraquinonique.

## II.6. Bref historique du colorant Rouge Congo

L'art de la teinture et la connaissance des colorants remonte aux périodes les plus reculées de la préhistoire d'après les découvertes archéologiques tels que les peintures rupestres, les hiéroglyphes égyptiens, les enluminures et étoffes du Moyen-âge, attestent aussi l'importance de la couleur dans toutes les époques de l'histoire.

Les premiers colorants synthétiques datent du milieu du 19<sup>ème</sup> siècle. L'évolution de l'industrie des colorants a été étroitement liée au développement de la teinture synthétique et de la chimie en général. [28]

Les matières colorantes sont un assemblage de groupes chromophores, autochromes et de structures aromatiques conjuguées (cycles benzéniques, anthracène, perylène, etc.). Ces groupements sont capables de transformer la lumière blanche dans le spectre visible (de 380 à 750 nm), en lumière colorée par réflexion sur un corps, ou par transmission ou diffusion. [29]

Il est aussi utilisé comme colorant histologique pour le diagnostic de certitude de l'amyloïde hépatique. Il est utilisé couramment en microscopie mycologique. [30]

En histologie, il a été utilisé très vite avec beaucoup de succès pour la coloration des cellules éosinophiles, des dépôts pathologiques de protéines, des cellules des muqueuses gastriques, de la kératine, des os embryonnaires, du ciment des jeunes dents, des parois cellulaires d'algues filamenteuses, des polysaccharides...etc. Néanmoins il est plus connu pour son utilisation dans l'industrie du textile. [31]

### II.6.1. Définition de Rouge Congo

Le Rouge Congo est une molécule colorante (diazotique). On utilise de moins en moins le Rouge Congo dans l'industrie du textile car c'est un colorant toxique.

Il sert désormais surtout d'indicateur de pH, c'est-à-dire d'indicateur de l'acidité d'un milieu. Sous sa forme basique, le rouge Congo est rouge. Quand le pH est compris entre 3.0 et 5.2, il devient rose.

En présence d'une acidité supérieure, l'indicateur devient bleu. Le Rouge Congo est très répandu également en histologie, c'est-à-dire l'étude des tissus biologiques, et en mycologie, c'est-à-dire l'étude des champignons. [32]



### II.6.2. Structure chimique du Rouge Congo

Le Rouge Congo dont la formule chimique est : acide benzidinediazo- bis -1-naphthylamine -4- sulfonique (figure II.2), de formule brute :  $C_{32} H_{22} N_6 Na_2 O_6 S_2$  est un exemple de cette catégorie.

Sa masse molaire est de 696,66 g/mol.

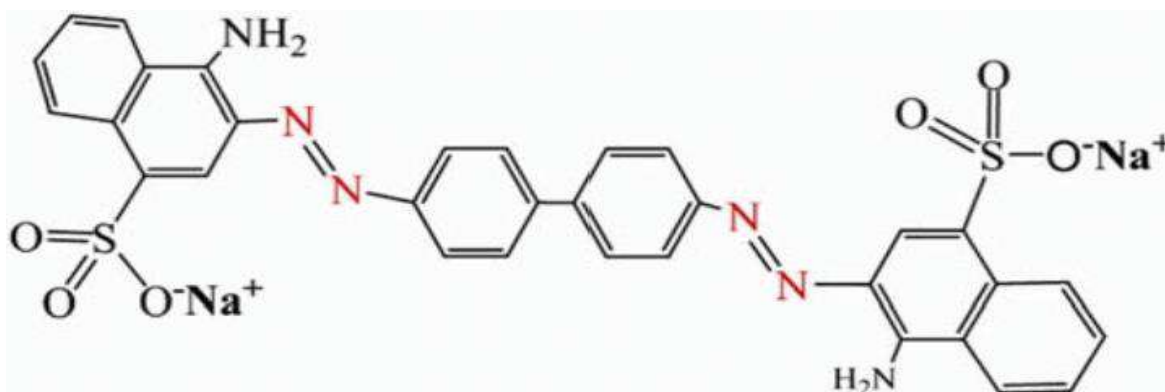


Fig II.2 :Structure chimique du Rouge Congo.

Le Rouge Congo est un colorant qui fait partie de la catégorie des polyazoïques parce qu'il possède deux chromophores (région de la molécule qui est principalement responsable de la teinte) de type azoïque, c'est-à-dire formés chacun de deux atomes d'azote doublement liés, et diversement substitués.

### II.6.3. Propriétés physiques et chimiques de Rouge Congo

#### II.6.3.1. Propriétés physiques du Rouge Congo

Les tableaux II.2 et II.3 rassemble respectivement les propriétés physiques et chimiques du Rouge Congo

Tableau II.2 :Propriétés physiques du Rouge Congo [33]

Les propriétés physiques	
T° fusion	>360 °C
Pression	760 mm Hg
Solubilité	25 .l <sup>-1</sup> dans l'eau à 20 °C très soluble dans l'alcool.

Tableau II.3 : Propriétés chimiques du Rouge Congo [34]

<b>Nom chimique</b>	<b>3,3'-[[1,1'-biphényl]-4,4'-diylbis(azo)][bis(4 aminonaphtalène-1-sulfonate) de disodium</b>
<b>Nombre de C.A.E</b>	573-58-0
<b>Index de Couleur : C.I</b>	22120
<b>Synonyme</b>	Direct Red 28
<b>Formule chimique</b>	C <sub>32</sub> H <sub>22</sub> N <sub>6</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>6</sub> S <sub>2</sub>
<b>Poids moléculaire (g.mol<sup>-1</sup>)</b>	696.663
<b>λ max (nm)</b>	498

#### II.6.4. Toxicité du Rouge Congo :

A l'état pur, le Rouge Congo :

- Est toxique par contact avec la peau.
- Provoque des brûlures.
- Est toxique par ingestion et mortel à dose élevée de produit pur évidemment : le RC Est léthal à 1,43 g/kg de poids humain. [35]

#### II.7. Utilisation et application des colorants

L'industrie des colorants constitue un marché économique considérable car de nombreux produits industriels peuvent être colorés, principalement :

- Pigments (industrie des matières plastiques)
- Encre, papier (imprimerie)
- Colorants alimentaires (industrie agro-alimentaire)
- Pigments des peintures, matériaux de construction, céramiques (industrie du bâtiment)
- Colorants capillaires (industrie des cosmétiques)
- Colorants et conservateurs (industrie pharmaceutique)
- Carburants et huiles (industrie automobile etc.,...)
- Colorants textiles à usage vestimentaire, de décoration, du bâtiment, du transport, colorants textiles à usage médical etc. [36]

## II.8. Procédés de traitement des colorants

Au cours des différentes étapes de teintures, des quantités plus ou moins importantes de colorants sont perdues par manque d'affinité avec les surfaces à teindre ou à colorer. Ces rejets organiques sont toxiques et nécessitent une technique de dépollution adaptée.

Le traitement des rejets textiles, compte tenu de leur hétérogénéité de composition, conduira toujours à la conception d'une chaîne de traitement assurant l'élimination des différents polluants par étapes successives. La première étape consiste à éliminer la pollution insoluble par l'intermédiaire de prétraitements (dégrillage, dessablage, déshuilage...etc.) et/ou de traitements physiques ou physico-chimiques assurant une séparation solide - liquide. Les techniques de dépollution intervenant le plus couramment en deuxième étape dans les industries textiles se divisent en trois catégories [37] :

❖ **Traitement physique** :Le traitement physique comporte :

- Les méthodes de précipitation (coagulation, floculation, sédimentation),
- L'adsorption.
- L'osmose inverse, filtration.
- L'incinération.

❖ **Traitement chimique** :Inclut l'utilisation de :

- L'oxydation classique (oxygène, ozone, oxydants tels que NaOCl, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>),
- La réduction par (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>),
- La méthode complexométrique
- L'échange d'ions,

❖ **Biologique** :Comporte :

- Le traitement aérobie,
- Le traitement anaérobie.

### II.8.1. Procédés chimiques

#### II.8.1.1. Les procédés d'oxydation classique

Les techniques d'oxydation classique utilisent des oxydants puissants et variés tels que l'hypochlorite de sodium (NaOCl), l'ozone (O<sub>3</sub>), ou encore le peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), en présence ou non de catalyseur. Ces méthodes de traitement sont couramment utilisées pour l'épuration d'effluents contenant des polluants organiques, y compris des colorants, en raison

de leur mise en œuvre relativement facile. Dans le cas des colorants toxiques réfractaires à la biodégradation, l'action de ces composés permet l'obtention de sous-produits dégradables par les microorganismes. Enfin, l'oxydation par l'ozone ou le peroxyde d'hydrogène est des procédés utilisés en complément ou en concurrence avec l'adsorption sur charbons actifs ou la nano filtration. [38]

• **L'hypochlorite de sodium :**

L'hypochlorite de sodium (NaOCl) s'attaque en particulier à la fonction amine des colorants, il enclenche et accélère la destruction du motif azoïque. Cependant, l'hypochlorite de sodium est de moins en moins utilisé dans les processus de traitement des eaux usées, en raison des effets négatifs qu'il induit [39], notamment par la formation d'amines aromatiques et d'organo-chlorés qui sont des composés cancérigènes. Ces inconvénients ont motivé son remplacement par l'ozone ou d'autres oxydants.

• **L'ozone :**

L'ozone est un oxydant très puissant, particulièrement en raison de sa grande instabilité, l'ozonation est surtout adaptée à la dégradation des molécules de colorants ayant une double liaison, dont la destruction conduit à la formation de molécules plus petites. Les sous-produits d'oxydation à l'ozone présentent l'avantage d'être biodégradables. [40]

• **Le peroxyde d'hydrogène :**

Le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) est utilisé dans la plupart des procédés de décoloration par oxydation. Cependant, en raison de la stabilité de ce composé à l'état pur, il est nécessaire de l'activer [41]. Le rendement des méthodes d'oxydation à base de peroxyde d'hydrogène diffère en fonction de l'agent d'activation, les plus utilisés étant l'ozone, les rayons UV et les sels ferreux.

**II.3.3. Toxicités des colorants :**

Les dangers provoqués par les colorants peuvent être résumés en :

- La modification et la dégradation des milieux aquatiques par le phénomène d'eutrophisation.
- La présence en quantités élevées des colorants dans les milieux aquatiques peut devenir toxiques pour la vie piscicole et altérer la production d'eau potable.

- Les processus naturels de régulation ne peuvent plus compenser la consommation bactérienne d'oxygène, due à la présence des quantités plus élevées de la matière organique dans les milieux aquatiques (sous oxygénation).
- La présence des colorants dans les milieux aquatiques induit l'apparition de mauvais goûts, de prolifération bactérienne, d'odeurs pestilentielle et de colorations anormales. [42]
- La toxicité des colorants azoïques dépend ainsi de la nature et de la position des substituants.

Elle est accrue par la présence de substituants sur le noyau aromatique notamment des groupes nitro (-NO<sub>2</sub>) et halogènes (particulièrement Cl). Cependant, la substitution avec des groupes carboxyliques ou sulfonates diminue la toxicité. [43]

# **Chapitre III**

## **Matériel et méthodes**

### III. Le but



L'objectif de notre travail :

- L'étude de l'élimination d'un colorant synthétique « le Rouge Congo » par adsorption en phase aqueuse sur un matériau solide qui consiste en un déchet agro-alimentaire (épluchures de pommes de terre).
- Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption.

### III.1. Matériels et Méthodes

#### III.1.1. Les produits

**Tableau III.1** : Les produits chimiques

Les produits chimiques	
Congo rouge	
Na OH HCL	

#### III.1.2. Matériels :

- Fiole jaugée (1L).
- Becher (200mL).
- Pipette graduée.
- Verre de montre.

### III.1.3. Les appareillages

#### ➤ Spectres d'adsorption en UV-visible

L'Analyse par cet instrument s'appuie sur le fait que toute solution colorée traversée par un faisceau de lumière laisse passer une fraction de lumière incidente, la quantité de lumière adsorbée est proportionnelle à la concentration du composé colore recherché.



**FigIII.1 :** Spectrophotomètre UV-Vis

#### ➤ Agitateur magnétique

Un microprocesseur régule la vitesse de façon très précise même pour les longues durées de cycle. La minuterie numérique intégrée permet de régler le cycle de 1 à 999 (38)



**Fig III.2 :**Agitateur magnétique

- Balances analytique.
- pH- mètre.
- Etuve.



### III.1.4. Etude de l'effet des paramètres opératoires sur l'adsorption

Pour étudier le phénomène d'adsorption du RC sur les épluchures de pommes de terre, nous avons opté pour les conditions opératoires suivantes : masse d'épluchures de pommes de terre, concentration initiale du RC, le pH et la température :

A la fin de chaque opération d'adsorption, la solution a été prise avec une seringue et analysée par spectrophotométrie UV Visible dans le but de déterminer la concentration résiduelle des RC.

## III.2. Mode opératoire

### III.2.1. Préparation d'absorbant (épluchures de pommes de terre) :

Nous préparons les épluchures de pommes de terre, puis nous les lavons avec de l'eau distillée et les mettons au four pour qu'elles sèchent complètement pendant 24 heures, ensuite nous les cassons en petits morceaux.



**Fig III.3** : Séchage le déchet (EPDT).

Les essais d'adsorption ont été réalisés en mode batch, à diverses concentrations initiales de déchet (1-7 mg/l), quantités de déchet (1-7g), pH de la solution (2,5-12) et température (30-70°C). Le volume de la solution est égal à 200ml. Les concentrations résiduelles de colorant mesurées à temps  $t$  sont déduites à partir de l'équation linéaire :

$$Y=54,452X +0,0039 \quad (1)$$

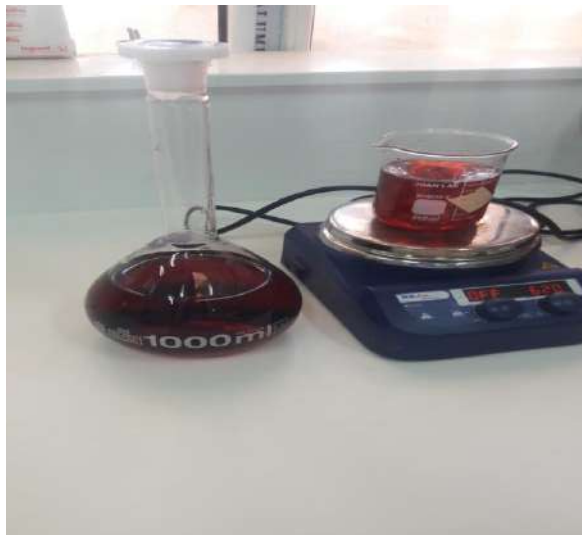
Avec  $Y$  : l'absorbance et  $X$  : la concentration résiduelle de RC à l'instant.

**III.2.2. Préparation des solutions mère du rouge Congo :**

- A l'aide d'une balance analytique et spatule, on pèse (7, 10, 14, 18,20) mg du RC.
- On met cette quantité de RC dans 5 une fiole jaugée (1 litre).
- On ajoute l'eau distillé avec l'agitation jusqu'à le trait de jauge.

**III.2.3. Etude de l'effet de la concentration initiale en colorant sur l'adsorption :**

- Nous avons pris 5 béchers dont chacune contient 200ml d'une solution aqueuse de colorant de concentration connue ( $C=7, 10, 14, 18, 20\text{mg/l}$ ).
- Ensuite, nous avons pris des quantités d'éplucheurs de pomme de terre, pesant 1 g et nous les avons mis dans chaque bécher.
- Nous avons mis les béchers sous agitation pendant 120 minutes. Nous mesurons le taux d'adsorption par la mesure de l'absorbance à  $\lambda_{\text{max}}=498\text{nm}$ .



**FigIII.4 :**Solution de rouge Congo

**III.3.1. Effet de la variation de la quantité de déchet :**

- On prend 5 Béchers et on met dans chacun d'eux la même solution de volume 200ml, qui a une la quantité des éplucheurs de pomme de terre de (1, 2.5, 3 ,6 ,7) g chaque bécher.
- On fixe la concentration de 7mg/l, On a mis les béchers sous agitation à pendant 120 minutes et on mesure l'absorbance toutes les 10 minutes à  $\lambda_{\text{max}}=498\text{nm}$ .



**FigIII.5** :Epluchures de pommes de terre sèches.

### III.3.2. Effet de la variation de ph :

- Nous avons pris 200ml de solution aqueuse de Rouge Congo dont la concentration est de 7mg/l, Nous avons fixé le pH des béchers à différentes valeurs (2.5, 4, 7, 10, 12) à l'aide de H Cl ou Na OH.
- On met une quantité des éplucheurs de pomme de terre de 2,5g dans chaque bécher. Ensuite.
- Nous avons mis les béchers sous agitation pendant 120 minutes et on mesure l'absorbance chaque 10 minutes à  $\lambda_{\max}=498\text{nm}$ .



**FigIII.6** :Solution de rouge Congo Ph=10

### III.3.3. Effet de la variation de la température :

- On prend 3 Béchers et on met dans chacun d'eux la même solution de volume 200ml, qui a une concentration de 7mg/l.

- On fixe le pH à 4 puis on met la quantité des épilucheurs de pomme de terre de 2.5 g chaque bécher.
- On a mis les béchers sous agitation à différentes températures (30, 50, 70) °C pendant 120 minutes et on mesure l'absorbance toutes les 10 minutes à  $\lambda_{\max}=498\text{nm}$ .

### III.3.4. Méthodes de dosage par spectroscopie UV-Visible :

Le spectrophotomètre que nous avons utilisé est un appareil qui permet de mesurer directement les densités optiques. Les analyses sont effectuées sur un spectrophotomètre (Agilent Technologies Cary 60 UV). Les longueurs d'onde maximales sont obtenues directement par balayage automatique 498 nm.

### III.3. Formules de calcul :

Pour calculer la quantité de RC biosorbée à l'équilibre  $Q_e$  (mg/g), on utilise la formule suivante :

$$Q_e = ((C_0 - C_e) V) / W \quad (2)$$

$$Q_t = ((C_0 - C_t) v) / W$$

$C_e$  : La concentration de RC dans la phase aqueuse à l'équilibre (mg/l).

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

$W$  : Masse de biosorbant sec (g).

- Pour calculer le rendement de l'enlèvement de RC à l'instant  $t$  (%), on applique la formule :

$$R\% = ((C_0 - C_t) 100) / C_0 \quad (3)$$

### III.3.1. Modèles cinétiques du pseudo premier ordre :

Le modèle cinétique du pseudo premier ordre est souvent formulé par l'équation de Lagergren [11] qui peut être exprimé par l'équation suivante :

$$Qq/dt = K_1 (Q_e - Q_t)$$

Après intégration et l'application des conditions aux limites ( $t = 0, Q_t = 0$ ) et ( $t=t, q=q$ ), l'équation devient :

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - K_1 t$$

Où

**$K_1$**  : Constante de vitesse du pseudo premier ordre ( $\text{min}^{-1}$ ) ;

**$t$**  : Temps de contact (min) ;

**$Q_e$**  : Quantité adsorbée à l'équilibre (mg/g) à la saturation de monocouche ;

**$Q_t$**  : Quantité adsorbée (mg/g) par unité de masse de l'adsorbant à l'instant  $t$  ;

### III.3.2. Modèles cinétiques du pseudo deuxième ordre :

Ce modèle exprimé par Ho et McKay [12] par l'équation de suivante :

$$Q_e \frac{dQ_t}{dt} = (K_2 \cdot Q_e) + q_t$$

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

$$t/Q_t = 1/(K_2 \cdot Q_e^2) + (1/Q_e) \cdot t$$

Où :

**$t$**  : Respectivement à l'équilibre et au temps  $t$  ;

**$K_2$**  : Constante des vitesses du second ordre [ $\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{min})$ ] ;

### III.3.3. Modèles d'isothermes :

Plusieurs lois ont été proposées pour l'étude de l'adsorption, et de nombreux modèles ont été développés pour caractériser les processus impliqués, dont on cite les plus utilisés :

#### a) Isotherme de Langmuir :

Le modèle le plus connu est celui de Langmuir (Langmuir, 1918). Ce modèle suppose que le nombre de sites d'adsorption à la surface du matériau est fixe et que chaque site ne peut adsorber qu'une seule particule. On néglige de plus l'interaction entre particules adsorbées ce qui permet de considérer une énergie d'adsorption constante. L'isotherme de Langmuir est donnée par la relation :

$$Q_e = \frac{Q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (4)$$

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

**Qe** : La quantité adsorbée du soluté à l'équilibre (mg/g).

**Qm** : La capacité maximale d'adsorption (mg/g).

**Ce** (la concentration du soluté à l'équilibre (mg/L).

La linéarisation de l'équation ci-dessus donne la forme suivante :

$$C_e / Q_e = 1 / K_L \cdot Q_m + C_e / Q_m$$

Le tracé de  $C_e / Q_e$  en fonction de  $C_e$  permet de déterminer  $Q_m$  et  $K_L$

#### b) Isotherme de Freundlich :

Le modèle simple et empirique de Freundlich est aussi très souvent utilisé.

On considère qu'il s'applique à de nombreux cas, notamment dans le cas d'adsorption en multicouches avec des interactions possibles entre les molécules adsorbées.

$$Q_e = K_F \cdot C_e^{1/n}$$

**Qe** : Capacité d'adsorption à l'équilibre (mg/g) ;

**Kf et /n** : Constantes de Freundlich caractéristiques de l'efficacité d'un adsorbant donné vis-à-vis un soluté donné.

La forme exploitée la plus courante est le tracé en échelle logarithmique des variations de  $Q_e$  en fonction de  $C_e$  :

$$\ln Q_e = \ln K_f + 1/n \ln C_e. \quad [10]$$

# **Chapitre IV**

## **Résultats et discussion**

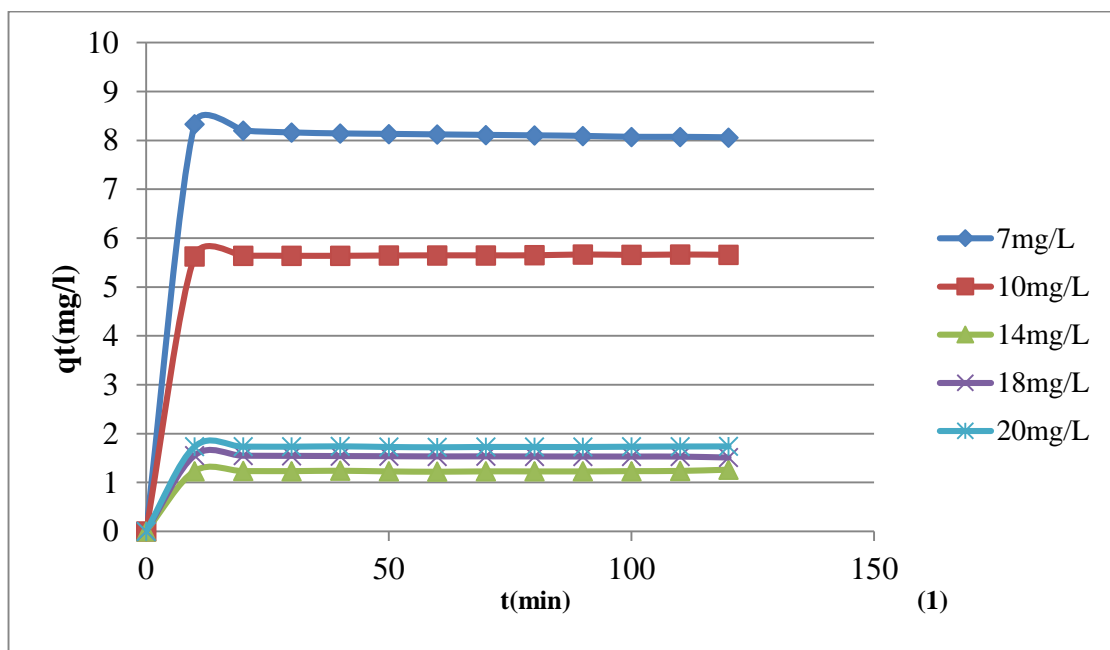
## IV.1. Influence des paramètres opératoires sur l'adsorption

### ➤ Effet de la concentration initiale de RC

L'effet du facteur de concentration sur l'adsorption a été étudié.

La courbe montre l'évolution de la quantité de concentration du temps, on note un écart dans la quantité d'adsorption, par rapport à une variation des élève a RC=7mg/l, et la masse de épiluchures de pommes de terre m=1g, ceci nous explique que la masse de déchets qu'il atteigne le stade de saturation et d'absorber a un moment donne.

L'effet de la concentration de colorant et la masse de déchet sur l'adsorption de RC par épilucheurs de pommes de terre est montré sur la figure (IV.1).



**Fig IV.1** : Effet de la concentration initiale de RC

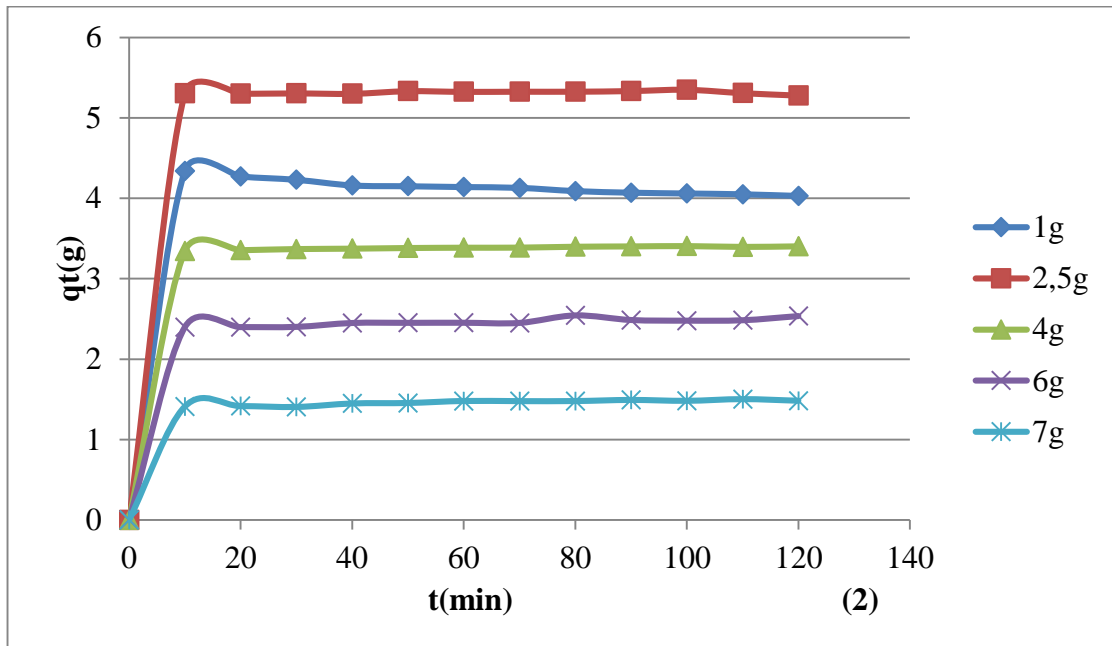
### ➤ Effet de la quantité de l'adsorbant (éplucheur de pomme de ter) :

Figure (IV.2) montre qu'effet de la quantité de l'adsorbant (éplucheur de pomme de ter).

Nous notons également un écart dans la quantité d'adsorption, par rapport a un changement de la masse des épiluchures de pommes de terre avec le temps car nous voyons qu'il est plus rapide au début qu'a la fin, et cela explique s'explique par la disponibilité au début de l'adsorption, qui sont progressivement occupes par les molécules de colorant de



sorte que la capacité d'adsorption augmente avec la temps puis prouvez le cela indique qu' aucun colorant na été retire de la solution a ce stade car la quantité de RC absorbée est en équilibre dynamique.

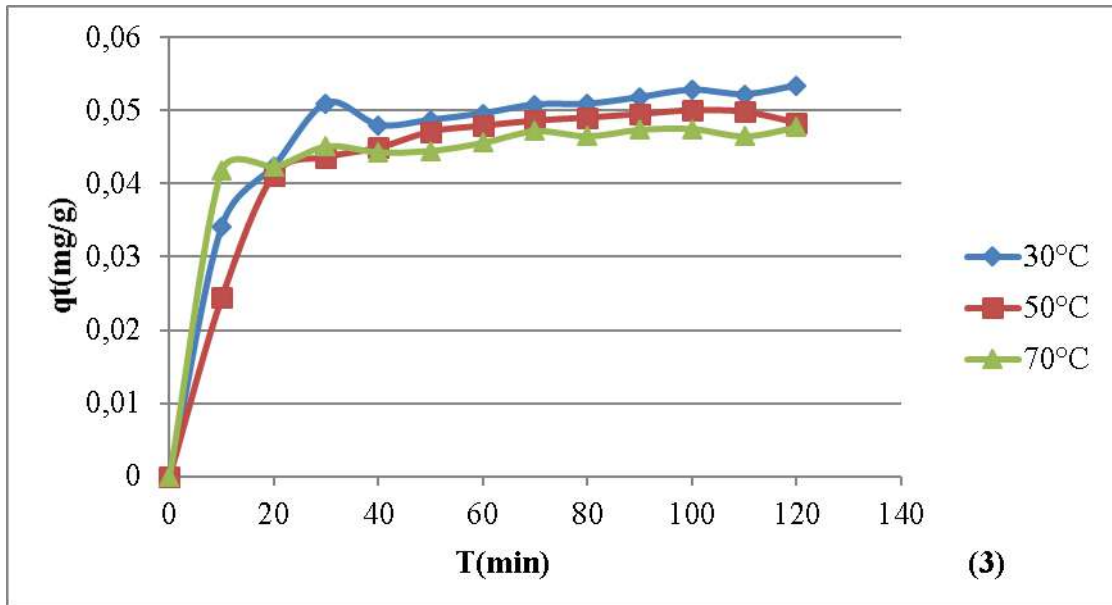


**FigIV.2** :Effet de la quantité de l'adsorbant (éplucheur de pomme de ter)

#### ➤ Effet la température

L'effet de la variation de la température de la solution sur l'adsorption étudié, Les résultats sont illustrés sur les figures(IV.3).

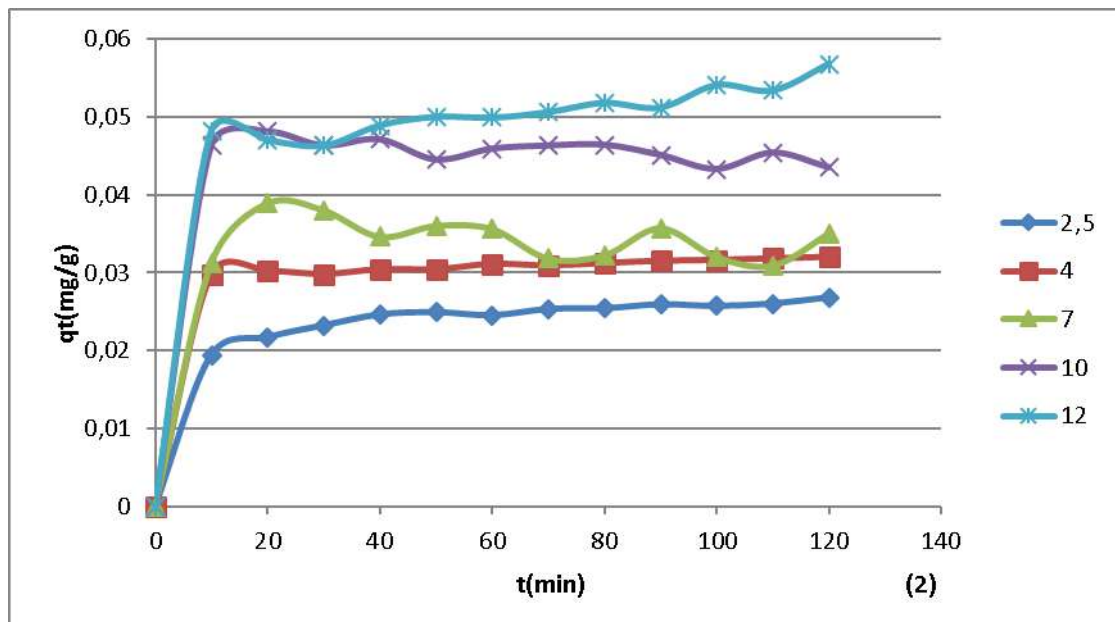
A différentes températures (30-50-70) °C, nous voyons que 30°C est ce qui nous montre une bonne quantité d'adsorption pure le rouge Congo a une concentration de 7mg/l, cela explique par le fait que le facteur de haute température n'est pas adapté à l'adsorption ce qui signifie que le phénomène d'adsorption est exothermique.



FigIV.3 : L'effet de la variation de la température de la solution sur l'adsorption étudiée

➤ L'effet de la variation le pH

On note que la quantité de RC absorbée par les épiluchures de pommes de terre en milieu acide ( $Ph=7, 10,12$ ) est plus milieu basique ( $Ph=2.5, 4$ ), parce que l'ajout de NaOH entraîne une diminution de la Ph et donc une augmentation de la concentration des ions H qui RC sur les sites actifs.



FigIV.4 : L'effet le pH du milieu sur l'adsorption du colorant (concentration initiale de RC=7mg/l, quantité de épilucheur de pomme de ter =2.5g)

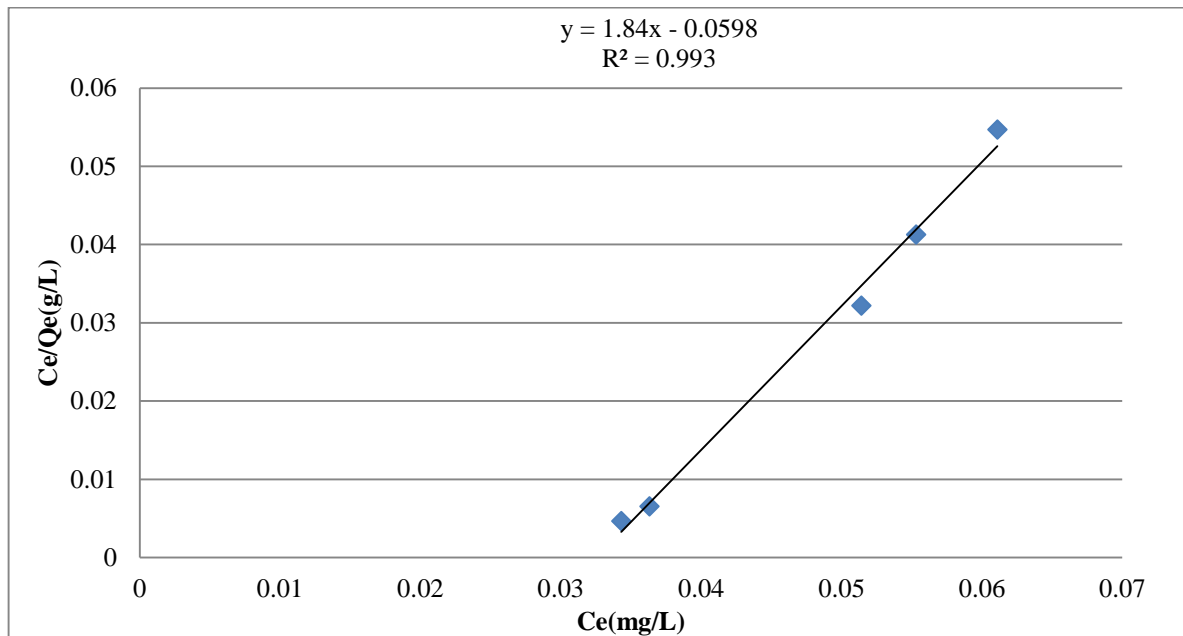
IV.1.1. Equilibres d’adsorption

IV.1.1.1. Isotherme de Langmuir

Afin de pouvoir connaître les résultats expérimentaux d’adsorption nous avons appliqué un modèle de Langmuir, les résultats sont reportés dans les tableaux la courbe :

Tableau IV.1 : Les paramètres équationnels de modèle de Langmuir.

Ce (mg /L)	0,0365	0,0391	0,0262	0,0598	0,0517
Ce /Qe (g/l)	0,0000655	0,000049	0,0000561	0,0000416	0,0000331



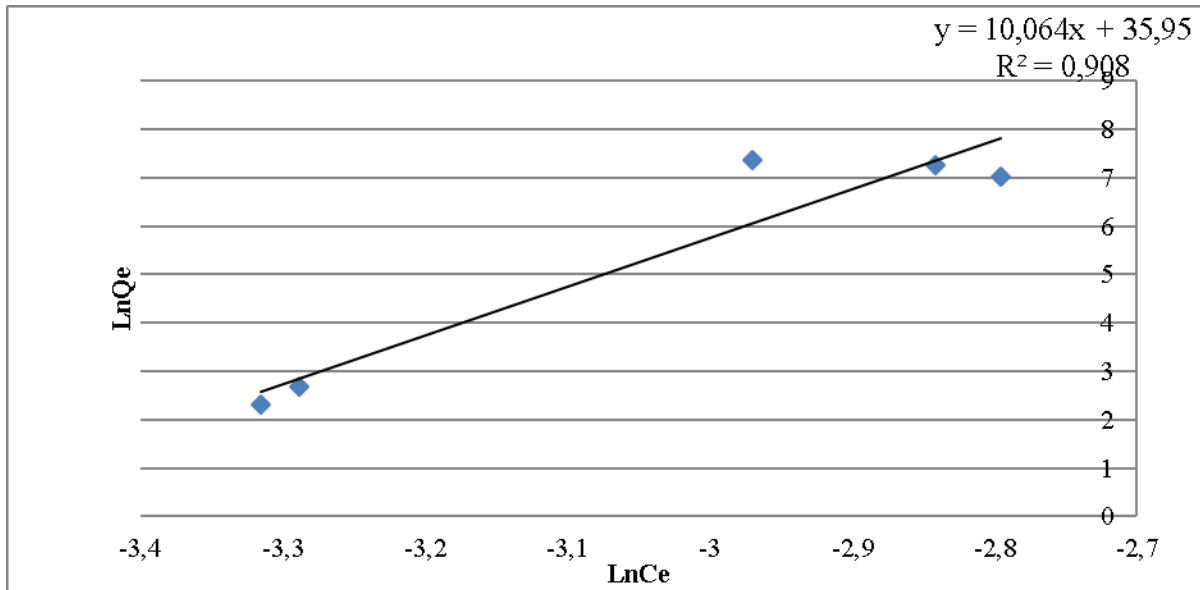
FigIV.5 : Modélisation d’isotherme d’adsorption par l’équation de Langmuir.

Tableau IV.2 : Valeurs des constantes de Langmuir

T	30
Qm	6.203
b	0.059
R <sup>2</sup>	0,993

IV.1.1.2. Isotherme Freundlich :

Les résultats sont présentés iso sorption pour RC par les épluchures de pommes de terre en utilisant la relation Freundlich comme indiqué dans la figure et le tableau suivants :



**Fig IV.6 :** Modélisation de l'isotherme d'adsorption par l'équation de Freundlich.

**Tableau IV.3 :** Valeurs des constantes de Freundlich

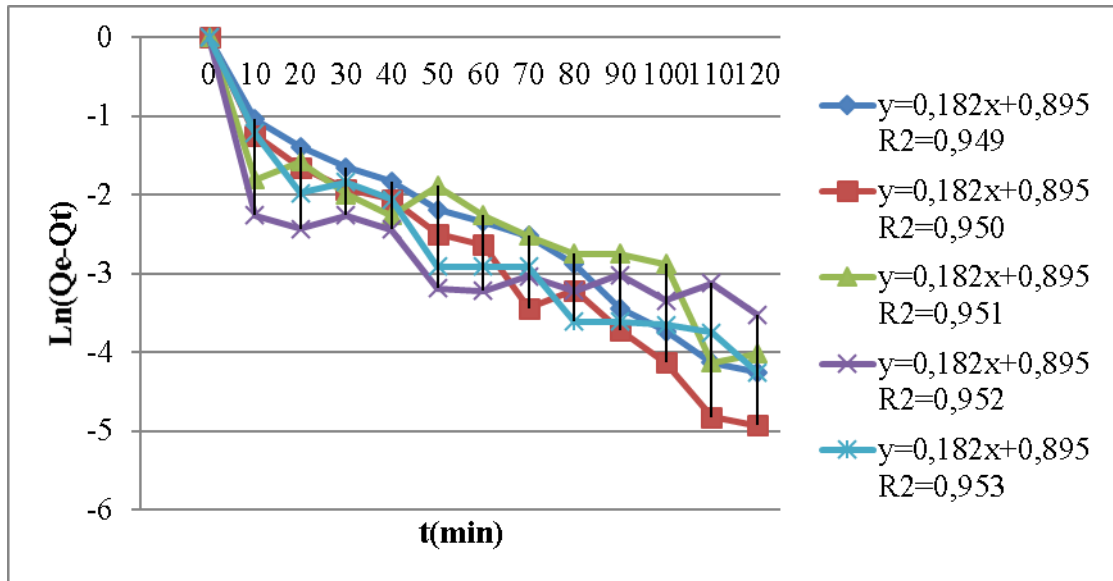
T	30
Ln Kf	$4.1009 \cdot 10^{+15}$
N	0.0994
R <sup>2</sup>	0.908

#### IV.1.1.3. Cinétique d'adsorption :

A partir de l'équation de Lagergren et de Blanchar[49] qui représentent la cinétique de pseudo-premier-ordre et de pseudo-deuxième ordre et leurs formes linéaires, on peut calculer la constante de vitesse K1 et K2 en traçant respectivement  $\ln(Q_e - Q_t)$  [ $q_e$  : quantité de RC adsorbée à l'équilibre et  $Q_t$  : la quantité de RC adsorbée à l'instant t] en fonction de temps t, et  $t/Q_e$  en fonction de t pour différentes concentrations initiales.

#### IV.1.2. Modèle cinétique de premier ordre :

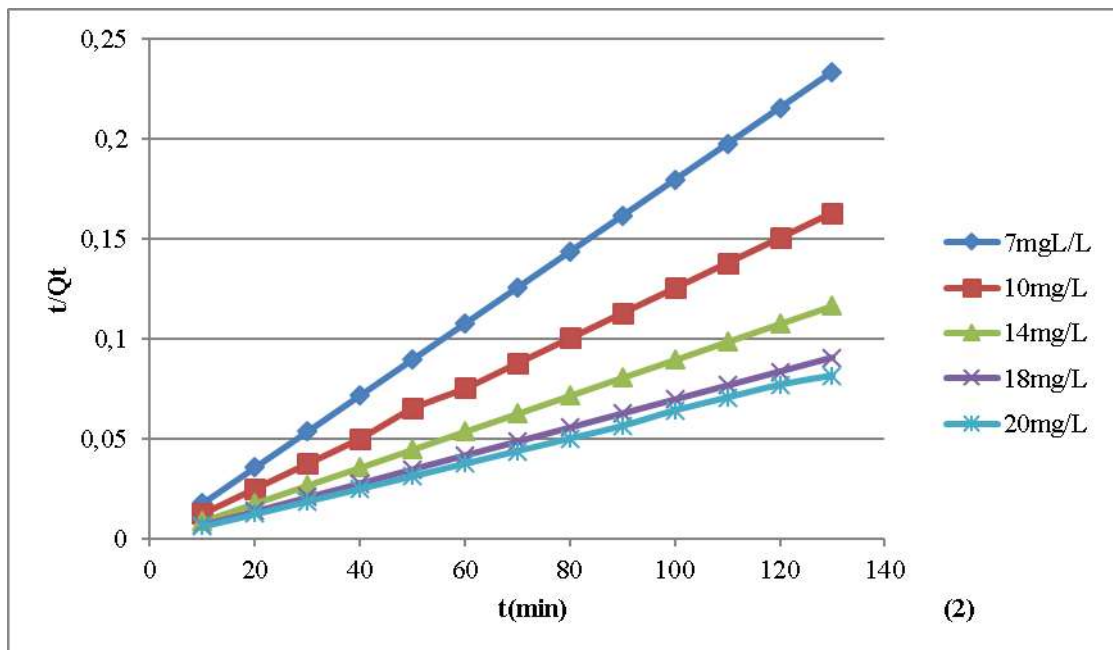
La figure montre les résultats cinétiques d'adsorption, pseudo-première ordre sur l'adsorption RC, par les épluchures de pommes de terre.



FigIV.7 :Modélisation de la cinétique d’adsorption par l’équation pseudo- second ordre.

IV.1.3. Modèle cinétique de deuxième ordre :

On trace la courbe (t /Qt) en fonction (t), nous montre la cinétique d’adsorption du RC selon le modèle de pseudo-deuxième-ordre.



FigIV.8 :Cinétique d’adsorption du RC selon le modèle de pseudo-deuxième-ordre.

Les valeurs des paramètres des modèles dePseudo-premier-ordre et de Pseudo-deuxième-ordre sont calculées à partir de la pente et l’origine des droites linéaires pour chaque isotherme et sont regroupées dans le tableau IV.4 :

**Tableau IV.4 :** Valeurs des constantes de modèle cinétique de premier ordre et de deuxième ordre.

Pseudo-premier-ordre			Pseudo-deuxième-ordre		
C <sub>0</sub> (mg /l)	R <sup>2</sup>	K <sub>1</sub> (mg .g <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	C <sub>0</sub> (mg/l)	R <sup>2</sup>	K <sub>2</sub> (mg .g <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )
7	0.950	1.117	7	0.949	6.138

#### IV.2. Calcule Rendement :

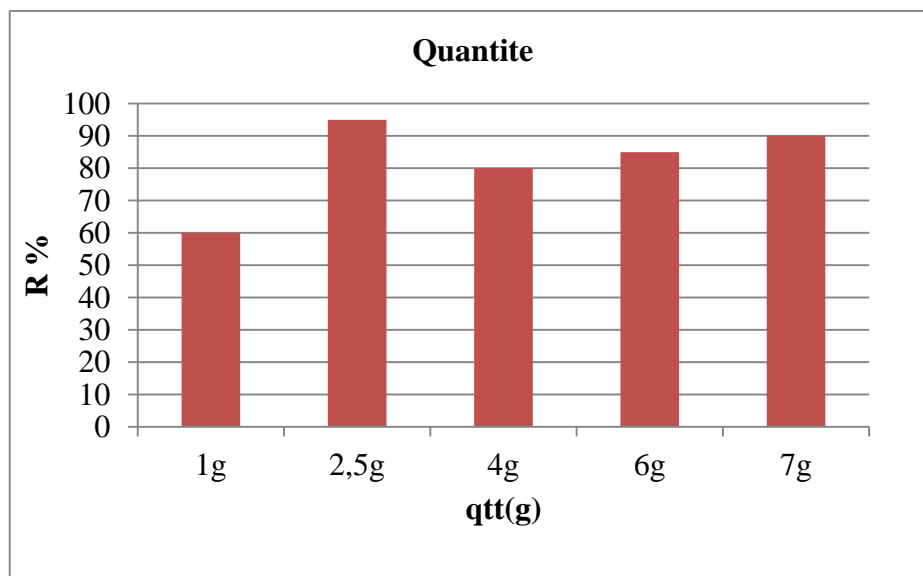
Il s'agit du calcul de l'efficacité de chacune des variables qui ont été appliquées dans l'étude d'adsorption des épluchures de pomme de terre le rouge Congo qui sont (masse de déchet, concentration de couleur, Ph, température) selon la relation suivant :

$$R = (C_0 - C_e / C_0) 100$$

##### IV.2.1. Effet de déchet (épluchures de pommes de terre) :

Les résultats présents dans la figure suivante montrent rendement d'adsorption en termes de masse de pelure de pomme de terre (1,2,5 ,4 ,6 ,7) g.

Bien que les taux d rendement d'adsorption varient c'est la masse de 2.5g qui donne un bon taux d'adsorption lors de la phase d'adsorbant 96.06%.

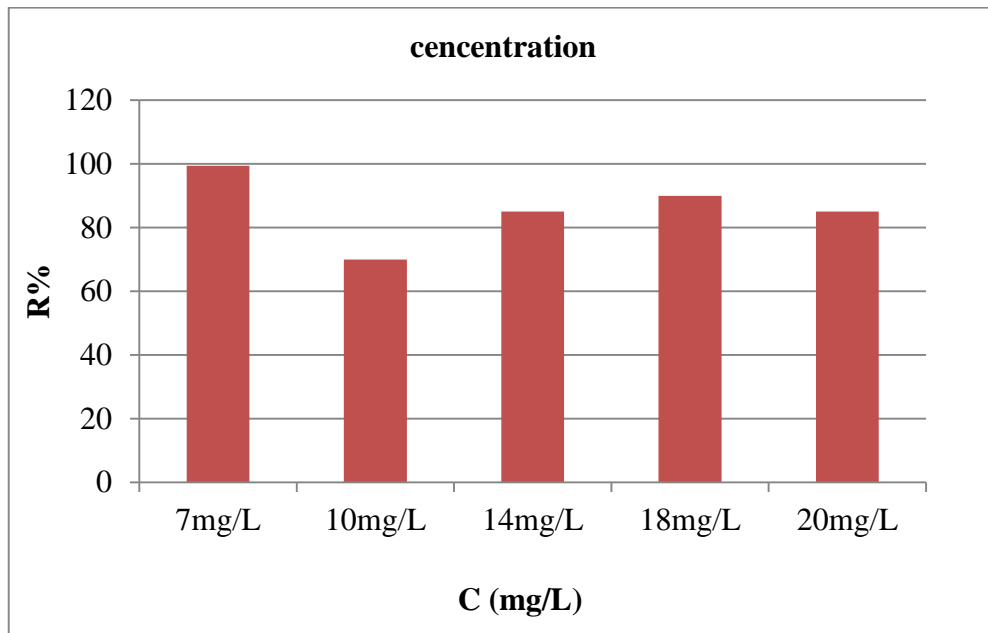


**FigIV.9 :** Rendement d'adsorption on fonction de la quantité EPDT

##### IV.2.2. Effet de concentration de RC :

L'énoncé représente les valeurs de l'efficacité d'absorption en fonction de la concentration initiale de rouge Congo différentes concentration (7 ,10 ,14 ,18 ,20) mg/l.

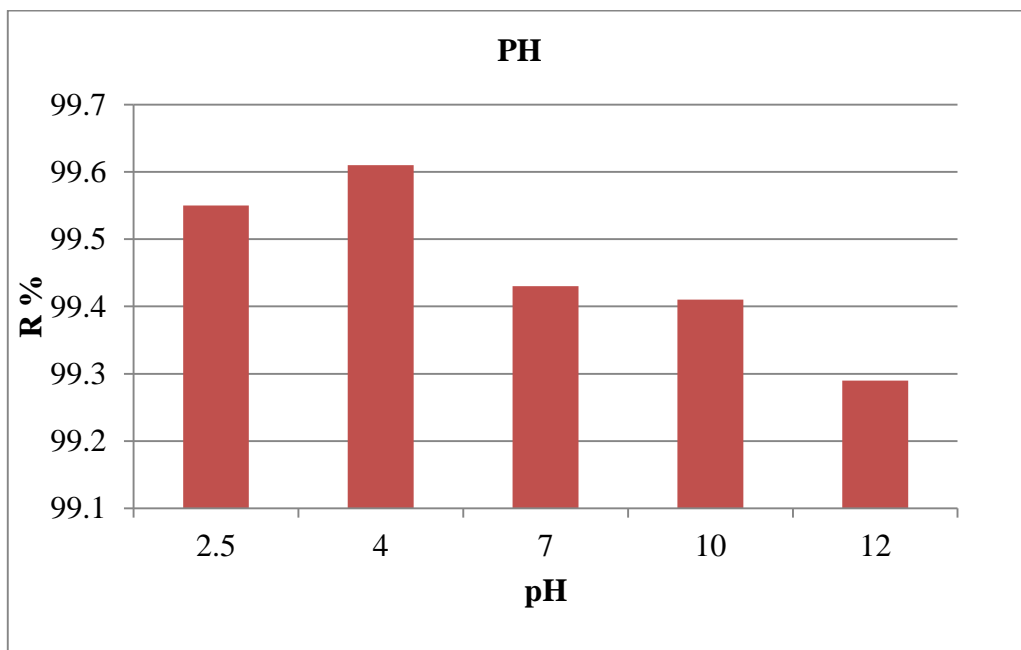
Le meilleur résultat d'adsorption a la concentration 7mg/l ou R=99.41%.



**FigIV.10:** Rendement d'adsorption en fonction de concentration initiale RC

#### IV.2.3. Effet de PH :

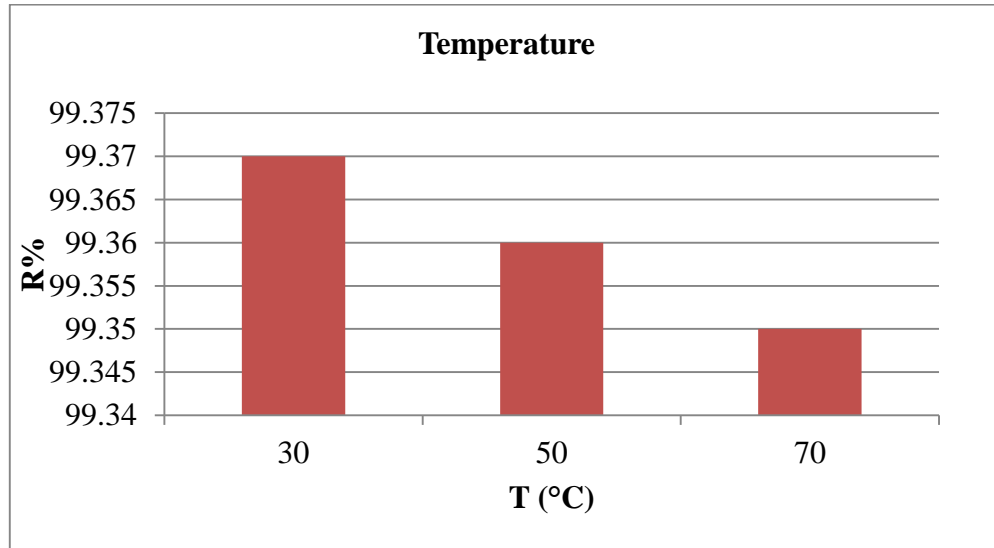
Les graphiques représentent le pourcentage d'absorption en termes de ph ou l'on constate qua des valeurs supérieures au ph le taux d'adsorption est élève en milieu acide contrairement à celui en milieu basique le taux d'absorption est plus faible.



**FigIV.11 :** Rendement d'adsorption en fonction de pH

#### IV.2.4. Effet de température :

Les graphiques représentent l'efficacité d'absorption en termes de différentes températures ou l'on note qu'à des températures élevées (50,70) °C il n'y a pas d'efficacité d'absorption élevée alors qu'elle est élevée à basse température 30°C.



**Fig IV.12 :** Rendement d'adsorption en fonction de température

**Tableau IV.5:** Démontre les meilleures valeurs permettant d'obtenir un bon rendement.

Quantité d'EDPT	2.5g
Concentration RC	7mg/l
PH	4
Température	30°C



# **Conclusion générale**

### Conclusion générale

Dans cette étude, les épluchures de pomme de terre, déchets agricoles très abondants ont été évalués pour leurs capacités à éliminer le colorant Rouge Congo (RC) à partir d'une solution aqueuse. Les essais d'adsorption ont été réalisés à diverses concentrations initiales de colorant (7-20 mg/L), quantités de déchet (1-7g), pH de la solution (2,5-12) et température (30-70°C). Les résultats obtenus ont montré que la concentration de RC contenue dans la solution aqueuse diminuait avec le temps. Les quantités adsorbées de RC à l'équilibre par le déchet ont été vérifiées par rapport aux isothermes de Langmuir et Freundlich. Les résultats indiquent que l'équation de Langmuir fournit une bonne corrélation des données expérimentales. Les données expérimentales de l'étude cinétique d'adsorption à différentes concentrations initiales a montré que le modèle pseudo -deuxième- ordre est le plus adapté pour décrire l'adsorption du RC sur les épluchures de pomme de terre.

# **Bibliographie**

### Bibliographie

#### CHAPITRE I:

[1] Rdoc.univ-sba.dz › bitstream

[3] B.Adams, H.C.T.Thomas,Am.chem.Soc. 8, 79-86, 19944.

[2] Mackay, D.M., and Roberts, P.V. The dependence of char and carbon on lignocellulosic precursor composition. Carbon 20, 2, 87-94. (1982).

[4] G. COUDERC, « Contribution à l'étude de l'adsorption binaire par les carbones non poreux et poreux », Thèse doctorat, Université de Neuchâtel (2002). p 22

[5] R. Ubago-Petrez, F. Carrasco-Marin, D. Fairen-Jimenez, C. Moreno-Castilla, Granular and monolithic carbons from KOH-activation of olive stones, Microporous and Mesoporous Materials, 92, (2006), 64-70.

[6] SLASLI M A. Modelisation de l'adsorption par les charbons microporeux : Approches théorique et expérimentale, Thèse de doctorant, Université de Neuchatel, 3/12/2002.

[7] R. Desjardins, Le traitement des eaux.2emeEdition revue et améliorée, Edition de l'Ecole polytechnique de Montréal.

[8] M.N Crepy. , Dermatoses professionnelles aux colorants, Fiche d'allergologie dermatologie professionnelle hôpital Cochin, (2004).

[9] Sante-medecine.journaldesfemmes.fr › Conseils pratiques

[10] S.Lagergen, about the theory of so-called adsorption of solid substance, Handler, Vol16, 1-39 (1998).

[11] Y.S.Ho, G.Mc Kay, Pseudo-second order model for sorption processes, Process.

[12] W.J. Weber, J.C. Morris, Kinetics of adsorption on carbon from solution, J. Sanit. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng. 89, 31–59(1963).

[13] M.X. Zhu, Y.P. Li, M. Xie, H.Z. Xin, Sorption of an anionic dye by uncalcined and calcined layered double hydroxides: a case study, J. Hazard. Mater. B120, 163–171 (2005).

[14] Bouziane N. Élimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre, Mémoire de Master, Université Mentouri- Constantine, 30/05/2007.

#### CHAPITRE II :

[15] BARAKA N., (2008).l'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO2 supporte. Thèse doctorat, faculté sciences. Algérie

- [16] A. Abdessemed, Etude de l'élimination de l'éthyle violet par adsorption sur la kaolinite et le charbon actif et par des méthodes photochimiques en milieu aqueux, Magister, université Mentouri, Constantine, (2009).
- [17] H.Li, L.Yang, R.Tang, — organic dyes incorporating N-Functionalizedll, J.Dyes and pigments, 99,863-870, (1989).
- [18] I.Roels, F.Petillion, « La couleur expliquée aux artistes », Editeur Eyrolles, 1ème Edition (2012). [5]E. Guivarch Thèse de doctorat, « Application à la minéralisation des colorants synthétiques ». Université de Marne-la-Vallée (2004).
- [19] E. Guivarch Thèse de doctorat, « Application à la minéralisation des colorants synthétiques ». Université de Marne-la-Vallée (2004).
- [20] E. Guivarch Thèse de doctorat, « Application à la minéralisation des colorants synthétiques ». Université de Marne-la-Vallée (2004).
- [21] J.C. Greene., G.L. Baughman —Effects of 46 dyes on population growth of freshwater green alga *Selenastrumcapricornutum*, J.Text. Chem. Color. 28 ,23-30 (1996).
- [27] M. HEDAYTULLAH. Les colorants synthétiques, Presses Universitaires de France, pp : 166, Paris. (1976).
- [22] BARAKA N., (2008).l'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO2 supporte. Thèse doctorat, faculté sciences. Algérie
- [23] Catherine AYRAL, Elimination de polluants aromatiques par oxydation catalytique sur charbon actif. L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE. Thèse pour obtenir le grade de DOCTORAT Ch.1, avril 2009.
- [24] K. WINNACKER, L.KUCGLER. Chimieorganique 3ème partie, Edition Eyrolles, pp: 517, Paris. (1968).
- [25] J.BANDARO. Abatement of azo-dyes and bichlorophenoles mediated by iron-oxides: Mechanisme and flow reator studies, these de doctorat, University of Peradeniya, Sir Lanka de nationalitéceylanaise. (1999).
- [26] R.Desjardins, Le traitement des eaux.2emeEdition revue et améliorée, Edition de l'Ecole polytechnique de Montréal.
- [27] OUARI WEFA, Oxydation des colorants par POAs sur catalyseurs à base d'argile commerciale K10 modifiée, MÉMOIRE de MASTER, UNIVERSITÉ DE TLEMCEEN, 19/06/2017, p5, 6,7
- [28] rdoc.univ-sba.dz › bitstream
- [29] dspace.univ-ouargla.dz › jspui › bitstream

- [30] [www.wikiwand.com](http://www.wikiwand.com) › Rouge\_congo
- [31] [revues.imist.ma](http://revues.imist.ma) › [index.php](http://revues.imist.ma/index.php) › [jwes](http://revues.imist.ma/index.php/jwes) › [article](http://revues.imist.ma/index.php/jwes/article/view) › [view](http://revues.imist.ma/index.php/jwes/article/view)
- [32] <https://www.theses-algerie.com>
- [33] NAIT MERZOUG Nesrine, APPLICATION DES TIGES DE DATTES DANS L'ADSORPTION DE POLLUANTS ORGANIQUES, MÉMOIRE de Magister, Université Mohamed Cherif Massaadia Souk-Ahras, 2013-2014, p12,14.
- [34] <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Rouge%20congo/fr-fr/#anchorWiki>  
[19/05/2019]
- [35] OUARI WEFA, Oxydation des colorants par POAs sur catalyseurs à base d'argile commerciale K10 modifiée, MÉMOIRE de MASTER, UNIVERSITÉ DE TLEMCEM, 19/06/2017, p5, 6,7
- [36] M.N Crepy. "Dermatoses professionnelles aux colorants", Fiche d'allergologie dermatologie professionnelle hôpital Cochin, (2004).
- [37] E. Errais, Réactivité de surface d'argiles naturelles. Etude de l'adsorption de colorants anioniques, thèse de Doctorat, université de Strasbourg, (2011).  
des colorants synthétiques, thèse de Doctorat, Université de Marne- La- Vallée, (2004).
- [38] G. Crini, P.-M. Badot, N. Morin-Crini, G. Torri. Les principales techniques d'épuration des eaux industrielles polluées : une revue récente des méthodes proposées dans la littérature. In : G. Crini, P.-M. Badot. Traitement et épuration des eaux industrielles polluées. Paris (2007).
- [39] ZawlotzkiGuivarch, traitement des polluants organiques en milieu aqueux par procédé électrochimique d'oxydation avancée, électro-fenton, application à la minéralisation
- [40] O. Joseph. Etude du potentiel d'utilisation de résidus agricoles haïtiens pour le traitement par biosorption d'effluents pollués, Thèse doctorat, chimie de Lyon (2009).
- [42] O.Baghriche, Contribution de méthodes destructives (Photolyse et P.O.A's) et non destructives à l'élimination de deux colorants (Bleu de méthylène et rouge Congo) en solution aqueuse, Magister, université mentouriconstantinefaculte des sciences exactes, (2005)
- [43] O. Joseph. Etude du potentiel d'utilisation de résidus agricoles haïtiens pour le traitement par biosorption d'effluents pollués, Thèse doctorat, chimie de Lyon (2009).