



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المركز الجامعي أحمد الونشريسي بتسمسيلت
Centre Universitaire El Wancharissi de Tissemsilt
Institut des Sciences et Technologies
Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Spécialité : Ecologie et Environnement
Option: Protection des Ecosystèmes

Thème

ADSORPTION D'UN COLORANT CATIONIQUE (LE JAUNE D'OR GL200 PAR UN LICHEN (*Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf)

Soutenu le 17/07/2019

Présenté par :

- Mr. LOT Abdelbasset
- M^{elle}. BARED Asmaà
- M^{me}. SAIDANI Fouzia

Membre de jury :

Mr. BOUKHELLOUT Saleh	MAA C.U. Tissemsilt	President
Mr. MOUSSAOUI Badreddine	MAA C.U. Tissemsilt	Examineur
Mr. GUEMOU Laïd	MAA C.U. Tissemsilt	Encadreur

Année universitaire: 2018_2019

REMERCIEMENT

Tout d'abord nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à « Allah » qui nous donne la patience et la volonté de faire ce travail.

Nous remercions notre promoteur Mr GUEMOU Laïd, d'avoir bien voulu nous encadrer, pour son aide bénéfique, Pour ces valeurs conseils, pour son précieux temps qui a été consacré pour nous, par son encouragement durant l'élaboration de ce mémoire, qui nous a enrichi, par ses idées et ses informations qui ont été nécessaire pour l'actualisation de notre mémoire, avec la plus grande simplicité et gentillesse, avec une excellente méthodologie qu'il trouve ici notre reconnaissance et profond gratitude..

Nous remercions les membres de jury qui a bien voulu juger notre travail.

Nous associons à ces remerciements l'ensemble des ingénieurs du laboratoire, et à tout ceux qui ont participé à la réalisation de notre travail de près et de loin.

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents

Merci pour tous ce que vous avais fait pour moi

A mes chers Frères et sœur

Que le bon dieu vous protège

A mes enseignants et mes collègues de ma promotion

Abdelbasset

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance

et de respect :

- A ma mère et mon père pour tous les sacrifices qu'ils

ont consenti à mon égard.

- A mes frères.

- A mes sœurs.

- A tous mes amies.

- A tous la promotion Mater II Protection des

écosystèmes 2018-2019.

Asmaa

DÉDICACE

Je dédie ce travail à mes parents qui m'ont soutenu avec leurs encouragements et qui m'ont mené à cet aboutissement, en hommage affectueux.

A mon mari Hamza pour ces encouragements durant la réalisation de ce travail.

A ma sœur et mes frères : Bakhta, Bilal, Ayoub, Ishak.

A toute ma famille.

A tous mes amis.

Fouzia

Résumé

Les eaux usées des industries textiles entraînent une décharge d'effluents hautement polluées et difficilement biodégradables. Leur traitement est donc une nécessité primordiale. La biosorption devient aujourd'hui une alternative prometteuse dans le domaine de dépollution pour remplacer ou compléter les procédés actuels d'élimination des colorants des eaux usées industrielles. La présente étude porte sur l'utilisation d'un lichen (*Pseudevernia furfuracea* L) comme un biosorbant pour l'élimination du colorant jaune d'or GL200 à partir d'une solution aqueuse et cela sous l'influence de quelques paramètres expérimentaux (pH, T°, etc...).

Le pH optimum obtenu est de 09. Les données de la cinétique sont bien adaptées aux modèles PSO. Pour la fraction inférieure à 250 µm, les isothermes sont mieux décrites par le modèle de Freundlich avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,93$ et des erreurs relatives moyennes $ERM = 20.85\%$. En revanche Le modèle de Langmuir convient plus aux isothermes de la fraction supérieur à 250µm avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,93$ et des erreurs relatives moyennes $ERM = 28.82\%$.

Mots clés : Dépollution, biosorption, *Pseudevernia furfuracea*, jaune d'or GL200.

ملخص

تنتج مياه الصرف الصحي للصناعات النسيجية نفايات سائلة ملوثة للغاية وغير قابلة للتحلل بسهولة. معالجتها تعد ضرورة قصوى. يعد الادمصاص الحيوي اليوم بديلا واعدا في مجال معالجة الملوثات لاستبدال أو استكمال الطرق القائمة لإزالة الأصباغ من مياه الصرف الصناعي. تركز هذه الدراسة على استخدام أشنة (*pseudevernia furfuracea*) لإزالة صبغ الأصفر الذهبي GL200 من محلول مائي وذلك تحت تأثير بعض العوامل التجريبية (درجة الحموضة، درجة الحرارة، الخ...).

أظهرت النتائج أن درجة الحموضة المثلى هي 9. أما بالنسبة لحركية الامتصاص فهي تتناسب بشكل جيد مع نموذج (Pseudo second ordre). بالنسبة للفئة الأقل من 250µm Isotherme الامتصاص يوافق نموذج Freundlich مع معامل التصحيح $R^2 = 0,93$ و $ERM = 20.85\%$. وبالمقابل فإن نموذج Langmuir يناسب أكثر الفئة الأكبر من 250µm مع معامل التصحيح $R^2 = 0,93$ و $ERM = 28.82\%$.

الكلمات المفتاحية : إزالة التلوث، الامنصاص الحيوي، *Pseudevernia furfuracea*، الأصفر الذهبي GL200.

Liste d'abréviation

AEP : Alimentation en Eau Potable

BET : modèle de Brunauer, Emmett et Teller (méthode BET)

Ce : Concentration à l'équilibre (mg/g)

Ci : Concentration initiale (mg/g)

ϵ : coefficient d'extinction molaire

E.R.M : L'erreur relative moyenne (%)

EDX : spectroscopie à dispersion d'énergie de rayons X

IR : spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

JO: Jaune d'Or

K_f : constante de Freundlich

K_L : constante de Langmuir

m : la masse (mg)

MEB : Microscope électronique à balayage

PF: *Pseudevernia furfuracea*

PSO : Pseudo Second Ordre

Qe : Quantité adsorbée à l'équilibre (mg/g)

Qm : Quantité maximale adsorbée

R(S/L) : Le rapport solide- liquide

R² : Le coefficient de détermination

V : volume (l)

Liste des figures

Figure 1 : Les différentes longueurs d'ondes correspondent à des couleurs différentes	12
Figure 2 : Schéma des couleurs complémentaires.....	13
Figure 3 : Les dangers des rejets textiles.....	21
Figure 4 : Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux.....	27
Figure 5 : L'évolution de l'absorbance de JO en fonction de la longueur d'onde.....	36
Figure 6 : Courbe d'étalonnage du jaune d'or.....	38
Figure 7 : Influence du rapport R(S/L) sur l'adsorption de JO par la fraction < à 250µm de notre biosorbant.....	44
Figure 8 : Influence du rapport R(S/L) sur l'adsorption de JO par la fraction > à 250µm de notre biosorbant	45
Figure 9 : Effet de pH sur l'adsorption de JO par La fraction < à 250µm de notre lichen	45
Figure 10 : Effet de pH sur l'adsorption de JO par La fraction > à 250µm de notre lichen...	46
Figure 11 : Effet de pH sur l'adsorption de JO par La fraction < à 250µm de notre lichen...	47
Figure 12 : Effet de pH sur l'adsorption de JO par La fraction > à 250µm de notre lichen...	47
Figure 13 : Effet du temps de contact sur la fixation du jaune d'or.....	48
Figure 14 : Application du modèle pseudo-premier ordre à l'adsorption du jaune d'or.....	59
Figure 15 : Application du modèle de pseudo second ordre à l'adsorption du jaune d'or....	50
Figure 16 : Isothermes d'adsorption du jaune d'or à 40°C et 50°C par la fraction inférieure à 250µm.....	51
Figure 17 : Isothermes d'adsorption du jaune d'or à 40°C et 50°C par la fraction supérieure à 250µm.....	52

Figure 18 : l'adsorption sur un solide selon Freundlich.....53

Figure 19 : l'adsorption sur un solide selon Langmuir.....54

Liste des tableaux

Tableau 1 : Groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante.....	14
Tableau 2 : Classification chimique des colorants	15
Tableau 3 : Propriétés physico-chimiques du jaune d'or GL 200.....	22
Tableau 4 : principales différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique	26
Tableau 5 : classification de <i>Pseudevernia furfuracea</i>	31
Tableau 6 : présentation des constantes du modèle pseudo premier ordre.....	49
Tableau 7 : constantes cinétique du modèle pseudo second ordre.....	50
Tableau 8 : Paramètres des isothermes d'adsorption du jaune d'or sur le lichen <i>PF</i> pour la fraction inférieure à 250 μm	53
Tableau 9 : Paramètres des isothermes d'adsorption du jaune d'or sur le lichen <i>PF</i> pour la fraction supérieure à 250 μm	54

Liste des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste d'abréviation

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des matières

Introduction Générale

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : POLLUTION ET COLORANTS

I.1. La pollution	5
I.1.1. Définition	5
I.1.2. Origine de la pollution	5
I.1.2.1. La pollution d'origine humaine	5
I.1.2.2. La pollution d'origine environnementale.....	6
I.1.3. Les différents types de pollutions	6
I.1.3.1. La pollution par type ou agents polluants	7
I.1.3.2. La pollution par type de milieux	8
I.1.4. Les types de pollutions des eaux	9
I.1.4.1. Pollution minérale	9
I.1.4.2. Pollution organique	10
I.1.4.3. Pollution microbiologique	10
I.1.4.4. Polluants chimiques présents dans l'eau	10
I.1.5. Conséquences de la pollution.....	10
I.1.5.1. Conséquences sanitaires.....	10
I.1.5.2. Conséquences écologiques.....	11
I.1.5.3. Conséquences agricoles	11
I.1.5.4. Conséquences industrielles	11
I.1.5.5. Conséquences esthétiques	11
I.2. les colorants	12

I.2.1. Historique.....	12
I.2.3. Classification des colorants.....	14
I.2.3.1. Classification des colorants selon leurs natures.....	14
I.2.3.2. Classification chimique.....	15
I.2.3.3. Classification tinctoriale	16
I.2.4. Utilisation des colorants.....	18
I.2.5. Toxicité des colorants	18
I.2.5.1. Toxicité et impact sur l'environnement:.....	18
I.2.5.2. Toxicité sur la santé humaine	19
I.2.5.3. Toxicité des milieux aquatiques par les rejets industriels.....	20
I.2.6. Procédés de Traitement des effluents chargés en colorants.....	21
I.2.7. Le jaune d'or	22
I.2.7.1. Toxicité du jaune d'or.....	22
CHAPITRE II: ADSORPTION ET BIOSORBANT	
II.1. L'adsorption.....	24
II.1.1. Notion de sorption :	24
II.1.2. L'Adsorption	24
II.1.3. Types d'adsorption	24
II.1.3.1. Adsorption physique.....	24
II.1.3.2. Adsorption chimique	25
II.1.4. Application de l'adsorption :	26
II.1.5. Description du mécanisme d'adsorption	27
II.1.6. Facteurs influents l'adsorption	28
II.2. La biosorption.....	29
II.2.1. Définition de la biosorption.....	29
II.2.2. Définition et origines des biosorbants	29
II.2.3. Classification des biosorbants	29
II.2.3.1. Biosorbants d'origine aquatique.....	30
II.2.3.2. Biosorbants d'origine agro-industrielle.....	30
II.3. Les lichens	30
II.3.1. Définition.....	30
II.3.2. pollution et lichen	31
II.3.3. description de <i>Pseudevernia furfuracea</i>	31

PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE I: MATERIELS ET METHODE

I.1.Objectif du travail	34
I.2.Date et lieu de travail	34
I.3.Matériels	34
I.3.1Appareillages	34
I.3.2.Produits chimiques.....	34
I.4. méthode.....	36
I.4.1.Préparation de solution mère	36
I.4.2.Préparation du biosorbant	36
I.4.3.Détermination de la longueur d'onde spécifique	36
I.4.3.1.La spectrophotométrie UV-Visible.....	36
I.4.4.Courbes d'étalonnage.....	37
I.4.5.Détermination de la quantité adsorbée.....	38
I.5.paramètre influençant sur l'adsorption	38
I.5.1. Rapport solide –liquide	38
I.5.2.Effet du pH :.....	38
I.5.3.Temps de contact (cinétique) :	39
I.5.3.1.Les modèles cinétiques d'adsorption	39
I.5.3.1.a Modèle de la cinétique du pseudo premier ordre (modèle Lagergren)	39
I.5.3.1.b Modèle de la cinétique du deuxième ordre	39
I.5.4. Les isothermes d'adsorption	40
I.5.4.1.Les modèles d'isothermes d'adsorption.....	40
I.5.4.1.a. Isotherme de LANGMUIR:	40
I.5.4.1.b.Isotherme de FREUNDLICH:	41
CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION	
II.1.Détermination la longueur d'onde maximale	43
II.2.Courbe d'étalonnage.....	43
La courbe d'étalonnage montre l'évaluation de l'absorbance en fonction de la concentration du JO est représentée dans la figure 06	43
II.3.Rapport Solide-Liquide	44
II.4.Effet du pH	45
II.5. Effet du temps de contact	46
II.5.1.Modélisation de la cinétique.....	47

II.5.1.a.Modèle de pseudo premier ordre	47
II.5.1.b.Modèle du pseudo second ordre	48
II.6.Isothermes d'adsorption	50
II.6.1.b.La fraction supérieure à 250 μm	51
II.6.2.Description des isothermes d'adsorption.....	51
II.6.2.a.La fraction inférieure à 250 μm	52
II.6.2.b.La fraction supérieure à 250 μm	53
Conclusion générale	55

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

ANNEXES

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

L'eau est l'élément central de tous les processus socio-économiques, quel que soit le degré de développement de la société.

L'augmentation des activités agro-industrielles engendre une pression grandissante sur les réserves en eau douce de la planète. En effet, ces activités génèrent une grande diversité de produits chimiques qui se déversent dans le cycle de l'eau, mettant en péril le fragile équilibre naturel qui a permis à la vie de se développer sur la terre. Souvent, les substances chimiques contenues dans les eaux usées sont difficilement biodégradables et le manque ou l'insuffisance de systèmes de traitement mène ainsi à leurs accumulations dans le cycle de l'eau **(HAMMAMI, 2008 in BENOSMAN et BENGRINE ,2011).**

La protection de l'environnement est devenue ainsi un enjeu économique et politique majeur. Tous les pays du monde sont concernés par la sauvegarde des ressources en eau douce, soit parce qu'ils manquent d'eau, soit parce qu'ils la polluent **(HAMMAMI S ,2008 in BENOSMAN et BENGRINE ,2011).**

Pour le grand public, un effluent coloré est obligatoirement pollué et dangereux. Chaque année et d'après notre ministère de l'environnement plus de 100 million de m³d'eaux usées contenant des colorants ont été rejetées dans l'environnement en Algérie. Le danger des colorants réside dans leur accumulation dont résultent des conséquences graves sur les écosystèmes et par la suite sur la santé de l'homme **(BENGUELLA B ,2009 in BENOSMAN et BENGRINE ,2011).**

Plusieurs techniques ont été employées pour l'élimination des colorants des effluents industriels. L'adsorption est l'une des techniques les plus utilisées pour cette élimination. Le charbon actif est l'adsorbant le plus communément employé, mais il reste très onéreux et nécessite en plus une régénération. Cela limite son utilisation dans les pays en voie de développement. Les recherches se sont alors orientées vers des procédés de traitement faisant appel à des matériaux naturels moins coûteux tels que les lichens, se sont les plus attractifs économiquement dans le traitement des eaux usées, grâce à leurs propriétés intrinsèques, leur abondance et leur faible coût. En plus, ils sont biodégradables et biorésorbables, deux propriétés primordiales à notre époque où la protection de l'environnement joue un rôle important.

Introduction Générale

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à l'élimination d'un colorant industriel le jaune d'or GL200 par un lichen (*Pseudevernia furfuracea* L).

La première partie est une synthèse bibliographique contient deux chapitre où :

- Dans un premier chapitre nous avons abordé l'origine de la pollution, ses causes et ses conséquences. Nous avons également discuté les colorants, ses classifications, ses toxicités sur l'environnement et la santé humaine et les procédés de traitement des effluents chargés en colorants.
- Un deuxième chapitre consiste les principes de base concernant l'adsorption, les types d'adsorption, le mécanisme, les principaux facteurs influençant l'adsorption, et classification et origine des biosorbants comme nous l'avons fait un petit rappel sur les lichens et la classification de notre biosorbant PF.

La deuxième partie expérimentale est divisée en deux chapitres.

- Le premier décrit le matériel et les méthodes expérimentales ayant permis la réalisation pratique de cette étude, et les paramètres influençant l'adsorption
- Le deuxième présente les différents résultats obtenus et leurs interprétations et discussions.

Nous terminons ce travail par une conclusion générale où sont résumés les principaux résultats de travail.

PARTIE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

POLLUTION ET

COLORANTS

I.1. La pollution

I.1.1. Définition

La pollution désigne la dégradation d'un biotope par l'introduction, généralement humaine, de substances chimiques ou organiques, gènes ou de radiations (radioactivité, lumière artificielle), altérant de manière plus ou moins importante le fonctionnement de l'écosystème. Par extension, le mot désigne aussi parfois les conséquences de phénomènes géologiques comme une éruption volcanique. La pollution d'origine humaine peut avoir un impact très important sur la santé et dans la biosphère comme en témoigne l'exposition aux polluants et le réchauffement climatique qui transforme le climat de la terre et son écosystème, en entraînant l'apparition de maladies inconnues jusqu'alors dans certaines zones géographiques, des migrations de certaines espèces, voire leur extinction si elles ne peuvent s'adapter à leur nouvel environnement biophysique. C'est après la Seconde Guerre mondiale qu'une prise de conscience des répercussions des activités humaines sur l'environnement voit le jour, parallèlement à la naissance de l'écologisme et de l'écologie. Les préoccupations environnementales conduisent les gouvernements à prendre des mesures pour limiter l'empreinte écologique des populations humaines et pour contrer des activités humaines contaminants. La notion de pollution appelle donc celle de contamination d'un ou plusieurs composants des écosystèmes (air, eau, sol), d'un organisme (qui peut être l'être humain) ou d'un groupe d'organismes, ou ayant une incidence sur l'écosystème, au-delà d'un seuil ou norme. La contamination peut notamment s'étendre ou se modifier via le réseau trophique (chaîne alimentaire) (bioconcentration, bioturbation) (Encyclopédie Larousse, 2009).

I.1.2. Origine de la pollution

Selon (BENOSMAN et BENGRINE ,2011) l'origine de la pollution peut être humaine ou d'origine environnementale sont:

I.1.2.1. La pollution d'origine humaine

Les pollutions d'origine humaine, dites aussi anthropiques, ont de nombreuses formes qui peuvent être locales, culturelles, ponctuelles, accidentelles, diffuses, chroniques, génétiques, volontaires, involontaires, etc. Cette pollution est une diffusion directe ou indirecte dans l'environnement de polluants. Ce sont souvent des sous-produits involontaires d'une activité humaine, comme les émissions des pots d'échappement. Les déchets de produits de consommation courants (emballages, batteries usagées) jetés sans précautions dans l'environnement biophysique et dans l'environnement humain, constituent également une source de pollution très fréquente. Il peut aussi s'agir de phénomènes physiques (comme la chaleur, la

lumière, la radioactivité, l'électromagnétisme, etc.), dont le caractère impur ou malsain est généralement relatif car dépendant de la dose, de la durée d'exposition, d'éventuelles synergies, etc. Il est relatif:

a. soit à leur nature de « poison » pour l'homme ou l'environnement (exemple : mercure de la baie de Minamata ; smog londonien généré par la combinaison d'un phénomène climatique naturel et d'émissions causées par le chauffage urbain); par extension, le simple caractère désagréable, même sans danger, peut suffire à invoquer le qualificatif de pollution là où le mot "nuisance" est souvent préféré

b. soit à leur nature tératogène (provoquant des malformations chez les nouveau-nés), même non associée à un caractère toxique.

c. soit à leur nature de perturbateur endocrinien.

d. soit en dépit de leur caractère non directement toxique pour l'homme et les êtres vivants, à leur capacité éventuelle à changer ou perturber le fonctionnement d'un écosystème ou de la biosphère, soit en détruisant la vie (exemple: insecticides) ou ses conditions (exemple : chlorofluorocarbones détruisant la couche d'ozone), soit au contraire en surfavorisant certaines expressions (exemple: nitrates ou phosphates agricoles, favorisant une flore nitrophile au détriment des autres espèces, voire l'eutrophisation ou la dystrophisation des zones humides, baies marines, évoluant vers des zones mortes dans les cas les plus graves). Il peut aussi s'agir d'introduction d'espèces ou de pollution génétique pouvant perturber le fonctionnement des écosystèmes, c'est-à-dire l'introduction d'espèces ou de gènes dans un biotope d'où ils étaient absents ou de pollution par des gaz à effet de serre tels que le gaz carbonique ou le méthane (**Encyclopédie Larousse, 2009**).

I.1.2.2. La pollution d'origine environnementale

La pollution d'origine environnementale peut être soit:

a. la conséquence directe ou indirecte de catastrophes naturelles, tels que le volcanisme;

b. liée à des phénomènes naturels, tels que les éruptions solaires;

c. la conséquence d'un captage d'eau potable par un animal qui ferait ses besoins à proximité, ou qui serait mort et en décomposition dans l'eau.

I.1.3. Les différents types de pollutions

On peut classer les types de pollution selon soit l'agent polluant soit le milieu environnemental (**BENOSMAN et BENGRINE, 2011**):

I.1.3.1. La pollution par type ou agents polluants

a. la pollution industrielle: Les fumées rejetées par les usines contiennent des gaz acides toxiques qui retombent avec la pluie (ex: SO₂). On parle alors de pluies acides qui sont néfastes pour la végétation et les êtres vivants. A cela s'ajoutent les émissions de CO₂ et de CO qui sont très toxique.

b. la pollution atmosphérique: Les usines utilisent très fréquemment des systèmes d'aspiration de poussières dans leur processus de fabrication. Cet air doit être filtré avant d'être rejeté à l'extérieur, tout comme celui des gaines de ventilation ou de conditionnement sous haute température.

c. les pollutions liées aux transports (la pollution automobile et celle induite par les avions) : La généralisation de l'automobile à l'échelle planétaire depuis la fin du siècle dernier pose des problèmes quant au réchauffement climatique, à la pollution, à la sécurité et à la santé des personnes et en particulier des plus faibles (piétons, cyclistes, enfants, personnes âgées, etc.), à l'utilisation des ressources naturelles et en particulier à l'épuisement des réserves de pétrole.

d. la pollution radioactive, (produits radioactifs; catastrophe de Tchernobyl): La pollution radioactive est nocive pour l'homme: en effet, les radioéléments ont une durée de vie plus ou moins longue et se désintègrent en émettant des rayonnements dangereux.

Lorsque des radioéléments sont fixés dans le corps humain, ils peuvent être dangereux même si la quantité totale de rayonnements émis est relativement faible, car ils atteignent les cellules environnantes de manière très concentrée, pouvant créer des tumeurs (caractère mutagène des radiations).

e. la pollution électromagnétique (pollution liée aux rayonnements ionisants et non ionisants): c'est un concept physique décrivant l'exposition excessive d'êtres vivants, ou d'appareils, à des champs électromagnétiques. Ce phénomène dépend essentiellement du niveau de champs électromagnétique, de la fréquence, et de la durée d'exposition.

f. la pollution thermique: elle correspond à une forte hausse ou diminution de la température d'un milieu par rapport à la température normale, cet écart est du en général à l'action de l'homme. Généralement la pollution thermique concerne les eaux (cours d'eau, lac de barrage, etc.) et influence sur la vie aquatique. Les principales causes de pollution thermique sont les rejets d'eaux de refroidissement des centrales électriques, les eaux usées, de traitement etc.

g. la pollution lumineuse : qui diffère de la nuisance lumineuse en ce qu'elle a des conséquences sur la biodiversité (faune et environnement nocturne perturbés), accompagnée d'un

gaspillage énergétique (plus de 50% de la lumière produite est diffusée vers le ciel ou inutile...). On évoque aussi de possibles perturbations des cycles biologiques chez l'humain.

h. la pollution liée au tourisme (pour partie liée aux transports), hobbies (ex : bricolage) et à certains loisirs (ex : nautisme) ou festivités (ex : feu d'artifice).

i. la pollution spatiale : elle s'applique aux dégradations diverses des environnements dues aux activités humaines liées à l'exploration de l'espace. La pollution spatiale peut être divisée en trois catégories : la pollution de l'espace, celle des planètes, satellites ou autres objets, ainsi que la pollution de la planète Terre elle-même.

j. la pollution par armes ou explosifs : Toutes les munitions de guerre contiennent des composants ou agents toxiques et des polluants. La toxicité des munitions tirées ou non tirées est un des problèmes de séquelles de guerre qui préoccupe de plus en plus les experts en pollution environnementale.

k. la pollution olfactive (à parfois classer dans les nuisances) : concerne toutes les nuisances qui affectent, touchent le domaine de l'odorat.

l. la pollution sensitive : Récemment, les termes « pollution sonore » et « visuelle » ont été proposés pour désigner la nuisance croissante censée être provoquée par les sons agressifs (voiture, train, avion, musique), les images violentes ou considérées comme telles (essentiellement la publicité et la télévision) ou un urbanisme déplaisant. Le terme a été spécifiquement choisi pour relier la pollution « physique » et la pollution « mentale », sans que ce terme se réduise à désigner un dérangement psychique : en effet, il est possible que les « pollutions sonores », notamment, induisent des états de stress et provoquent des maladies somatiques.

I.1.3.2. La pollution par type de milieux

On parle de la pollution diffuse lorsque les sources d'un polluant sont multiples (pots d'échappement, épandage de pesticides...) et de la pollution chronique lors d'émissions répétées ou constante de polluant, et parfois lorsqu'un polluant est très rémanent.

a. pollution atmosphérique

La pollution de l'air (ou pollution atmosphérique) est l'altération de la pureté de l'air par une ou plusieurs substances ou particules présentes à des concentrations et durant des temps suffisants pour créer un effet toxique (**Elichegaraych, 2008 in LOUADAH, 2016**). L'air est composé à 78% d'azote, 21% d'oxygène, 1% d'argon, et 0.04% de dioxyde de carbone; et toutes les substances étrangères à cette composition provoquent la pollution atmosphérique.

Les polluants atmosphériques comprennent donc toutes les substances naturelles ou artificielles susceptibles aéroportées : il s'agira de gaz, de particules solides, de gouttelettes liquides ou de différents mélanges de ces formes (**Degobert p, 1995 in LOUADAH ,2016**).

b. La pollution des sols

Un sol est dit pollué quand il contient un ou plusieurs polluants ou contaminants susceptibles de causer des altérations biologiques, physiques et chimiques, de l'écosystème constitué par le sol. (**LASKOWSKI, R. et HOPKIN, S.P, 1996 in GUERFI ,2016**).

La pollution du sol peut être diffuse ou locale, d'origine industrielle, agricole (suite à l'utilisation massive d'engrais ou de pesticides qui s'infiltrent dans les sols). Ces pollutions agricoles peuvent avoir plusieurs impacts sur la santé humaine, en touchant des nappes phréatiques d'une part et en contaminant par bioaccumulation. (**LANDA et al ,2010 in GUERFI ,2016**).

c. La pollution de l'eau

La pollution de l'eau peut avoir diverses origines parmi lesquelles:

- l'industrie : dont les sous-produits sont une des sources de pollution de l'eau parmi les plus importantes. Il s'agit essentiellement de produits chimiques et d'hydrocarbures (dégazage) (**SALMI et SLIMANI, 2014**).
- les eaux usées: si elles ne sont pas traitées correctement peuvent être une source de pollution de l'eau qui dans des pays développés comme en France des législations ont été mises en place obligeant à un traitement des eaux usées. Ce type de pollution devient donc de moins en moins important (**SALMI et SLIMANI,2014**).

I.1.4. Les types de pollutions des eaux

La pollution des eaux usées se manifeste sous forme minérale organique et microbiologiques (**SALMI et SLIMANI ,2014**).

I.1.4.1. Pollution minérale

Elle est constituée essentiellement des métaux lourds en provenance des industries métallurgiques, de traitement de minerais. On peut citer quelques-uns, comme le plomb, le cuivre, le fer, le zinc et le mercure.

Il y'a aussi le cas de certains sels à forte concentration. Ces éléments sont non biodégradables et de ce fait un traitement tertiaire devient plus que nécessaire.

I.1.4.2. Pollution organique

La pollution organique des eaux usées urbaines se compose principalement de protides, de glucides et de lipides ainsi que des détergents utilisés par les ménages. Il est à noter l'existence d'autres substances organiques utilisées ou fabriquées industriellement, c'est le cas des phénols, des aldéhydes, et des composés azotés.

I.1.4.3. Pollution microbiologique

Le rejet urbain en général présente des conditions très favorables à la prolifération de certains germes pathogènes et d'organismes vivants. On peut citer les virus, les bactéries, les protozoaires, les vers et les microchampignons. Ces différents éléments garantissent une masse permanente en germes utiles à l'épuration par biodégradation.

I.1.4.4. polluants chimiques présents dans l'eau

Les principaux polluants chimiques présents dans l'eau (**OUBAGHA N ,2011 in ARAR ,2016**)

- Les sels minéraux ;
- Les acides et les alcalins ;
- Les matières en suspension (MES) ;
- Les matières organiques (M. O.) ;
- Les matières inhibitrices (MI) ;
- Les déchets solides divers ;
- Les détergents synthétiques ;
- La pollution thermique ;
- Les matières colorantes.

I.1.5. Conséquences de la pollution

Les conséquences de la pollution des eaux de surface peuvent être classées en cinq principaux groupes, à savoir (**SALMI et SLIMANI ,2014**)

I.1.5.1. Conséquences sanitaires

Les conséquences sanitaires sont donc celles à prendre en compte en priorité. Elles peuvent être liées à l'ingestion d'eau, de poissons, mais aussi au simple contact avec le milieu aquatique (cas de nombreux parasites). La conséquence sanitaire d'une pollution est variable

dans le temps en fonction de l'usage, elle est immédiate si on utilise cette eau pour l'alimentation en eau potable.

I.1.5.2. Conséquences écologiques

Les conséquences écologiques se mesurent en comparant l'état du milieu pollué par rapport à ce qu'il aurait été sans pollution. Elles sont à considérer au travers l'affectation de la biodiversité et la productivité d'un milieu aquatique :

- Réduction des potentialités d'exploitation du milieu (pêche, aquaculture, tourisme, promenade...) à court et long terme ;
- Perturbation du fonctionnement trophique ;
- Risque accru d'eutrophisation conduisant à un déséquilibre écologique qui affecte la diversité taxonomique (dégradation du milieu biologique).

I.1.5.3. Conséquences agricoles

L'eau est, dans certaines régions, largement utilisée pour l'arrosage ou l'irrigation, souvent sous forme brute (non traitée).

La texture du sol (complexe argilo humique), sa flore bactérienne, les cultures et le bétail, sont sensibles à la qualité de l'eau.

De même, les boues issues du traitement des eaux usées pourront, si elles contiennent des produits toxiques (métaux lourds) être à l'origine de la pollution des sols.

I.1.5.4. Conséquences industrielles

L'industrie est un grand consommateur d'eau : il faut par exemple **1m³** d'eau pour produire **1Kg** d'aluminium.

La qualité requise pour les utilisations industrielles est souvent élevées, tant sur le plan chimique (minéralisation, corrosion, entartrage), que biologique (problème de biofouling, c'est-à-dire d'encrassement des canalisations par des organismes).

Le développement industriel peut donc être stoppé par la pollution (c'est une des raisons pour laquelle la préoccupation pollution est apparue d'abord dans les pays industrialisés).

I.1.5.5. Conséquences esthétiques

Cette catégorie de conséquence, pour être la plus subjective, n'en est pas moins importante. Il s'agit de pollution n'ayant pas de conséquences sanitaires ou écologiques importantes, mais perturbant l'image d'un milieu (par exemple : des bouteilles plastiques ou du

goudron rejeté sur une plage). Nous pouvons inclure dans cette catégorie, les problèmes de goût de l'eau (le chlore en AEP). Les flottants et débris solides divers, qui occasionnent des nuisances esthétiques, dans la plupart des cas réels dangereux pour le milieu (carcasses de véhicules abritant des populations animales qui sont beaucoup plus riches que le milieu environnant).

Les conséquences esthétiques sont, par définition, les plus perceptibles, et c'est donc celles dont les riverains et le grand public auront, en premier, conscience

I.2. les colorants

I.2.1. Historique

L'évolution de l'industrie des colorants a été étroitement liée à la découverte de la mauvéine (aniline, colorant basique) par William Henry Perkin en 1856 et de la fuchsine par Verguin en 1858; aujourd'hui il y a plus de 10000 colorants, ce nombre important a nécessité l'établissement d'un système de classification, un index des colorants en anglais a été mis au point par la « society of dyes and colorists » (UK) et par « American Association of textile chemists and colorists » noté (colour Index C.I.), qui décrit les caractéristiques essentielles de chaque colorant telles : leur formule chimique, leur couleur et leur nuance, leur résistance codifiée à la lumière, aux solvants, à la chaleur, aux différents agents chimiques, ainsi qu'une description des principaux domaines d'utilisation (PERRIN R, PIERRE S .J ,1999 in BOUAZZA ,2012).

I.2.2. Définition

Les matières colorantes sont un assemblage de groupes chromophores, auxochromes 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 (PERRIN R, PIERRE S .J ,1999 in BOUAZZA, 2012).

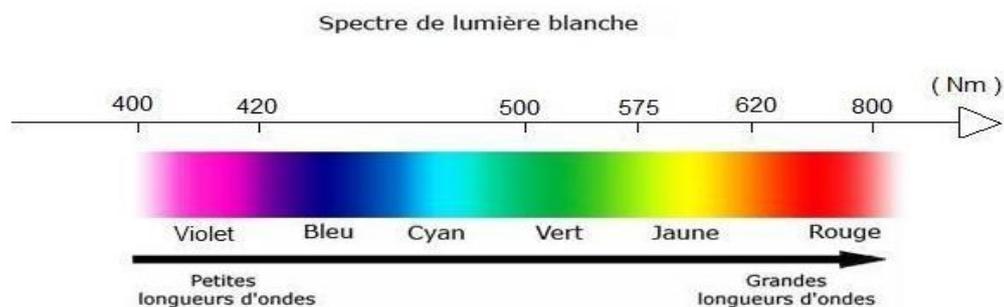


Figure N°01 : Les différentes longueurs d'ondes correspondent à des couleurs différentes

- de 400 à 425 nm violet - de 550 à 570 nm jaune
- de 425 à 490 nm bleu - de 570 à 610 nm orange
- de 490 à 550 nm vert - de 610 à 700 nm rouge

La lumière blanche est composée d'ondes lumineuses de toutes les longueurs. Lorsque le rayon atteint un corps (exemple : colorant alimentaire), il peut se passer plusieurs phénomènes **(BELHADJ, 2015)**

- si toutes les ondes lumineuses sont absorbées par le corps, celui-ci nous apparait noir.
- si elles sont réfléchies, le corps est blanc.
- lorsque la lumière est partiellement absorbée indépendamment de la longueur d'onde, le corps est gris.
- lorsque le corps absorbe dans une certaine longueur d'onde, le corps est coloré.

La couleur du corps sera la couleur complémentaire à celle correspondant à la longueur d'ondes absorbée : le violet est complémentaire au jaune, le bleu à l'orange et le vert au rouge et inversement.



Figure N°02 : Schéma des couleurs complémentaires.

La transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur un corps, par transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés chromophore. La molécule colorante étant le chromogène (l'arrangement complet d'atomes qui donne naissance à la couleur observée). Plus la facilité du groupe chromophore à donner un électron est grande et plus la couleur sera intense (groupes chromophores classés dans le Tableau 01).

D'autres groupes d'atomes du chromogène peuvent intensifier ou changer la couleur due au chromophore : ce sont les groupes auxochromes. **(Caponet et al ,1991 in chakeur et al ,2015).**

Tableau01: Groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante. (Guivarch, 2004 in Chakeur al, 2015).

Groupes chromophores	Groupes auxochromes
N = N : groupe azoïque	NH ₂ : Amino
N = O : groupe nitroso	NHCH ₃ : Methylamino
C = O : groupe cétonique ou carbonyle	N(CH ₃) ₂ : Demethylamino
C=C : groupe vinyl	OH: Hydroxyle
C = S : groupethiocarbonyle	OR: Alkoxy
C=S : Sulfure	Groupes donneurs d'électrons

I.2.3. Classification des colorants

D'une façon générale, et d'un point de vue atomistique, les colorants peuvent être soit inorganiques (les atomes de carbone ne sont pas majoritaires dans la composition chimique de la molécule) soit organiques (abondance de carbone dans la formule chimique), d'origine naturelle ou Synthétique.

La classification des colorants peut être faite selon leur structure chimique, ou selon le domaine d'application (DJEBBARI N et BENKERRO A, 2016 in BENMEZIANE et LEHLLALI, 2017).

I.2.3.1. Classification des colorants selon leurs natures

Le colorant, qu'il soit organique ou inorganique, peut être d'origine naturelle ou synthétique (BOUKAOUS N, 2014 in BENMEZIANE et LEHLLALI, 2017).

a. Colorants naturels

Il existe seulement une dizaine de colorants naturels, ils sont extraits des plantes, des fruits, des arbres, des lichens, des insectes ou des mollusques par procédés simples comme le chauffage ou le broyage.

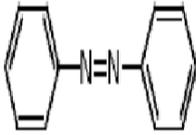
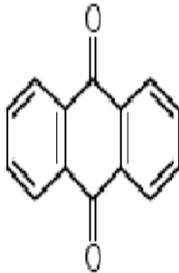
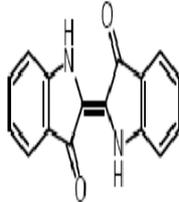
b. Colorants synthétiques

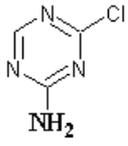
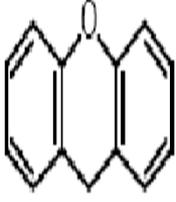
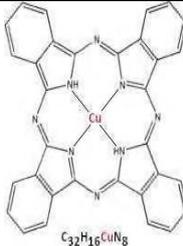
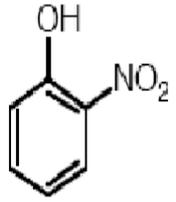
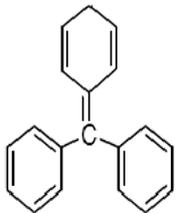
Ce sont des composés ayant comme matières premières des molécules telles que le benzène, issu de la distillation de la houille. A partir des matières premières, et grâce à une série de procédés chimique, qui correspondent en général au remplacement d'un ou plusieurs atomes d'hydrogène du produit de départ par des éléments ou des radicaux particuliers on peut avoir ce qu'on appelle les intermédiaires qui serviront à la fabrication du colorant final.

I.2.3.2. Classification chimique

Le classement d'après la structure chimique s'appuie principalement sur la nature du chromophore, qui constitue le squelette nécessaire à la coloration de la molécule (DJEBBARI N et BENKERRO A ,2016 in BENMEZIANE et LEHLLALI, 2017).

Tableau02 : Classification chimique des colorants (BOLOTIN P.A al ,2006 in BENMEZIANE et LEHLLALI, 2017).

Colorants	Caractéristiques et propriétés Générales	Utilisations	Structures
Azoïques	<ul style="list-style-type: none"> -Présence du groupe fonctionnel azoïque (-N=N-) qui peut être répété plusieurs fois dans la molécule pour former les monoazoïque, diazoïque, triazoïques,...etc -Toxiques, cancérogènes et récalcitrant au traitement biologique. -Constituent 50% de la production mondiale des colorants. -Se répartissent en colorants acides, basiques, directs et réactifs solubles dans l'eau, dispersés....ect 	-Teinture des fibres cellulosiques	
Anthraquinoniques	<ul style="list-style-type: none"> -Les plus importants après les colorants azoïques. -Forme générale dérive de l'anthracène. -Leur chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles et amino. -Couvre toute la gamme de nuance jaune-orange-rouge. -Solidité à la lumière et vivacité des coloris surtout dans le bleu et le turquoise. 	- Teinture de textile	
Indigoïdes	<ul style="list-style-type: none"> -Forme générale dérivée de l'indigo. -Résistance remarquable aux traitements de lavage. -Faible solidité à la lumière. 	- Appliqués sur la fibre (Nylon, soie, laine et le coton) par un procédé de cuve	

Thiazines	-Présence d'un anneau de quatre carbones, un azote et un atome de soufre.	<ul style="list-style-type: none"> - Textile - médecine - pharmacie - peinture 	 <p>Monochlorotriazine</p>
Xanthènes	<ul style="list-style-type: none"> -Intense fluorescence. -Marqueurs lors d'accident maritime ou traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines 	<ul style="list-style-type: none"> - Teinture de textile - fongicide 	
Phtalocyanines	<ul style="list-style-type: none"> -Structure complexe basée sur l'atome central de cuivre. -Employés dans l'industrie des pigments pour peinture et dans la teinture des fibres textiles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Colorants - pigments 	 <p>$C_{32}H_{16}CuN_8$ Phtalocyanine de cuivre</p>
Nitrés et nitrosés	<ul style="list-style-type: none"> -Présence d'un groupe nitro (NO_2) en position ortho par rapport à un groupement électro donneur (hydroxyle ou groupes aminés). -Structure simple, très limitée en nombre et relativement pas cher. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coloration de papier 	
Polyméthinique	<ul style="list-style-type: none"> -Présence de groupements hétérocycliques donneurs et accepteurs d'électrons aux extrémités d'une chaîne polyméthinique. -Faible résistance à la lumière bonne sensibilisatrice photographique (particulièrement les cyanines). 	<ul style="list-style-type: none"> - Colorants textile - Indicateur de pH 	

I.2.3.3. Classification tinctoriale

Si la classification chimique présente un intérêt pour les fabricants de matières colorantes, le teinturier préfère le classement par domaines d'application. Ainsi, il est renseigné sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant/substrat est du type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente. Il ya différentes catégories définies cette fois par les auxochromes (RAFATULLAHA et al, 2016 in BENMEZIANE et LEHLLALI, 2017).

a) Colorants réactifs

Les colorants réactifs sont caractérisés par la présence de groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïques, anthraquinoniques et phtalocyanines et par la présence d'une fonction chimique réactive de type triazinique ou vinylsulfone assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres. Ces colorants sont solubles dans l'eau.

b) Colorants directs

Les colorants directs sont capables de former des charges positives ou négatives électrostatiquement attirées par les charges des fibres. Ils se distinguent par leur affinité pour les fibres cellulosiques sans application de mordant, liée à la structure plane de leurs molécules (ZAWLOTSKI GV, 2004 in BENMEZIANE et LEHLLALI, 2017).

c) Colorants dispersés

Les colorants dispersés (ou dispersifs) sont très peu solubles dans l'eau et sont appliqués sous forme d'une fine poudre dispersée dans le bain de teinture. Ils sont en mesure, lors d'une teinture à haute température, de diffuser dans les fibres synthétiques puis de s'y fixer (ZAWLOTSKI GV, 2004 in BENMEZIANE et LEHLLALI, 2017).

d) Les colorants acides ou anioniques

Ils sont solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonates ou carboxylates. ILS possèdent une affinité élevée aux fibres textiles et ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide.

e) Les 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 et possèdent une faible résistance à la lumière.

f) Les colorants à mordants

Les colorants à mordants contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile.

g) Colorants de cuve

Les colorants de cuve sont des colorants insolubles dans l'eau et ils sont utilisés pour l'application de l'indigo qui nécessite la préparation d'une cuve de bonne résistance aux agents de dégradations.

I.2.4.Utilisation des colorants

Pour se convaincre de l'importance des matières colorantes, il suffit d'examiner l'ensemble des produits manufacturés soumis à une opération de coloration. Les grands domaines d'application des colorants sont les suivants (**KRAZINI ,2014**) :

- Textiles : 60%
- Papiers : 10%
- Matières plastiques et élastomères : 10%
- Cuirs et fourrures : 3%

Les autres applications concernent les produits alimentaires, le bois, et la photographie.

I.2.5.Toxicité des colorants

I.2.5.1. Toxicité et impact sur l'environnement:

Les colorants synthétiques représentent aujourd'hui un groupe relativement large de composés chimiques organiques rencontrés dans pratiquement toutes les sphères de notre vie quotidienne. La production mondiale est estimée à 700.000 tonnes / an, dont 140.000 sont rejetées dans les effluents au cours des différentes étapes d'application et de confection (**ZALLINGER ,1987 et GOOPER ,1995 in MOUMENINE ,2011**). Ces rejets, composés de composés biocides, suspensions solides, agents de dispersion et de mouillage, colorants et traces de métaux, sont toxiques pour la majorité des organismes vivants. L'hétérogénéité de leur composition rend difficile voire quasiment impossible l'obtention de seuils de pollution inférieurs ou égaux à ceux imposés par les normes environnementales, après traitement par les techniques traditionnelles.

Sous l'action des microorganismes, les colorants libèrent des nitrates et des phosphates dans le milieu naturel. Ces ions minéraux introduits en quantité trop importante peuvent devenir toxiques et altérer la production d'eau potable. Leur consommation par les plantes aquatiques accélère leur prolifération anarchique et conduira l'appauvrissement en oxygène par inhibition de la photosynthèse dans les strates les plus profondes des cours d'eau. L'accumulation des matières colorantes dans les cours d'eau induit l'apparition de colorations anormales (**WILLMOT ,1998**

in MOUMENINE ,2011) on a évalué qu'une coloration pouvait être perçue par l'œil humain à partir de 5 g/L. En dehors de l'aspect inesthétique, les agents colorants ont la capacité d'interférer avec la transmission de la lumière dans l'eau, bloquant ainsi la photosynthèse des plantes aquatiques et provoquant indirectement un préjudice pour la pisciculture (AHMED M.N, RAM R.N ,1992 in MOUMENINE ,2011).

De ce fait, plusieurs recherches ont été consacrées à l'étude du problème des effets des colorants déversés dans le milieu naturel.

I.2.5.2. Toxicité sur la santé humaine

Plusieurs travaux de recherche sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont été développés (Abouzaid ,2001 in NAIT MERZOUG ,2014).

En effet, des chercheurs (Desoille ,1987 in NAIT MERZOUG ,2014), ont montré que les colorants aminés sont souvent aptes à provoquer des irritations de la peau et des dermatites. Des effets similaires avec production d'eczéma et d'ulcération ont été observés chez les ouvriers d'usine de fabrication des colorants de la série du triphénylméthane (Abouzaid ,2001 in NAIT MERZOUG ,2014).

Des réactions allergiques, asthme quelquefois et surtout des dermatites eczémateuses ont été observés avec divers colorants aminés azoïques, anthraquinoniques, ainsi qu'avec certains colorants du groupe des naphthalènes (chélite de rouge). Les colorants de synthèse à base d'amines entraînent des risques cancérogènes, des tumeurs urinaires et plus spécialement les tumeurs bénignes et malignes de la vessie (Desoille ,1987 in NAIT MERZOUG ,2014).

En 1913, pour la première fois, on se rendit compte qu'il y avait une relation entre la production d'aniline et l'apparition de cancers de la vessie : ces maladies ont particulièrement touché les ouvriers allemands (Bliefert ,2004 in NAIT MERZOUG ,2014).

D'autres recherches ont signalé que la tartrazine développe un certain nombre de réactions adverses chez certains individus comme le prurit, l'œdème, l'urticaire, l'asthme et la rhinite (Han et al ,2008 in NAIT MERZOUG ,2014).

Les colorants azoïques sont aussi responsables d'apparition de L'hépatome chez l'homme. Les colorants métallifères sont parmi les substances qui représentent de grands risques pour la santé de l'homme. Ils peuvent également causer des dégâts sur les réseaux d'assainissement et des perturbations des traitements biologiques dans les stations d'épuration à cause de leur toxicité élevée (Norseth ,1981 in NAIT MERZOUG ,2014).

L'utilisation des colorants à base d'arsenic tels que le vert de Scheele (arsénite de cuivre), vert de Schweinfurt (acétoarsénite de cuivre) provoquent des troubles digestifs : digestion pénible, nausées, diarrhée et peuvent être à l'origine des irritations de peau, des muqueuses oculaires et pulmonaires et surtout de cancer (**Desoille ,1987 in NAIT MERZOUG ,2014**).

La granulomatose pulmonaire est signalée chez les femmes utilisant des laques colorées et parfumées plusieurs fois par jour pendant des années (**Chatterjee et al, 2007 in NAIT MERZOUG ,2014**).

I.2.5.3.Toxicité des milieux aquatiques par les rejets industriels

Les rejets d'effluents des industries textiles, chargés en colorants, dans les rivières, peuvent nuire grandement aux espèces animales, végétales ainsi qu'aux divers micro-organismes vivant dans ces eaux. Cette toxicité, pourrait être liée à la diminution de l'oxygène dissout dans ces milieux. Par ailleurs, Leur très faible biodégradabilité, due à leur poids moléculaire élevé et à leurs structures complexes, confère à ces composés un caractère toxique pouvant être élevé ou faible (**Rais et al, 2010 in NAIT MERZOUG ,2014**).

De ce fait, ils peuvent persister longtemps dans ce milieu, engendrant ainsi des perturbations importantes dans les différents mécanismes naturels existant dans la flore (pouvoir d'auto épuration des cours d'eau, inhibition de la croissance des végétaux aquatiques...) et dans la faune (destruction d'une catégorie de poissons, de microorganismes...). Dans ces conditions la dose létale (DL50) reste le meilleur paramètre pour évaluer les effets toxiques causés par ces déversements. Ainsi une DL50 signifie la mort de 50% d'espèces animales testés en expérimentation (**Kebiche, 1996 in NAIT MERZOUG, 2014**).

Les données bibliographiques ont mentionné que :

- Les algues peuvent être inhibés (à 35%) ou stimulés (à 65%) par les rejets d'effluents dans les industries textiles. Ces résultats ont été obtenus lors des prélèvements effectués sur la cote Est des U.S.A (**Walsh ,1980 in NAIT MERZOUG ,2014**).
- la fuchsine inhibe la croissance des algues et des petits crustacés pour des concentrations minimales de 1mg/l et 20mg/l respectivement (**Baghriche ,2005 in NAIT MERZOUG ,2014**).
- le bleu de méthylène est toxique pour les algues et les petits crustacés à partir des concentrations de 0,1 mg/l et 2 mg/l respectivement (**Meink ,1977 in NAIT MERZOUG ,2014**).
- le bleu de victoria, le violet de méthyle, le noir anthracite BT et le vert diamant sont très toxiques pour la faune et la flore à partir de concentrations de 1mg/l (**Baghriche ,2005 in NAIT MERZOUG ,2014**)

- les colorants cationiques (ou basiques) sont généralement très toxiques et résistent à toute oxydation. En effet, d'autres études ont montré que le colorant cationique (sandocryl orange) est très toxique pour les micro-organismes. En effet, après un temps de contact de 5 jours, le taux d'inhibition a été de l'ordre de 96,5%. Ce taux, est cependant plus faible avec le colorant acide, le Lanasyn Black (32,8%) est pratiquement nul avec un autre colorant de cette même famille, le sandolan (3,18). Donc le traitement des effluents chargés en colorants s'avère indispensable pour la sauvegarde de l'environnement (Milano, 1995 in NAIT MERZOUG ,2014).

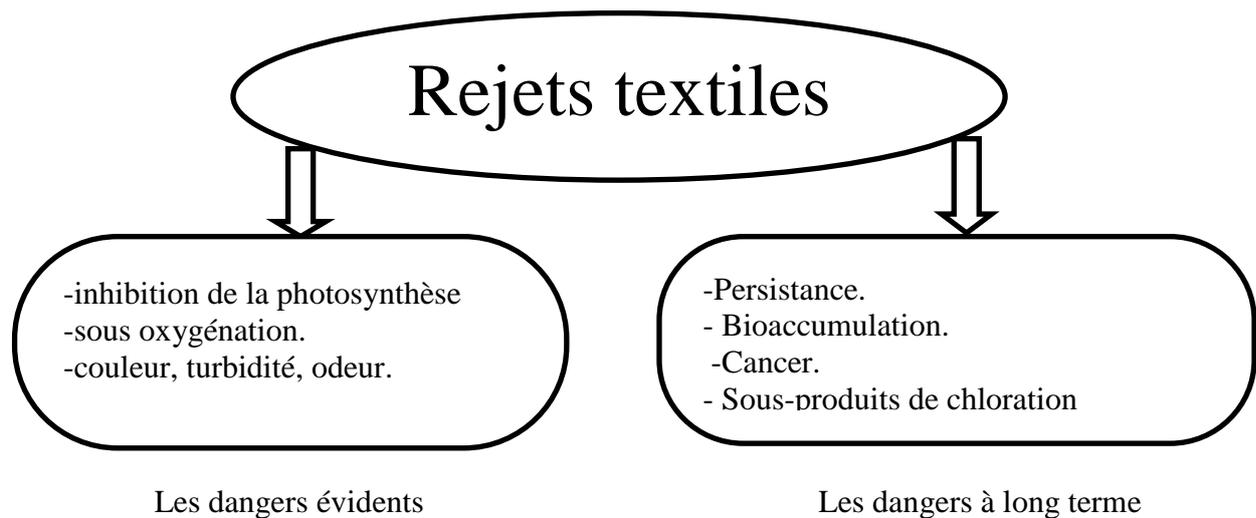


Figure N°03: Les dangers des rejets textiles.

I.2.6.Procédés de Traitement des effluents chargés en colorants (BARKA.N ,2008 in GUESMIA ,2017)

Les techniques de dépollution intervenant le plus couramment en deuxième étape dans les industries textiles se divisent en trois types :

Biologique :

- Traitement aérobie,
- Traitement anaérobie.

Physique :

- Méthodes de précipitation (coagulation, floculation, sédimentation),
- Adsorption (sur charbon actif...),
- Osmose inverse, filtration,
- Incinération.

Chimique :

- Oxydation (oxygène, ozone, oxydants tels que NaOCl, H₂O₂),
- Résine échangeuse d'ions
- Méthode complexométrique.

I.2.7. Le jaune d'or

Selon la fiche de données de sécurité conformément au règlement (CE) n° 1907/2006 nous avons obtenus les informations concernant les caractéristiques du notre colorant

Tableau 3 Propriétés physico-chimiques du jaune d'or GL 200 (CHT, 2017)

Propriétés	
Nom commercial	jaune d'or GL 200
Utilisations	Teinture pour le finissage textile
Couleur	Jaune
Apparence	Poudre
pH	4 - 5, concentration: 10 g / l (20 ° C)
Odeur	Caractéristique
Solubilité dans l'eau	80 g / l (25 ° C)
Appellation chimique	2-[[[(4-methoxyphenyl)methylhydrazono]methyl]-1,3,3-trimethyl-3H-indolium chloride
La formule brute	C ₂₀ H ₂₄ ClN ₃ O
La masse molaire	357.88 g/mol
Structure	

I.2.7.1. Toxicité du jaune d'or

Identification des dangers (**RÈGLEMENT (CE) No 1272/2008**) :

- Provoque des lésions oculaires graves, catégorie 1
- Toxicité chronique pour le milieu aquatique, catégorie 2
- Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.
- Très persistants, très difficile à biodégrader.
- Toxique en cas d'ingestion

CHAPITRE II

ADSORPTION ET BIOSORBANT

II.1.L'adsorption

II.1.1. Notion de sorption :

La sorption est l'action d'adsorber ou de désorber. Elle résulte de l'action de molécules de gaz ou de liquide mises en contact avec un matériau solide et qui adhèrent à sa surface. Les différents mécanismes conduisant à une sorption sont (**naveau, 1973 in BENOSMAN, 2011**):

- L'échange d'ions;
- La complexation de surface;
- Les précipitations de pluie de surface.
- L'absorption (intégration des solides dissous dans la matrice).
- La diffusion dans la phase solide;
- adsorption.

II.1.2.L'Adsorption

L'adsorption est un phénomène physico-chimique interfacial et réversible provoquant l'accumulation des molécules de soluté dans l'interface solide-liquide (ou solide-gaz). Très souvent l'adsorption de molécules organiques par les sols est caractérisée au laboratoire à l'aide de la technique appelée en "batch" qui consiste à agiter des suspensions d'adsorbants dans des solutions aqueuses contenant l'adsorbât dans des récipients fermés jusqu'à atteindre l'équilibre d'adsorption. Les quantités adsorbées sont classiquement calculées par la différence des concentrations entre la solution initiale et celle à l'équilibre (**ROBERT ,1989 in ARRIS, 2008**). Cette technique permet de mesurer une disparition des molécules de la phase liquide, mais elle ne permet pas d'identifier les phénomènes mis en jeu. L'adsorption est certainement impliquée, mais on ne peut pas écarter les autres phénomènes de rétention.

II.1.3.Types d'adsorption

Une distinction entre deux catégories de forces attractives doit cependant être faite, ce qui permet de définir deux types d'adsorption :

II.1.3.1.Adsorption physique

L'adsorption physique ou « physisorption » met en jeu des forces de liaisons faibles du type Van Der Waals similaires à celles impliquées dans la liquéfaction d'un gaz ou des forces d'interactions dues à la polarité de la surface de l'adsorbant et la polarisabilité des molécules de l'adsorbat. Ce type d'adsorption met en jeu une chaleur d'adsorption inférieure à 50 kJ/mol et offre des similaires à celles impliquées dans la liquéfaction d'un gaz ou des forces d'interactions

électrostatiques caractéristiques tout à fait intéressantes pour l'étude de la texture des solides par adsorption.

La physisorption :

-S'accompagne de faibles chaleurs d'adsorption sans changement violent structurel sur la surface.

- Peut conduire à une couverture de la surface par adsorption en mono ou multicouches.

Donc les pores peuvent être remplis par les particules de fluide adsorbées.

- Est entièrement réversible ce qui permet d'étudier à la fois l'adsorption et la désorption.

-Est caractérisée par le fait que les molécules d'adsorbat peuvent se fixer sur toute la surface de l'adsorbant et ne se limite pas à des sites particuliers.

II.1.3.2.Adsorption chimique

L'adsorption chimique ou « La chimisorption », fut initialement proposé par le chimiste américain Irving Langmuir en 1916, dans la chimisorption, l'adsorbat est lié à l'adsorbant par des forces ioniques ou covalentes, très semblable à celles impliquées dans les liaisons entre atomes au sein d'une molécule. Dans ce type de processus, une liaison de la molécule est rompue pour former d'autre liaison chimique entre les fragments moléculaires et adsorbant, du fait de la formation de liaisons chimique (**DONALD A ,2000 in AMROUCHE et AROURI, 2013**).

La chimisorption est caractérisée principalement par des énergies d'interaction élevées qui conduisent à des chaleurs d'adsorption élevées. Les énergies d'adsorption peuvent être de l'ordre de 200 kJ/mole. La chimisorption est restreinte, au plus, à une monocouche d'adsorbât liée à la surface et les molécules adsorbées ont une localisation précise sur la surface, ce qui est un facteur important. Ce type d'adsorption est défini par un équilibre adsorbat-adsorbant long à atteindre et la quantité adsorbée augmente avec la température (**CAUDERC ,2002 in AMROUCHE et AROURI ,2013**).

Le Tableau suivant résume les principales différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique :

Tableau 04 : principales différences entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique (BOUAZZA ,2012).

Propriété	Adsorption physique	Adsorption chimique
Chaleur d'adsorption	Environ 5Kcal/mol	Environ 10Kcal /mol
Température de processus	Relativement basse	Plus élevée
Liaison entre gaz –solide		Chimique
Spécificité cristallographique	Processus non spécifique (pratiquement indépendant de la géométrie atomique extérieure)	Processus spécifique
Désorption	Facile	Difficile
La distance entre les molécules et la surface de solide	Grande	Petite
La vitesse d'adsorption	Rapide	Lente
Les énergies de liaison	0 et 40 KJ/mol	>40KJ/mol
Prise de saturation	Phénomène multicouche	Phénomène monocouche
Nature de sorbat	La quantité d'adsorbant enlevée dépend davantage de l'adsorbant que sur l'adsorbant	Dépend de l'adsorbant et de l'adsorbant

II.1.4.Application de l'adsorption :

Les nombreuses applications techniques de l'adsorption résultent de trois caractéristiques qui la différencient des autres procédés de séparation, à savoir :

- La rétention de très petites particules, comme par exemple les colloïdes;
- La rétention des composants à très faible concentration, par exemples des impuretés ou des molécules et ions métalliques qui confèrent au produit couleurs, odeurs, ou saveurs désagréables, voire une toxicité;
- La sélectivité de l'adsorbant par rapport à certains constituants du mélange.

Parmi les applications industrielles diverses, on cite :

- la décoloration des jus sucrés.

- La purification de divers produits pétroliers et de matières grasses animales et végétales.
- Le traitement des eaux : généralement en utilisant du charbon actif pour le traitement des eaux et la purification des jus sucrés.
- Le séchage, purification et désodorisation des gaz.
- Le raffinage des produits pétroliers.
- La catalyse de contact.
- La déshumidification et la désodorisation de l'air.
- La récupération des solvants volatils et de l'alcool dans le processus de fermentation.
- La décoloration des liquides.
- La chromatographie.

II.1.5. Description du mécanisme d'adsorption

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes. La figure représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide.

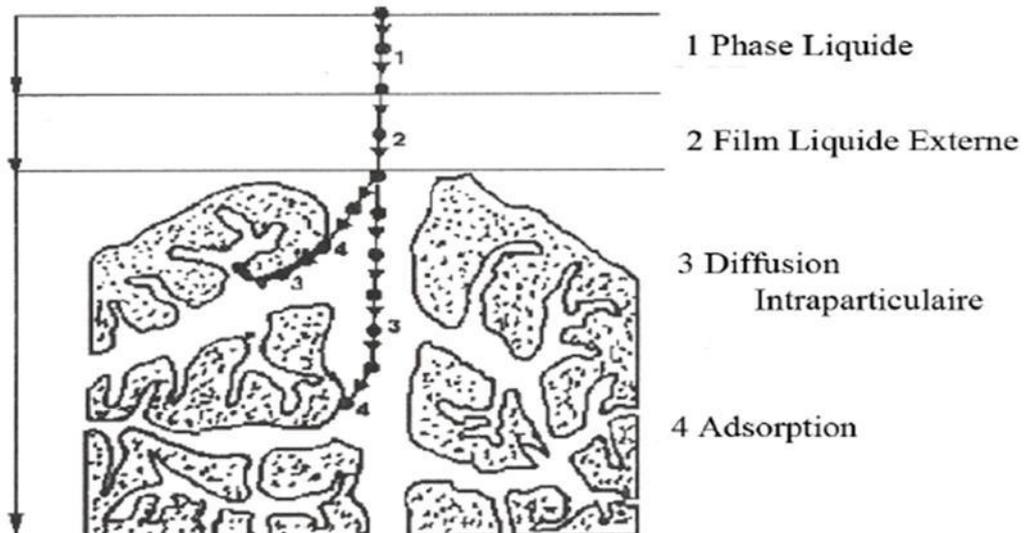


Figure N°4: Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux.

Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes :

- 1-Diffusion de l'adsorbat de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant.
- 2- Diffusion extra granulaire de la matière (transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface des grains).

3-Transfert intra granulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des grains vers les sites actifs).

4- Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile (**CARDOT, 1999 in ARAR ,2016**).

II.1.6.Facteurs influents l'adsorption

Quand un solide est mis en contact avec une solution, chaque constituant de cette dernière (le solvant et le soluté) manifeste une tendance à l'adsorption à la surface du solide.

Il y'a donc une compétition en surface entre deux adsorptions qui sont concurrentielles. Le cas le plus intéressant est celui où l'adsorption du soluté est plus importante que celle du solvant. Donc la quantité adsorbée, dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont (**BENMEZIANE et LEHLLALI ,2017**):

a. La température : L'adsorption est un processus exothermique et par conséquent son déroulement doit être favorisé à basse température.

b. La nature de l'adsorbant: L'adsorption d'une substance donnée croît avec la diminution de la taille des particules de l'adsorbant, ce qui permet aux composés de la solution de pénétrer dans les capillaires de la substance, donc la subdivision de la particule du solide influe directement sur les pores de ce dernier ainsi que sur sa surface spécifique qui va être développée. Cependant, si les dimensions des pores sont inférieures, aux diamètres des molécules de l'un des composants de la solution, l'adsorption de ce composé ne se fait pas, même si la surface de l'adsorbant a une grande affinité pour ce composé (**TALIDI.SALAMI ,2005 in BENMEZIANE et LEHLLALI ,2017**).

c. La nature de l'adsorbat: Pour qu'il y' ait une bonne adsorption il faut qu'il y' ait d'abord 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 et l'affinité pour le substrat croît avec la masse moléculaire de l'adsorbat. Ceci a été déjà énoncé par la règle de Traube et complété par Freundlich en écrivant que l'adsorption de substance organique, à partir de solutions aqueuses, augmente fortement et régulièrement quand la longueur de la chaîne croît à l'intérieur d'une série homologue (**BEGANE ,2000 in BENMEZIANE et LEHLLALI ,2017**).

d. Orientation des molécules: L'orientation des molécules adsorbées en surface, dépend des interactions entre la surface et les molécules adsorbées en solution. Il est difficile de prévoir l'orientation des molécules d'adsorbat sur le solide.

e. Surface spécifique: La surface spécifique est une donnée essentielle de la caractérisation des solides et des matériaux poreux. Il est clair que l'on cherche à conférer aux adsorbants une grande surface spécifique, cette grandeur désigne la surface accessible rapportée à l'unité de poids d'adsorbant (BEGANE ,2000 in BENMEZIANE et LEHLLALI ,2017).

II.2.La biosorption

II.2.1.Définition de la biosorption

La biosorption correspond à l'utilisation des matériaux biologiques ayant un grand potentiel de fixation des polluants par adsorption. Elle est considérée comme alternative ou complémentaire aux méthodes conventionnelles, utilisées pour le traitement des effluents contenant des ions métalliques ou des colorants qui sont généralement coûteuses. En effet, la biosorption des métaux lourds, colorants ou autres composés organiques contenus dans des effluents aqueux est un procédé pas très ancien qui a montré une grande efficacité dans l'élimination de ces espèces métalliques ou organiques polluantes, utilisant des matériaux naturels comme adsorbants, tels qu'à titre d'exemple, les dérivés de déchets agricoles (Ayhan Demirbas ,2008 in BENMEZIANE et LEHLLALI ,2017).

Le terme général « Biosorption » a été utilisé pour décrire la propriété des matériaux d'origine naturelle, morts ou vivants, à retenir des ions métalliques lourds ainsi que des éléments radioactifs (Kadirvelu ,2008 in BENMEZIANE et LEHLLALI ,2017).

II.2.2.Définition et origines des biosorbants

Les biosorbants sont des squelettes organiques, constitués pour la plupart des polysaccharides, de formule brute générale $C_x (H_2O)_y$. Ces derniers désignent une grande variété de polymères, initialement appelés hydrates de carbone, dont les principaux sont, selon leur abondance dans la nature. Ils sont pour la plupart des déchets agricoles et industriels ayant des propriétés intrinsèques qui leur confèrent une capacité d'adsorption. Ce sont des déchets végétaux tel que l'écorce de pin, l'écorce d'êtré, la bagasse de canne à sucre, le vétiver, les pulpes de betterave, les fibres de jute, noix de coco, les noyaux de dattes, les noyaux de tamarin, le sagou, les coquilles des amandes, les cosses de riz, coquilles des noix...etc. (KHALFAOUI in BENMEZIANE et LEHLLALI ,2017).

II.2.3.Classification des biosorbants

Les biosorbants peuvent être regroupés en deux catégories : les biosorbants d'origine aquatique et ceux provenant du secteur agro-industriel.

II.2.3.1. Biosorbants d'origine aquatique

Les biosorbants d'origine aquatique désignent la biomasse, constituée à la fois d'espèces animales et végétales. Il est prouvé que la biomasse (vivante ou morte) possède de très bonnes capacités d'adsorption dues particulièrement à ses caractéristiques physicochimiques

Toutefois, il est préférable d'utiliser la biomasse morte, car sont alors éliminés les problèmes de toxicité, d'alimentation et de maintenance du milieu de culture (**Elmyre Clervil ,2017 in BENMEZIANE et LEHLLALI ,2017**).

II.2.3.2. Biosorbants d'origine agro-industrielle

Cette catégorie de biosorbants regroupe les matériaux d'origine végétale, provenant du secteur agricole ou d'une filière industrielle. Ce sont des matériaux riches en tanin qui, grâce aux groupements polyhydroxy-polyphénol, leur confère une grande efficacité dans la rétention des polluants. Il n'existe pas une différence stricte entre les biosorbants d'origine agricole et ceux d'origine industrielle (**Elmyre Clervil ,2017 in BENMEZIANE et LEHLLALI ,2017**).

II.3. Les lichens

II.3.1. Définition

Les lichens sont un groupe de « végétaux » appartenant aux cryptogames comme les champignons, les mousses et les fougères (cryptogames= groupe paraphylétique de végétaux dont les organes sexués ne sont pas apparents). Ils sont le résultat d'une symbiose entre un champignon hétérotrophe (classes des ascomycètes, basidiomycète ou deutéromycète) et une algue verte ou une cyanobactérie, autotrophes (chlorophylliens).

Le champignon, appelé mycosymbiote ou mycobionte, joue le rôle le plus déterminant dans la morphologie du lichen (forme et structure) et assure le système de reproduction des spores. De plus, il apporte des antibiotiques, des vitamines, des sels minéraux, de l'eau et une protection à l'algue. Pour sa part, l'algue, appelée également phycosymbiote ou (phytobionte ou phytosymbiote pour les cyanobactéries) apporte au champignon du carbone et des glucides.

Pour 99% des lichens, le champignon fait partie des ascomycètes. Les cellules du champignon ont une forme de filaments, simples ou plus ou moins ramifiés, incolores, que l'on appelle hyphes. 90% des algues impliquées dans la symbiose lichénique sont de la classe des algues vertes (chlorophycées), regroupant des chorococcacées, les plus fréquentes sont du genre *Trebouxia* (ce genre est présent dans près de 50 à 70% des lichens) et du *Trentepohlia*. 10% des algues des lichens sont des cyanobactéries (cyanophytes ou algues bleues).

Il existe plusieurs sortes de lichens (en fonction de la forme et de la structure : lichens crustacé, foliacé, fruticuleux, ...). La maquette schématise un lichen à structure hétéromère stratifiée, c'est la structure de la plupart des lichens foliacés (*Xanthoria sp.*, *Phaeophysciasp.*,...), de beaucoup de lichens crustacés et de quelques lichens fruticuleux (*Everniaprunastri*, *Pseudevernia furfuracea*) (Louis de schreyer ,2009).

II.3.2.pollution et lichen

Les lichens sont sensibles à des changements précis de leur environnement ceci est l'une des causes essentielles de leur régression, voire de leur disparition dans de nombreuses contrées. Presque tous les lichens ont disparu dans les villes, leur cartographie met en évidence des zones concentriques de pollution décroissante. Les lichens absorbent de très petites quantités de polluants et les accumulent dans leur thalle, ils constituent un outil précieux et fiable pour la mesure de la pollution atmosphérique et sont de plus en plus utilisées pour des enquêtes appropriées.

Tous les lichens ne réagissent pas avec la même intensité à la pollution atmosphérique. Le taux de présence d'un lichen donné est un indicateur précis du degré de pollution, aussi, l'absence d'une espèce donne permet naturellement de conclure à une pollution. La grande utilisation des lichens se trouve dans leur aptitude de plante indicatrice de la pollution de l'environnement. (Hans Martin Jahns, 2003)

II.3.3.description de *Pseudevernia furfuracea*

P. furfuracea (L.) Zopf: Rameaux en lanières, souvent ramifiés en forme de bois de cerf, formant des touffes pendantes, ou déjetées ou dressées à l'écorce des arbres. La face supérieure grise est densément recouverte d'isidies. La face inférieure des rameaux les plus âgés est noire; elle la différencie d'*Evernia* (blanc) et de *Ramalina* (vert). Les apothécies, rares sont de grande taille avec un disque brun olive (voire photo). Formes rabougries dans les conditions défavorables. Largement répandu, abondant dans les forêts de montagnes, notamment sur les conifères.

Tableau 5: classification de *Pseudevernia furfuracea* (AFL, 2019)

Classification	
Règne	<i>Fungi</i>
Division	Ascomycota
Classe	Lécanoromycètes
Ordre	Lecanorales
Famille	Parmeliaceae
Genre	<i>Pseudevernia</i>

PARTIE
EXPERIMENTALE

CHAPITRE I

MATERIELS ET METHODE

I.1.Objectif du travail :

Notre travail porte sur la biosorption d'un colorant, le jaune d'or GL 200, par un lichen (*Pseudevernia furfuracea* L); qui a été collecté du parc national de Thniet El Had wilaya de Tissemsilt le 28/02/2019.

I.2.Date et lieu de travail :

Notre travail a été réalisé au niveau des laboratoires d'institut des sciences et technologies, du centre universitaire _Tissemsilt_, durant la période allant du 03 Mars au 12 Mai 2019.

I.3.Matériels**I.3.1Appareillages**

- Balance Analytique. (KERN ALS220)
- Agitateur Magnétique. (BIBBY STUART SB 162EUR)
- Etuve. (Universelle MEMMERT)
- pH mètre. (HANNA)
- Spectrophotomètre: UV /VISIBLE. (JENWAY 7300)
- Broyeur.- Centrifugeuse.-Autre matériels : verreries, barreau magnétique, spatule-Tamis 250µm.

I.3.2.Produits chimiques

Les différents réactifs employés au cours de cette étude sont : - Jaune d'or -Acide chlorohydrique (HCl) (1N)-L'hydroxyde de sodium (NaOH) (1N) - Eau distillé

Protocole expérimental

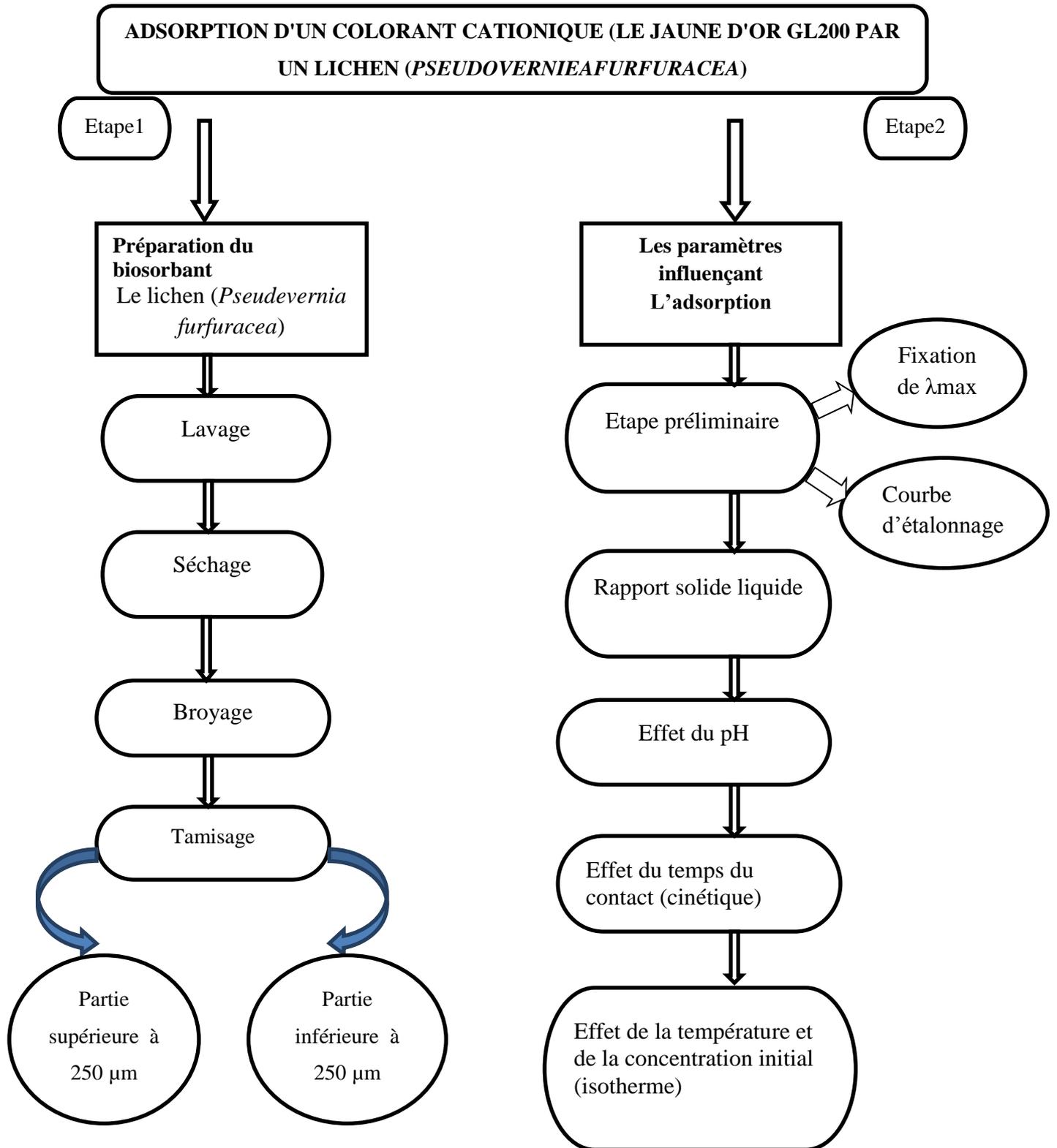


Figure N°05: Protocole expérimental

I.4.méthode

I.4.1.Préparation de solution mère

Pour réaliser l'expérience de l'adsorption, on a préparé la solution mère en colorant à une concentration $C_0 = 25\text{mg/L}$. Pour cela, on a fait dissoudre 10 mg de colorant dans 400ml d'eau distillée. Le mélange obtenu a été homogénéisé par agitation.

I.4.2.Préparation du biosorbant

La préparation de notre matériau comporte 4 étapes:

-Le Lavage : Le lichen obtenue sont lavées plusieurs fois à l'eau afin d'éliminer toute sorte de poussières jusqu'à l'obtention des eaux de lavage claires.

-Le séchage : Le séchage du lichen a été réalisé dans une étuve, pendant 24 heures à 80°C .

-Le broyage : Le broyage a été réalisé afin d'obtenir des matériaux homogènes pour le besoin des études de laboratoire, donnant des grains de petite taille, broyés à l'aide du moulin de café électrique.

-Le Tamisage : Les tailles des particules utilisées pour les essais d'adsorption ont été isolées mécaniquement au moyen d'un tamiseur dont la dimension $250\mu\text{m}$.

Le résultat était deux fractions : une inférieure à $250\mu\text{m}$ et l'autre supérieure à $250\mu\text{m}$. ces deux fractions seront les matériaux utilisés le long de notre travail.

I.4.3.Détermination de la longueur d'onde spécifique

Pour déterminer la meilleure longueur d'onde qui donne une bonne absorption de jaune d'or, il faut préparer d'abord une solution mère de 25mg/l de ce colorant. Les analyses sont effectuées sur un spectrophotomètre. Le choix de la longueur d'onde a été effectué, suite à un balayage entre 400nm et 575nm .

I.4.3.1.La spectrophotométrie UV-Visible

La spectrophotométrie ultra-violet / visible est une technique d'analyse quantitative, qui consiste à mesurer l'abondance ou la densité optique d'une substance chimique donnée en solution. La méthode repose sur la loi de Beer-Lambert qui énonce :

- Lorsqu'une substance absorbe de la lumière dans le domaine de l'ultra-violet et du visible, l'énergie absorbée provoque des perturbations dans la structure électronique des atomes ; ions ou molécules. Un ou plusieurs électrons utilisent cette énergie pour sauter d'un niveau de basse énergie à un niveau de plus haute énergie. Ces transitions électroniques seront dans le domaine de 350 à 800 nm pour le visible et entre 200 à 350 nm pour l'ultraviolet.

- Un milieu homogène traversé par la lumière, absorbe une partie de celle-ci, les différentes radiations constituant le faisceau incident sont différemment absorbées suivant leur longueur d'ondes et les radiations transmises sont alors caractéristiques du milieu.
- Soit un rayon lumineux monochromatique de longueur d'onde (λ) traversant un milieu homogène d'épaisseur L. Le taux de décroissance de l'intensité lumineuse en fonction de l'épaisseur du milieu absorbant est donné par la loi de Beer-Lambert :

$$A = \varepsilon \cdot L \cdot C = \log(I_0/I)$$

Avec:

A : Absorbance;

ε : coefficient d'extinction molaire ($\text{mol}^{-1} \cdot \text{l} \cdot \text{cm}^{-1}$) ;

L : Epaisseur de la cuve (cm) ;

C: Concentration molaire du composé dosé (mol/L) ;

I_0 : Intensité initiale de la lumière traversée ;

I : Intensité de la lumière transmise ;

Un spectrophotomètre est constitué de la réunion de trois parties distinctes : la source, le système dispersif et le détecteur. L'échantillon est intercalé sur le trajet optique avant ou après le système dispersif (figure 04).

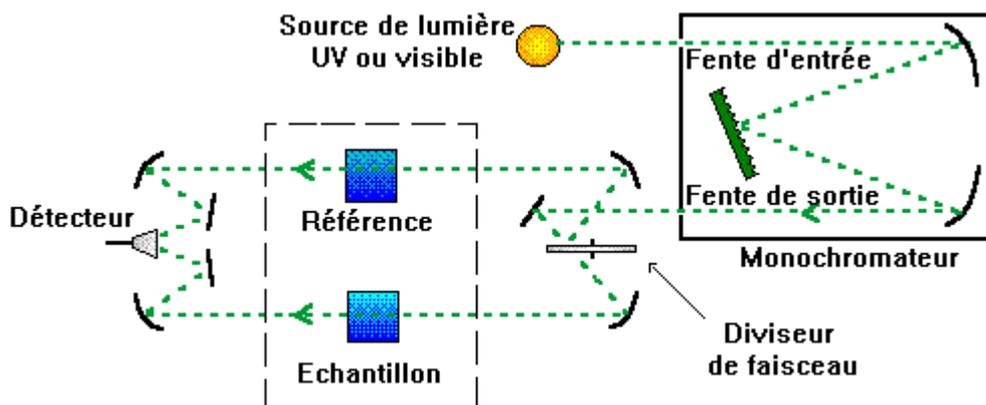


Figure N°06: Schéma d'un spectrophotomètre

I.4.4. Courbes d'étalonnage

En solution aqueuse, le JO absorbe dans le domaine visible ($\lambda_{\text{max}} = 440\text{nm}$). La mesure de l'absorbance de plusieurs solutions du JO à des concentrations connues (2, 4,6 et 8 mg/L) est réalisée pour tracer la courbe d'étalonnage.

I.4.5.Détermination de la quantité adsorbée

En général, la concentration de l'adsorbat retenue par l'adsorbant est calculée par la différence entre la concentration initiale du soluté C_0 et la concentration finale (à l'équilibre) du soluté C_e , la quantité du soluté adsorbée à l'équilibre Q_e est donnée par l'équation suivante:(Limousin, 2007 in Bellahreche A et al, 2016)

$$Q_e = (C_0 - C_e) V/m$$

Avec :

Q_e : quantité adsorbée à l'équilibre (mg/g).

V : volume de la solution(l).

m : masse d'adsorbant(g).

C_0 : concentration initiale de l'adsorbat (mg /l).

C_e : concentration à l'équilibre de l'adsorbat (mg /l).

I.5.paramètre influençant sur l'adsorption

I.5.1. Rapport solide –liquide

Le rapport solide –liquide $R(S/L)$ est la concentration du solide dans un volume donné. A Partir de la formule si dessous, on peut déterminer la masse de lichen nécessaire pour chaque rapport étant le volume fixe.

$$R(S /L)=m/V.$$

Une fois la masse de lichen et modifiée 50mg ,100mg ,150mg et 200mg, on met cette dernière au contact de 100 ml du colorant de JO (25mg /l) Pendant 90 min sous une agitation modérée et la température ambiante .par la suite, on fait une filtration à travers une passoire. Une centrifugation est faite à 10000tours /min pendant 5 min, suivie d'une analyse par spectrophotomètre UV-visible.

I.5.2.Effet du pH :

Les mesures de pH ont été réalisées à l'aide d'un pH- mètre muni d'une électrode en verre. Le pH- mètre est préalablement étalonné.

Le pH est un paramètre essentiel à prendre en compte dans les processus de l'adsorption. Ce paramètre agit à la fois sur la solubilité et sur l'état d'ionisation de l'adsorbant. Cinq valeurs de pH varient entre 3 et 9 sont utilisées.

Les paramètres maintenus constants sont : temps de contact = égal 90min, température ambiante de 21C° et $R(S/L)$ égal à 0.5 et fréquence d'agitation moyenne.

Les pH acide et basique sont obtenus, l'un par addition d'une solution d'acide chlorhydrique et l'autre par ajout d'une solution de L'hydroxyde de sodium.

I.5.3. Temps de contact (cinétique) :

Des essais d'adsorption ont été réalisés pour différents temps de contact (de 1 min à 2 h) et ce dans l'objectif de déterminer le temps nécessaire à l'obtention de l'équilibre de fixation du JO. Les conditions fixées pour l'étude de ce paramètre sont: Température ambiante de 21C° ; R(S/L) égal 0.5 et pH égal à 9; fréquence d'agitation moyenne, La concentration initiale du jaune d'or est de 25 mg/L.

I.5.3.1. Les modèles cinétiques d'adsorption

La cinétique du phénomène d'adsorption est déterminée par le transfert de matière à l'interface liquide - solide où sont localisées toutes les résistances au transfert de matière.

L'équation fondamentale est celle qui régit les phénomènes de transfert de matière en général entre deux phases, dans notre cas elle exprime que le flux d'adsorption est proportionnel à l'écart entre la quantité adsorbée q à l'instant t et la quantité adsorbée à l'équilibre q_e .

Il existe plusieurs modèles cinétiques pour étudier le mécanisme d'adsorption, ceux qu'on a testés dans notre étude sont les suivants :

I.5.3.1.a Modèle de la cinétique du pseudo premier ordre (modèle Lagergren)

Lagergren (1898) a proposé un modèle cinétique du pseudo premier ordre exprimée par la relation suivante :

$$dq/dt = k_1 \cdot (q_e - q) \quad (1)$$

Où :

k_1 : La constante de vitesse pour une cinétique du pseudo premier ordre ;

q_t : la capacité d'adsorption à l'instant t

q_e : la capacité d'adsorption à l'équilibre

L'intégration de l'équation (1) donne :

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{Log } q_e - K_1/2.303 \cdot t \quad (2)$$

I.5.3.1.b Modèle de la cinétique du deuxième ordre

Le modèle du pseudo deuxième ordre suggère l'existence d'une chimio sorption, un échange d'électron par exemple entre molécule d'adsorbat et l'adsorbant solide. Il est représenté par la formule suivante :

$$dq / dt = k_2 \cdot (q_e - q)^2 \quad (3)$$

Où :

k_2 : la constante de vitesse pour une cinétique du deuxième ordre

q_t : la capacité d'adsorption à l'instant t

q_e : la capacité d'adsorption à l'équilibre

L'intégration de l'équation (3) donne :

$$t/q_t = 1/k_2 \cdot q_e^2 + 1/q_e^2 \cdot t \quad (4)$$

I.5.4. Les isothermes d'adsorption

Les isothermes d'adsorption jouent un rôle important dans la détermination des capacités maximales d'adsorption et dans la conception de nouveaux adsorbants; il est donc indispensable dans notre étude de les déterminer. Il existe de nombreux modèles théoriques qui ont été développés pour décrire la relation entre la masse d'adsorbant fixée à l'équilibre (Q_e) et la concentration sous laquelle elle a lieu (C_e). Cependant, nous nous intéresserons seulement aux modèles de Langmuir et Freundlich, car ils sont les plus simples et les plus répandus. (**Edeline, 1998 in Bellahreche A et al, 2016**).

I.5.4.1. Les modèles d'isothermes d'adsorption

D'assez nombreux auteurs ont proposés des modèles, théoriques ou empiriques, pour décrire la relation entre la masse d'adsorbant fixée à l'équilibre et la concentration sous laquelle elle a lieu [42, 41, 38]. Il s'agit de relations non cinétiques, que l'on nomme *isothermes*.

Soit :

$$X/m = f(c)$$

x : masse adsorbée en mg/l (à l'équilibre) ;

m : masse d'adsorbant (g) ;

x/m : concentration dans la phase solide (mg/g) ;

c : concentration dans la phase liquide en mg/l (à l'équilibre).

En pratique, on observe qu'une masse d'adsorbant ne peut fixer une quantité illimitée de substance : elle se sature. Ce phénomène de saturation n'est pas expliqué par toutes les formules, dont nous n'exposerons que les plus communes.

I.5.4.1.a. Isotherme de LANGMUIR:

L'isotherme de Langmuir proposée en 1918; c'est le modèle le plus utilisé pour commenter les résultats trouvés au cours de l'adsorption des composés organiques en solution aqueuse. (**Howard, 1967**).

A une température constante, la quantité adsorbée Q_e est liée à la capacité maximale d'adsorption Q_m , à la concentration à l'équilibre C_e du soluté et à la constante d'affinité K par l'équation :

$$\frac{Q_e}{Q_m} = \frac{KC_e}{1 + KC_e}$$

Cette équation est basée sur les hypothèses suivantes:

- La surface du solide est homogène.
- Les molécules adsorbées ne présentent pas d'interaction entre elles.
- Les molécules adsorbées ne peuvent former qu'une couche mono moléculaire sur la surface de soluté.

Si cette équation est vérifiée, on doit obtenir, en coordonnées $C_e/Q_e = f(C_e)$, des droites

I.5.4.1.b. Isotherme de FREUNDLICH:

C'est une équation empirique largement utilisée pour la représentation pratique de l'équilibre d'adsorption. Elle est plus souvent utilisée dans le domaine des solutions très diluées (Nicolaon, 1972). Elle se présente sous la forme. (Calvet et al, 1980)

$$Q_e = k (C_e)^m$$

Q_e: Quantité adsorbée par gramme du solide.

C_e: Concentration de l'adsorbat à l'équilibre d'adsorption.

K et m : constantes expérimentales positives, fonction de la nature de l'adsorbat et de l'adsorbant. La linéarisation de ce modèle nécessite le tracé de la courbe :

$$\ln Q_e = k (\ln C_e)$$

En traçant **ln (Q_e)** en fonction de **ln C_e**, on obtient une droite de pente **m** et d'ordonnée à l'origine **K**.

CHAPITRE II

RESULTATS ET

DISCUSSION

II.1.Détermination la longueur d'onde maximale

Le choix de la longueur d'onde à été effectuée, suite à un balayage entre 400 nm et 700 nm (figure05). L'évolution de la densité optique en fonction de la longueur d'onde a une allure gaussienne dont le maximum se situe à 440 nm.

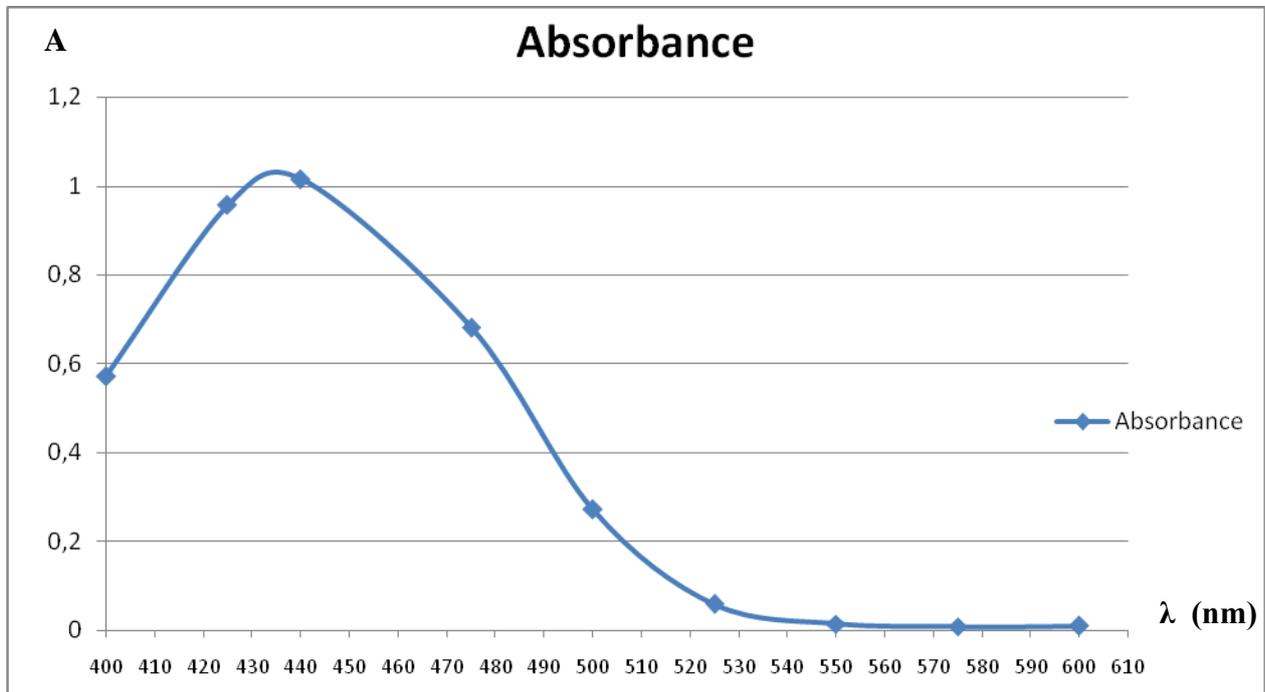


Figure N°07:L'évolution de l'absorbance de JO en fonction de la longueur d'onde

II.2.Courbe d'étalonnage

La courbe d'étalonnage montre l'évaluation de l'absorbance en fonction de la concentration du JO est représentée dans la figure 06

Les valeurs obtenues, montrent qu'il y a une variation linéaire entre l'absorbance et la concentration du JO avec un coefficient de corrélation égale à $R^2=0,994$ suivant l'équation suivante :

$$Y = 0.0532X$$

Où : Y : Absorbance à $\lambda = 440\text{nm}$.

X : Concentration du JO en mg/l.

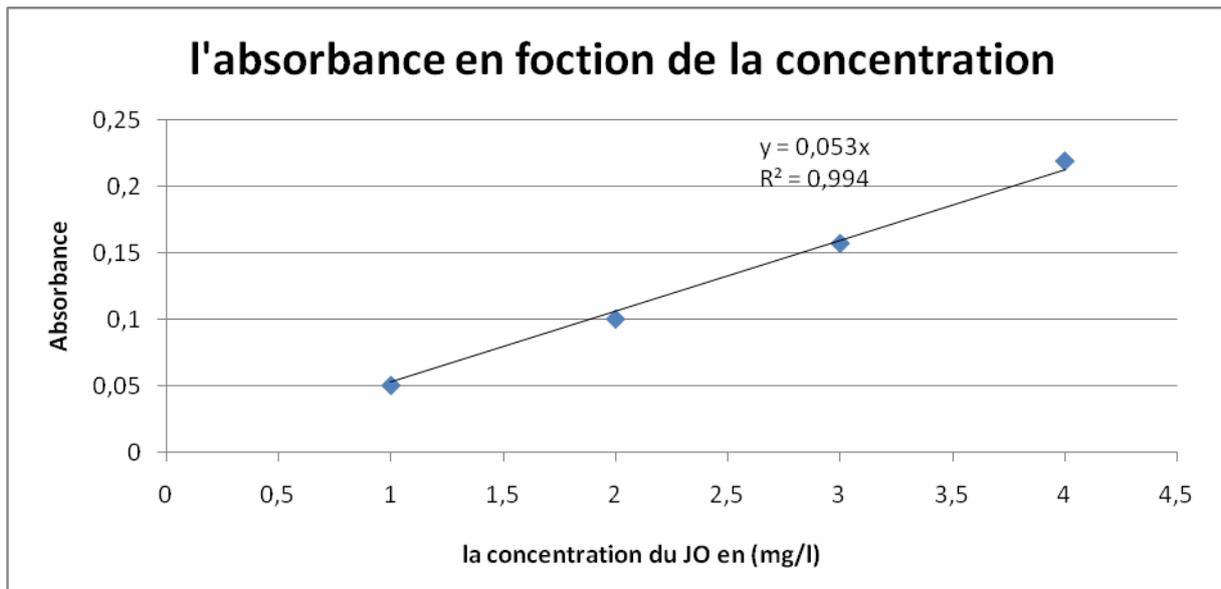


Figure N°08 : Courbe d'étalonnage du jaune d'or

II.3.Rapport Solide-Liquide

Les figures 07 et 08, reflète l'évaluation de la quantité de JO adsorbée à l'équilibre exprimée en mg de JO par g du lichen Q_e (mg/g) en fonction de la concentration du lichen.

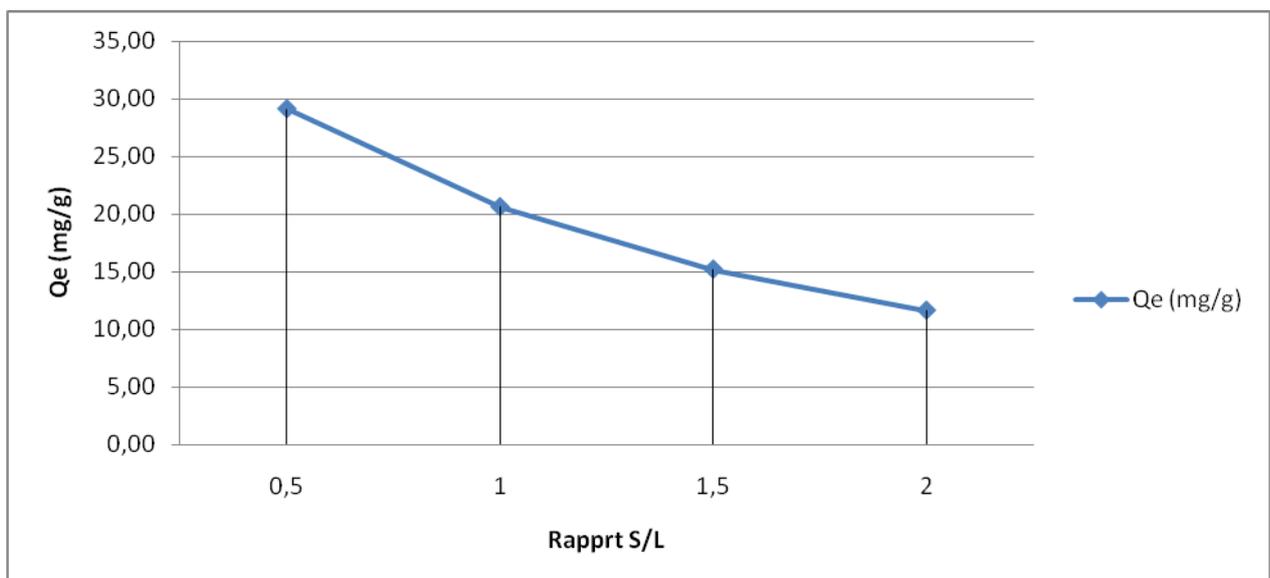


Figure N°09:Influence du rapport R(S/L) sur l'adsorption de JO par la fraction < à 250µm de notre biosorbant

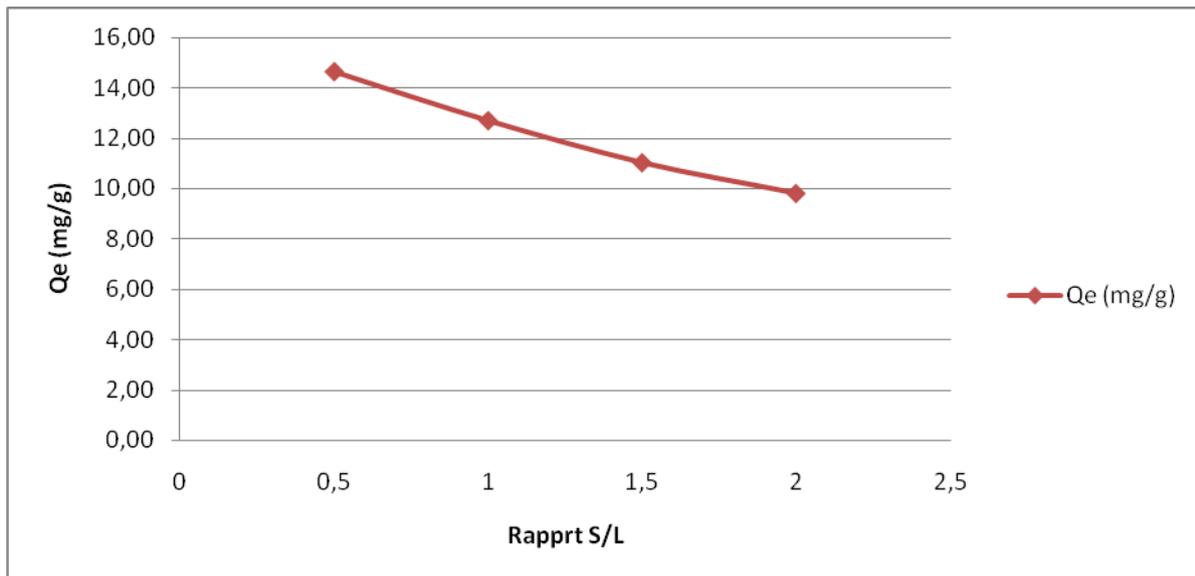


Figure N°10:Influence du rapport R(S/L) sur l'adsorption de JO par la fraction > à 250µm de notre biosorbant

On remarque, une diminution de la quantité du jaune d'or adsorbée à l'équilibre au fur et à mesure que la concentration solide/solution augmente et cela pour l'ensemble des deux fractions de notre biosorbant. La meilleure quantité adsorbée à l'équilibre Q_e est observée pour un rapport égal à 0,5 et cela pour l'ensemble des deux fractions.

II.4.Effet du pH

Afin d'étudier l'influence du pH sur la rétention du jaune d'or par les deux fractions de notre biosorbant, nous avons pris un intervalle du pH allant de 3 à 9. La figure 09 et 10, mettent en évidence l'évolution de la quantité du jaune d'or adsorbée à l'équilibre Q_e (mg/g) en fonction du pH par les deux fractions de lichen.

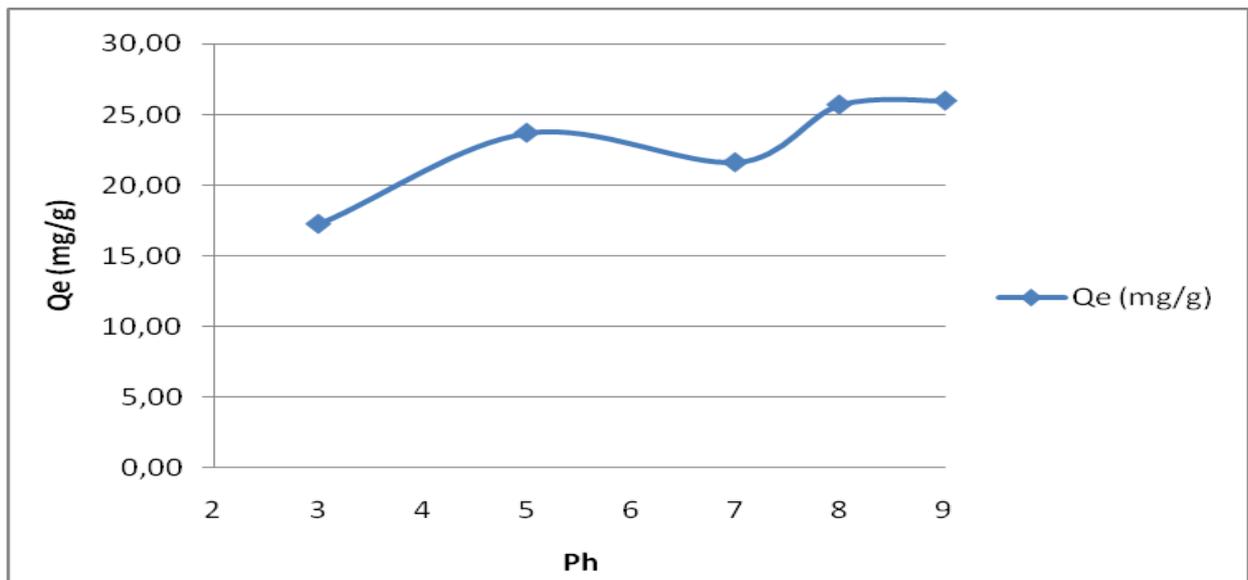


Figure N°11: Effet de pH sur l'adsorption de JO par La fraction < à 250µm de notre lichen

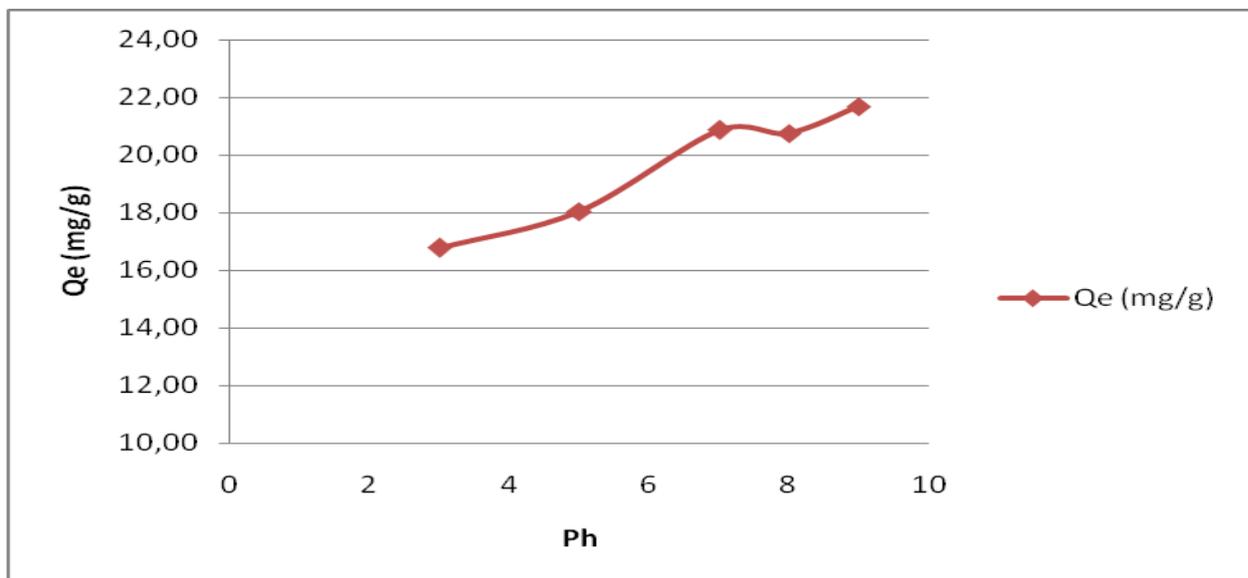


Figure N°12: Effet de pH sur l'adsorption de JO par La fraction > à 250µm de notre lichen

Les résultats des deux fractions montrent que le pH de la solution du jaune d'or influence d'une façon significative sur la rétention du jaune d'or. D'après la figure 09 et 10.

Au-delà du pH=9 la phase de saturation est atteinte, nous sommes en présence d'un l'équilibre. Le taux d'adsorption devient constant. Pour la suite de l' 'expérimentation, nous avons ajuste le pH des solutions à 9 pour l'adsorption du JO.

II.5. Effet du temps de contact

La figure N°13, représente l'évolution de la quantité adsorbée du jaune d'or en fonction du temps. La cinétique d'adsorption du colorant sur les matériaux utilisés présente presque la même allure caractérisée par une forte adsorption du colorant dès les premières minutes de

contact (matériau-Golden yellow GL 200), suivie d'une augmentation lente jusqu'à atteindre un état d'équilibre.

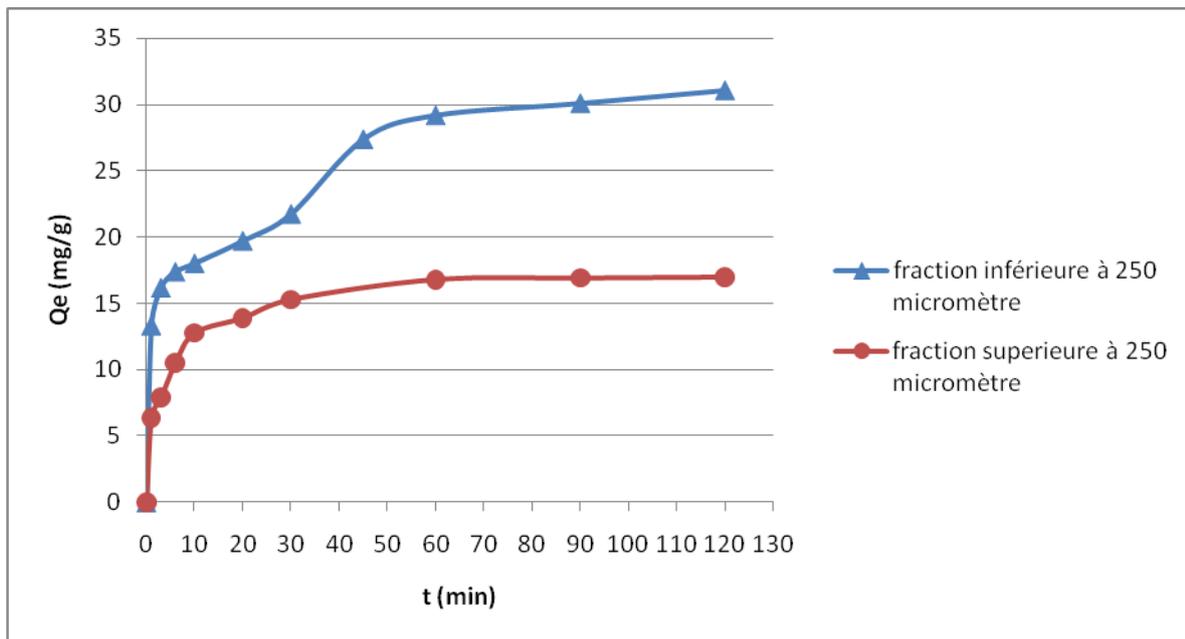


Figure N°13 : Effet du temps de contact sur la fixation du jaune d'or. Conditions : $V=100\text{ml}$, $C=25\text{mg/l}$, Rapport S-L=0.5, $T=25^\circ\text{C}$, $\text{pH}=9$.

La cinétique d'adsorption rapide pendant les premières minutes de réaction, peut être interprétée par le fait qu'en début d'adsorption, le nombre des sites actifs disponibles à la surface du matériau adsorbant, est beaucoup plus important que celui des sites restant après un certain temps (Benguella, B et Yacouta-Nour, A, 2008 in HADJBOUSSADA H et ZOUAOUI F, 2015). Ainsi on peut remarquer que la quantité adsorbée par la fraction inférieure à $250\ \mu\text{m}$ est plus importante que celle adsorbée par la fraction supérieure à $250\ \mu\text{m}$ cela peut être due à la nature du matériau (la fraction inférieure à $250\ \mu\text{m}$ est majoritairement constituée d'algues alors que la deuxième fraction est majoritairement constituée de champignons).

II.5.1.Modélisation de la cinétique

L'application des modèles mathématiques préalablement cités dans le chapitre (II) sur les résultats de la cinétique permettaient la prédiction du mécanisme d'adsorption du jaune d'or sur les différents matériaux utilisés.

II.5.1.a.Modèle de pseudo premier ordre

Dans le souci d'approcher le plus possible le mécanisme réactionnel réel, le modèle de pseudo-premier ordre a été utilisé. L'application du modèle est illustrée sur la figure N°14.

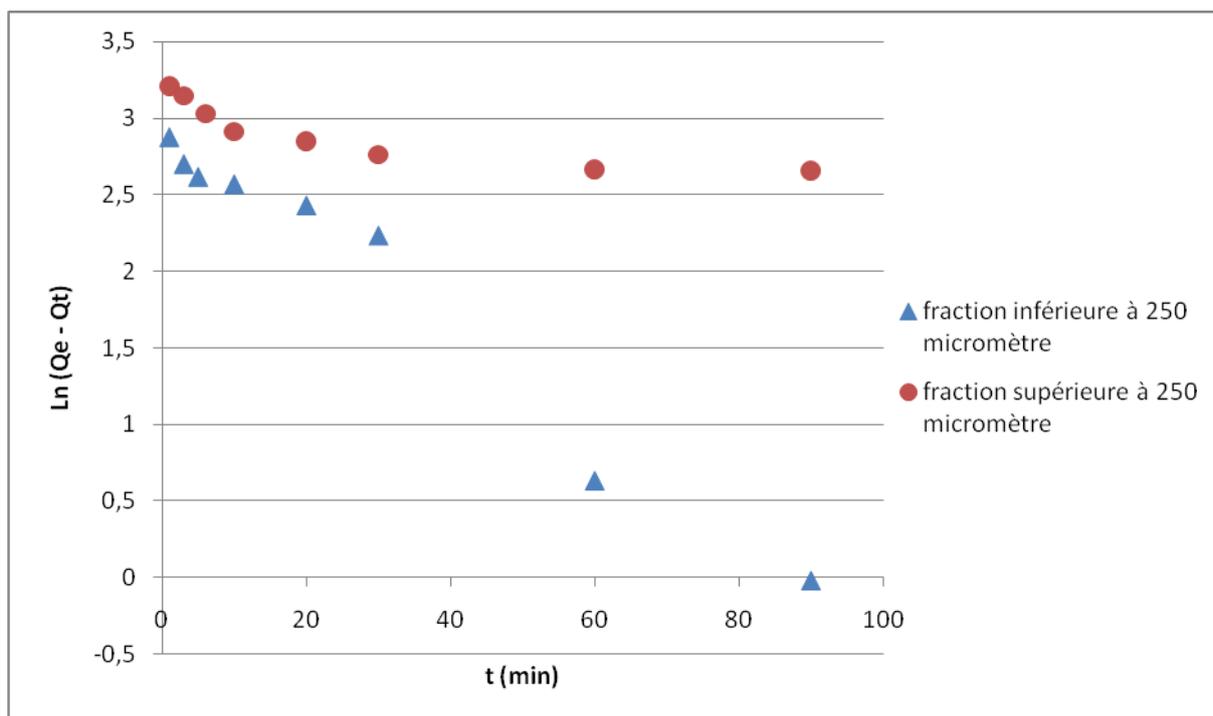


Figure N°14: Application du modèle pseudo-premier ordre à l'adsorption du jaune d'or.

Nous constatons que ce modèle n'est pas en bonne adéquation avec nos résultats car au lieu de droites nous obtenons des courbes. Les paramètres de linéarisation déterminés à partir de ces courbes sont regroupés dans le tableau suivant N°06.

Tableau N°06 : présentation des constantes du modèle pseudo premier ordre.

Matériau	Modèle pseudo-premier ordre					
	Q_e exp (mg/g)	Q_e cal (mg/g)	Equation	K_1 (min^{-1})	R^2	ERM (%)
F < 250 μm	31.09	18.45	$y = -0,0333x + 2,9155$	0.033	0.96	49
F > 250 μm	16.99	10.03	$y = -0,0658x + 2,3447$	0.065	0.98	13.55

Les valeurs sur le tableau confirment la non validité du modèle. Une différence considérable existe entre les quantités adsorbées expérimentales, Q_e exp, et calculées, Q_e cal. En plus et malgré un coefficient de détermination fort on remarque une erreur relative moyenne importante.

II.5.1.b. Modèle du pseudo second ordre

Le deuxième modèle appliqué est celui du pseudo second-ordre. Les paramètres de linéarisation figurent sur la figure N°15 et dans le tableau N°07.

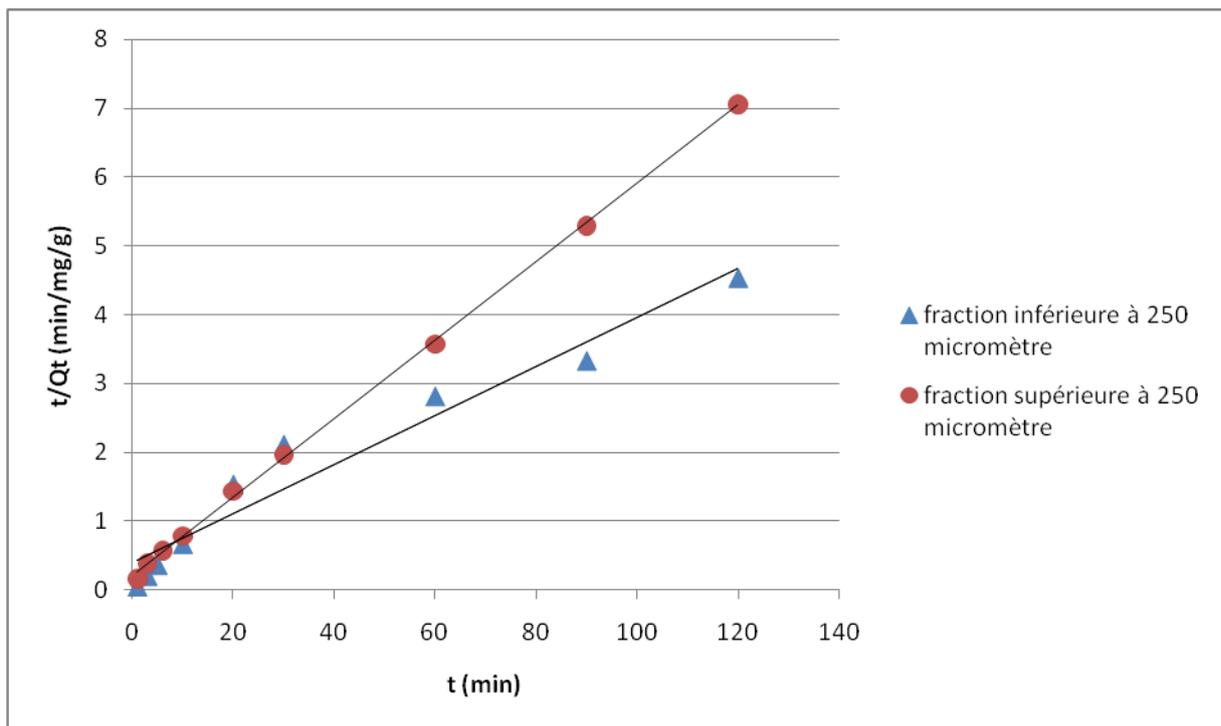


Figure N°15: Application du modèle de pseudo second ordre à l'adsorption du jaune d'or.

Tableau N°07 : constantes cinétique du modèle pseudo second ordre.

Matériau	Modèle pseudo-second ordre						
	Q_e exp (mg/g)	Q_e cal (mg/g)	Equation	h (mg/g. min)	K_2 (min^{-1})	R^2	ERM (%)
F < 250 μm	31.09	28.01	$y = 0,0357x + 0,3942$	25.36	0.032	0.94	31.48
F > 250 μm	16.99	17.57	$y = 0,0569x + 0,2067$	4.83	0.015	0.99	6.43

Les résultats montrent que l'adsorption du jaune d'or suit parfaitement le modèle de pseudo-second ordre. Les coefficients de détermination, R^2 , et l'erreur relative moyenne faible par rapport aux résultats du modèle de pseudo premier ordre. Ce modèle suggère que l'adsorption dépend du couple adsorbant-adsorbant. Il s'agit par ailleurs d'une physisorption quoique la contribution d'une chimisorption n'est pas à écarter.

En considérant la vitesse initiale d'adsorption, h (voir annexe), la fraction inférieure à 250 μm adsorbe plus rapide le jaune d'or que l'autre fraction supérieure à 250 μm .

II.6. Isothermes d'adsorption

Les isothermes d'adsorption du jaune d'or à 40°C, 50°C, par les deux fractions de notre lichen, sont représentées sur les figures N°16 qui illustrent la quantité adsorbée par gramme d'adsorbant, Q_e (mg/g), en fonction de la concentration du jaune d'or restant en solution à l'équilibre, C_e (mg/l).

II.6.1.a. La fraction inférieure à 250 μm .

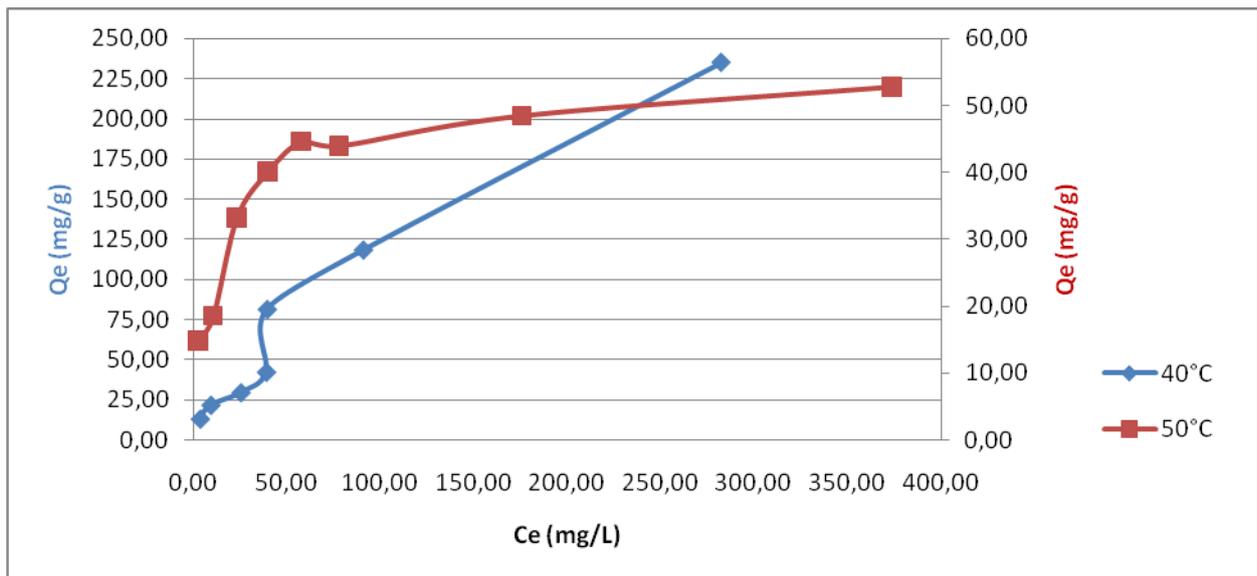


Figure N°16 : Isothermes d'adsorption du jaune d'or à 40°C et 50°C par la fraction inférieure à 250 μm .

Dans l'intervalle de température considéré, les isothermes mettent en évidence une diminution de la quantité adsorbée au fur et à mesure que la température augmente ce qui signifie que le processus mis en jeu est exothermique.

Les isothermes d'adsorption ont été classées par Giles et *al* (1960). En cinq principales classes. L'interprétation du mécanisme mis en jeu, associé à ces isothermes, est basée sur leur pente initiale et la forme de ces courbes aux fortes concentrations du soluté. En utilisant cette classification, l'isotherme expérimentale obtenue à 40°C est de type S. Dans ce type d'adsorption, il n'existe pas d'interaction entre les molécules adsorbées. Alors que celle obtenue à 50°C est de type H. Ce type d'isotherme est caractérisé par une pente décroissante au fur et à mesure que la concentration à l'équilibre augmente, vraisemblablement à cause de la diminution du nombre de sites d'adsorption vacants, suite au recouvrement progressif de la surface du matériau. Dans ce type d'adsorption, il n'existe pas d'interaction entre les molécules adsorbées.

II.6.1.b.La fraction supérieure à 250 μm

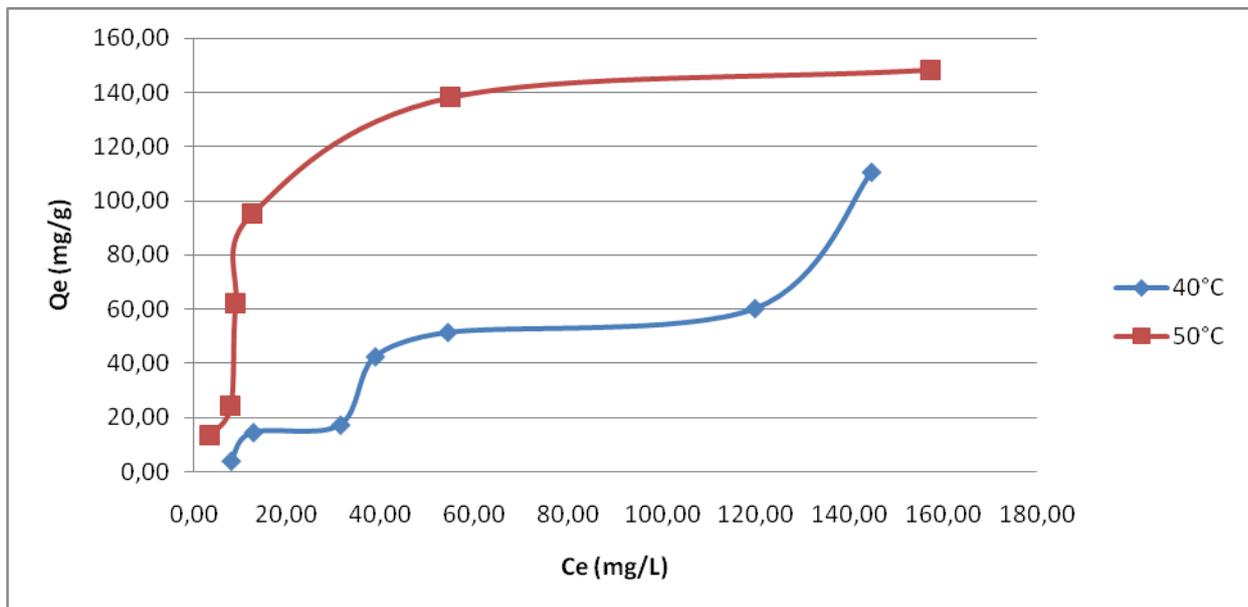


Figure N°17: Isothermes d'adsorption du jaune d'or à 40°C et 50°C par la fraction supérieure à 250 μm .

Les isothermes de sorption du jaune d'or par la fraction supérieure à 250 μm montrent une augmentation de la quantité adsorbée au fur et à mesure que la température augmente ce qui signifie que le processus mis en jeu est endothermique.

D'après la classification de Giles et *al* (1960), l'isotherme de 40°C est de type S. dans ce type l'adsorption devient progressivement plus facile lorsque la quantité adsorbée croît. L'explication proposée est qu'il existe un effet de synergie coopératif; les molécules adsorbées facilitent l'adsorption des molécules suivantes, à cause de l'attraction latérale. En revanche l'isotherme de 50°C est de type H. On rencontre ce type d'adsorption également dans certains cas d'échange d'ions. L'adsorption initiale du soluté dans les pores, produit vraisemblablement, une dilatation de ceux-ci, ce qui permet à d'autres molécules de pénétrer.

II.6.2.Description des isothermes d'adsorption

Les isothermes d'adsorption, nous permet de mieux comprendre la façon dont les molécules du jaune d'or adsorbées interagissent avec l'adsorbant (le lichen), lorsque le processus arrive à un état d'équilibre. Les isothermes d'adsorption donnent de nombreuses données physico-chimiques fondamentales pour estimer l'applicabilité du processus d'adsorption, exprimer les propriétés de surface de l'adsorbant et peuvent également être utilisé pour trouver la capacité maximale d'adsorption d'une masse (Senturk et al, 2010 in Boumchita et al, 2016). La

dernière étape de l'étude des isothermes consiste à modéliser la courbe, ou plus précisément, à rendre compte par une équation mathématique de l'ensemble de la courbe. Les modèles de Freundlich et de Langmuir sont les modèles les plus fréquemment utilisés pour décrire les données expérimentales d'isotherme d'adsorption, en raison de leur simplicité.

II.6.2.a. La fraction inférieure à 250 μm

Les paramètres obtenus de la modélisation des résultats expérimentaux des isothermes de sorption du jaune d'or par la fraction inférieure à 250 μm en utilisant les deux modèles de Langmuir et Freundlich sont regroupés dans le Tableau N°08 .

Tableau N°08 : Paramètres des isothermes d'adsorption du jaune d'or sur le lichen *PF* pour la fraction inférieure à 250 μm

matériau	T°C	Modèle de Langmuir				Modèle de Freundlich			
		K_L	Q_m	R^2	ERM%	K_f	n	R^2	ERM%
F<250 μm	40°C	0,05	80,65	0.88	36.78	4,93	1,48	0.93	20.85
	50°C	0,18	42,74	0.81	18.01	11,91	3,53	0.88	15.73

On se basant sur les coefficients de corrélation, ainsi que les ERM présentés dans le tableau ci-dessus, on peut dire que le modèle de Freundlich décrit mieux l'isotherme d'adsorption du jaune d'or sur la fraction inférieure à 250 μm . Le modèle d'isotherme de Freundlich suppose une hétérogénéité de la surface d'adsorption avec des sites de différentes énergies d'adsorption, ainsi que la possibilité de formation de multicouches des molécules adsorbées avec des interactions entre elles (**Freundlich, 1906 in Boumchita et al, 2016**).

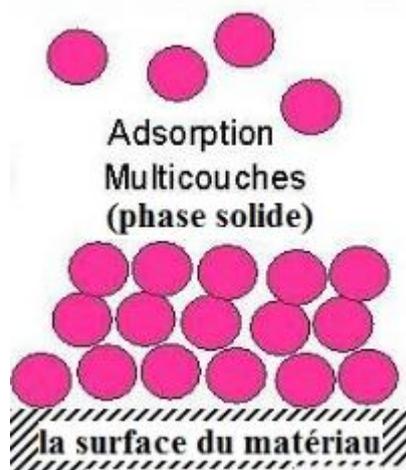


Figure N°18 : l'adsorption sur un solide selon Freundlich

II.6.2.b. La fraction supérieure à 250 μm

Les résultats de la linéarisation des modèles de Freundlich et de Langmuir pour la fraction supérieure à 250 μm sont représentés dans le tableau N°09.

Tableau N°09 : Paramètres des isothermes d'adsorption du jaune d'or sur le lichen *PF* pour la fraction supérieure à 250 μm

matériau	T°C	Modèle de Langmuir				Modèle de Freundlich			
		K_L	Q_m	R^2	ERM%	K_f	n	R^2	ERM%
F>250 μm	40°C	0,01	84,03	0.90	40.89	1,20	1,03	0.89	54.29
	50°C	0,0088	454,55	0.93	28.82	11,39	1,69	0.74	43.52

Les résultats enregistrés dans le Tableau ci-dessus montrent que dans tous les cas, les coefficients de corrélation obtenus par le modèle de Langmuir ainsi que les erreurs relatives moyennes sont supérieurs à ceux déterminés par le modèle Freundlich. On peut donc conclure que l'équation de Langmuir donne un meilleur ajustement des données expérimentales du jaune d'or par la fraction supérieure à 250 μm par rapport à la forme du modèle de Freundlich. Le modèle d'isotherme de Langmuir prévoit la formation d'une seule couche de molécules adsorbées (monocouche moléculaire) sur des sites spécifiques, et sans interaction entre elles (Freundlich, 1906 in Boumchita et al, 2016).

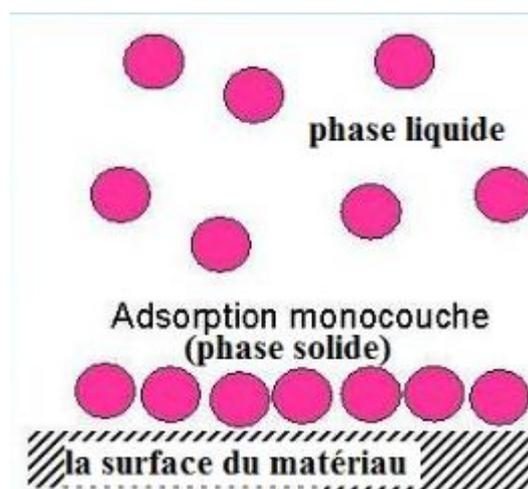


Figure N°19 : l'adsorption sur un solide selon Langmuir

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

L'objectif principal de notre travail, est l'utilisation d'un biosorbant naturel (lichen) et ceci en vue de l'utiliser comme supports naturels dans l'adsorption d'un colorant.

Dans un premier temps, d'une part nous avons étudié l'influence de divers paramètres comme la concentration initiale en colorant, le pH de la solution, le temps de contact, la température et la quantité en biosorbant pour le JO GL200.

Les résultats obtenus de la biosorption par les deux fractions de notre biosorbant sont comme suit :

1. La meilleure quantité adsorbée à l'équilibre est remarquée pour un rapport solide/liquide égale à 0.5 et cela pour toutes les fractions.
2. Le pH influence considérablement sur la rétention du jaune d'or GL 200 par les deux matériaux, la plus grande quantité adsorbée à l'équilibre est remarquée pour un pH=9.
3. Temps de contact pour atteindre l'équilibre d'adsorption du JO par nos matériaux est estimé de 50min (fraction < à 250 μ m) et 30min (fraction > à 250 μ m) mais elle est rapide pendant les premières minutes de réaction, aussi nous remarquerons que la quantité adsorbée par la fraction inférieure à 250 μ m est plus importante que celle adsorbée par la fraction supérieure à 250 μ m, l'adsorption du jaune d'or suit parfaitement le modèle de pseudo-second ordre. Ce dernier suggère qu'il s'agit d'une physiosorption.
4. Nous avons réalisé notre étude à 40°C, 50°C, pour les deux fractions de notre lichen, selon la classification de Giles et *al* (1960). Les isothermes expérimentales obtenue à 40°C sont de type S, Alors que celles obtenue à 50°C sont de type H et cela pour les deux fractions de notre biosorbant.
5. Les modèles de Freundlich et de Langmuir sont les modèles les plus fréquemment utilisés pour décrire les données expérimentales d'isotherme d'adsorption, en raison de leur simplicité. Le modèle de Freundlich décrit mieux l'isotherme d'adsorption du jaune d'or sur la fraction inférieure à 250 μ m. Par contre le modèle de Langmuir donne un meilleur ajustement des données expérimentales du jaune d'or par la fraction supérieure à 250 μ m.

Comme perspective, notre travail nécessite, pour être approfondie, une étude des grandeurs thermodynamiques ainsi que une caractérisation de nos matériaux (MEB, EDX, IR, BET).

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographique

- **AMROUCHE et AROURI**, Adsorption des colorants textiles sur le minerai du phosphate noir de Kef Es Sennoun (Tébessa, Algérie), mémoire de master, université de Bejaia, 2013 p15-16.
- **ARAR S**, adsorption du colorant jaune d'alizarine sur différents biomatériaux, mémoire de master, université d'Oum El Bouaghi ,2016 p 20.
- **ARRISS**, Etude Expérimentale de l'Elimination des Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Sous-Produits de Céréales, thèse du doctorat ,2008 p 30-31-32.
- **Bellahreche A et al**, Adsorption des colorants par la boue modifiée, Mémoire de master, Tiaret: Université Ibn Kheldoun-Tiaret, 2016, p24-26
- **BEN HAOUED**, biosorption d'un colorants en milieu aqueux sur différents déchets organique, mémoire de master, université de Ouargla, 2017 p9.
- **BENMEZIANE et LEHLLALI**, étude de phénomène d'adsorption de bleu de méthylène sur les coquilles des amandes, mémoire de master, université de Bejaia ,2017 p5-7.
- **BENOSMAN et BENGRIINE**, dépollution des eaux usées sur un support naturel chitosane –bentonite, mémoire de magistère, université de Tlemcen ,2011 p1-2-4-5-6-8-26.
- **BOUAZZA**, élimination des polluants organique par des argiles naturelles et modifiées, mémoire de magister, université de Tlemcen ,2012 p15.
- **Boumchita et al**, Elimination d'un colorant cationique dans une solution aqueuse par un déchet alimentaire : Epluchure de pomme de terre. *J. Mater. Environ. Sci*, 2016, vol 7, n°1, p 73-84. (ISSN: 2028-2508)
- **C. H. Giles, T.H. Mac Ewan, S.N. Makhwa, D.J. Smith, J. Chem. Soc. 93 (1960) 3973**

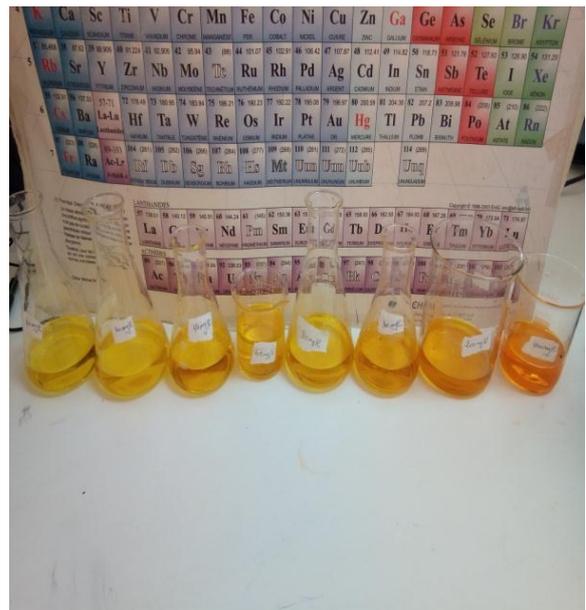
- **CHT, 2017. BEZACRYL GOLDEN YELLOW GL 200. 11.12.2017. document interne de l'entreprise (CHT group).**
- **Encyclopédie Larousse., 2009. la formation de substrats inhabituellement acides, radioactifs ou chargés en métaux toxiques.**
- **Guerfi Zet al, Impact de l'utilisation des boues résiduaires sur les propriétés physico-chimique des sols de la haute Vallée de la Medjerda Wilaya de Souk Ahras, Mémoire de magistère, Annaba: Université Badji-Mokhtar-Annaba, 2012, p23**
- **HADJBOUSSADA et ZOUAOUI, Biofilm à *E. coli* : application à la fixation d'un polluant, Mémoire de master, Tiaret: Université Ibn Kheldoun-Tiaret, 2015**
- **<http://www.afl-lichenologie.fr/> consulté le : 29/06/2019**
- **Jahns.H.M, Guide des fougères, mousses et lichens d'Europe, Delachaux et Niestlé SA, Paris, 1989,1996, pp28-182**
- **KHALFAOUI A, Etude Expérimentale de L'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels: Application aux Peaux d'Orange et de Banane, thèse de doctorat, Université mentouri de constantine, 2012, p50-52**
- **KRAZINI, élimination d'un colorant anionique par adsorption, mémoire de master, université de Mostaganem ,2014 p9.**
- **LOUDAH Hadjila, la pollution d'origine automobile dans la ville de Bejaia, mémoire de master, université de Bejaia ,2016 p3.**
- **LOUIS DE SCHREYER, 2009, les lichens, maquette du printemps des sciences évolution et révolution.**
- **MOUMENINE, élimination de polluants des eaux d'usines par adsorption sur charbon de chêne en combinaison avec un désinfectant, mémoire d'ingénieure d'Etat, université de Tlemcen ,2011 p5-6.**

Références bibliographique

- **NAIT MERZOUG N, Application des tiges de dattes dans l'adsorption de polluants organiques, Mémoire de magistère, Souk Ahras: Université Mohamed Cherif Massaadia- Souk-Ahras, 2014, p12-14**
- **SALMI et SLIMANI, Application de l'électroflottation électrocoagulation pour l'élimination d'un colorant textile Cas du Bleu d'indanthrène RS, mémoire de master, université de Bejaia ,2014 p4-5.**

ANNEXES

Annexe 01



Annexe 02: la formule mathématique de l'erreur relative moyenne

- L'erreur relative moyenne, Erm, est déterminée par la relation suivante:

$$\text{Erm}(\%) = \frac{100}{N_{\text{exp}}} \sum_0^{N_{\text{exp}}} \frac{|Q_{\text{exp}} - Q_{\text{cal}}|}{Q_{\text{exp}}}$$

La formule mathématique de la vitesse initiale d'adsorption h.

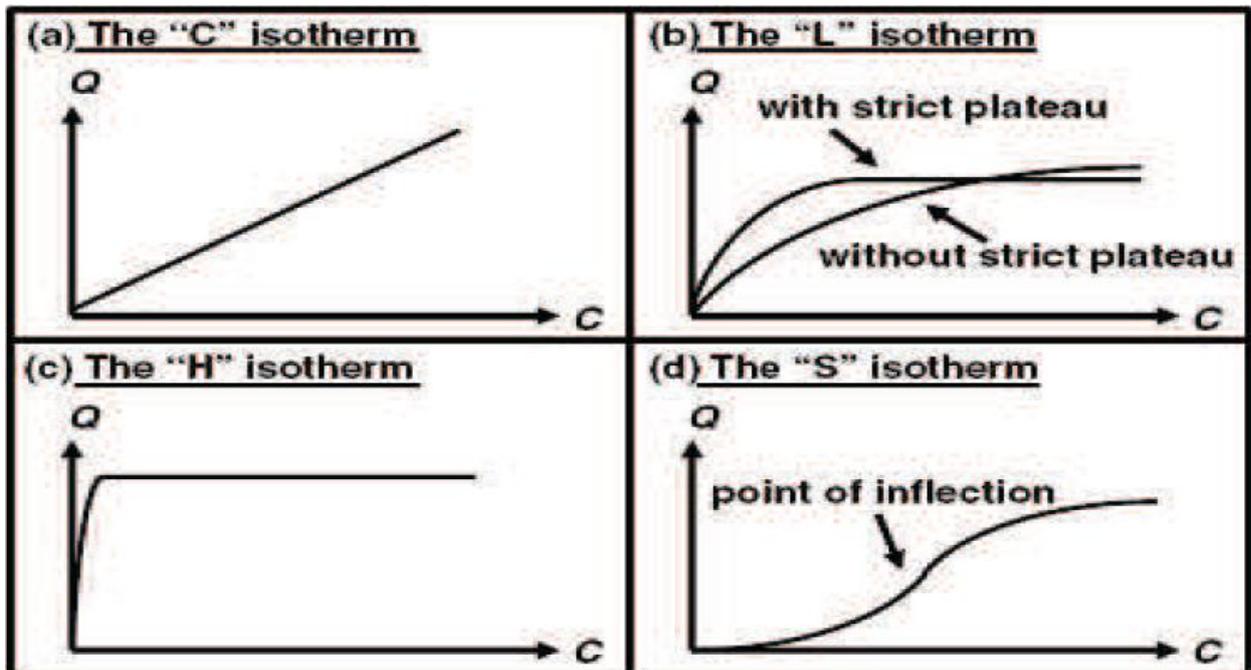
$$h = k_2 \cdot Q_e^2$$

Qe et k2 sont obtenus à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine du tracé linéaire de t/Qt en fonction de t

Modélisation des isothermes d'équilibre mono-soluté

De nombreuses modélisations sont utilisées et parfois développées dans la littérature, où les modèles distingués sont comme suit :

- les modèles à deux paramètres (Freundlich, Langmuir, Temkin, Elovich et Dubinin-Radushkevich)
- les modèles à trois paramètres (Langmuir-Freundlich, Langmuir généralisé, Tóth, Redlich-Peterson);
- les modèles à quatre paramètres ou plus



Les quatre types d'isothermes

Plusieurs auteurs, dont Giles et *al* (1960) ont proposé une classification des isothermes de sorption basée sur leur forme et sur leur pente initiale. Les revues de Hinz et de Limousin, présentent une synthèse plus ou moins détaillée de cette classification, en distinguant les formes d'isothermes suivantes:

- la forme H, dite de « haute affinité »,
- la forme L, dite de « Langmuir »,
- la forme C, dite de « partition constante »,
- la forme S, dite « sigmoïdale ».

Les formes L et H sont les plus courantes, notamment dans le cas de l'adsorption de composés organiques en solution aqueuse sur des charbons actifs.

La forme H est un cas particulier de la forme L, où la pente initiale est très élevée. C'est le cas quand le soluté exhibe une forte affinité pour le solide;

La forme L correspondrait plutôt aux faibles concentrations en soluté dans l'eau.

L'isotherme est de forme convexe, ce qui suggère une saturation progressive du solide.

Quand C_e tend vers zéro, la pente de l'isotherme est constante;

La forme S présente un point d'inflexion révélateur d'au moins deux mécanismes d'adsorption. C'est le cas, par exemple, quand une première couche de soluté est d'abord adsorbée puis quand l'adsorption d'une ou plusieurs couches supplémentaires devient favorisée;

La forme C est une droite passant par zéro ce qui signifie que le rapport q_e/C_e (appelé coefficient de distribution K_d) est constant. C'est souvent le cas de l'adsorption sur les argiles.