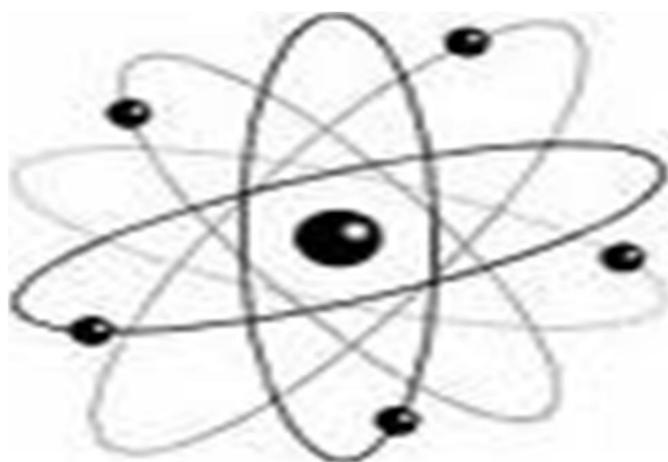




République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Med Khider Biskra  
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie



Département des Sciences de la Matière  
Domaine des Sciences de la Matière  
Filière Chimie



*Mémoire de Master en Chimie fondamentale et appliquée*  
*Intitulé :*  
*Etude qualitative et quantitative de l'adsorption d'un colorant organique*  
*sur le charbon actif*

*Présenté par :*  
*Messemeche Faiza*

*Devant le Jury Composé par :*

*Meghezzi Ahmed*

*Boukraa Aissam*

*Bounab Hassina*

*Président*

*Rapporteur*

*Examinatrice*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# Remerciements



*Le mémoire présenté ici est le résultat du travail effectué au sein des laboratoires de Chimie et de Physique de la faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie de l'université Mohamed Khider Biskra.*

*Dieu merci d'avoir fait de mon parcours de thème un parcours réussi et riche grâce à des personnes estimables que j'ai rencontrées et que je tiens à les remercier ici.*

*J'exprime d'abord ma profonde gratitude à Monsieur Boukraa Aissam, Maître Assistant (A) au département de Sciences de la matière, filière chimie à Biskra pour avoir encadré et dirigé scientifiquement, sa disponibilité, ses conseils et la confiance qu'il m'a accordée pour réaliser ce travail.*

*Je remercie chaleureusement M.Meghezzi Ahmed professeur au département de Sciences de la matière, filière chimie à la faculté SESNV de l'université de Biskra, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire, je suis sincèrement reconnaissante pour l'intérêt qu'il a porté au travail.*

*Je tiens à remercier aussi Madame Bounab Hassina, Maître Assistant (A) au département de Sciences de la matière, filière chimie à la faculté SESNV de l'université de Biskra d'avoir accepté de juger ce travail.*

*Je remercie aussi Madame Hayete Benmachiche, chef service du laboratoire de chimie pour sa disponibilité, son aide et surtout pour la réalisation des spectres FTIR, Sans oublier de remercier tous les techniciens et les ingénieurs de laboratoire de chimie.*

*Je n'oublierai jamais l'aide offert par les techniciens du laboratoire d'agronomie au cours de réalisation des travaux concernant l'étude effectuée par le spectrophotomètre à gamme visible.*

*Je tiens également à saluer tous mes collègues rencontrés au cours de ces années passées et qui ont contribué à la bonne ambiance.*

*Enfin, et surtout, j'aimerais remercier tous les membres de ma famille : mes parents, mes frères et mes sœurs, pour leur soutien tout au long de ces années.*



# *Dédicace*



*J'offre ce modeste travail :*

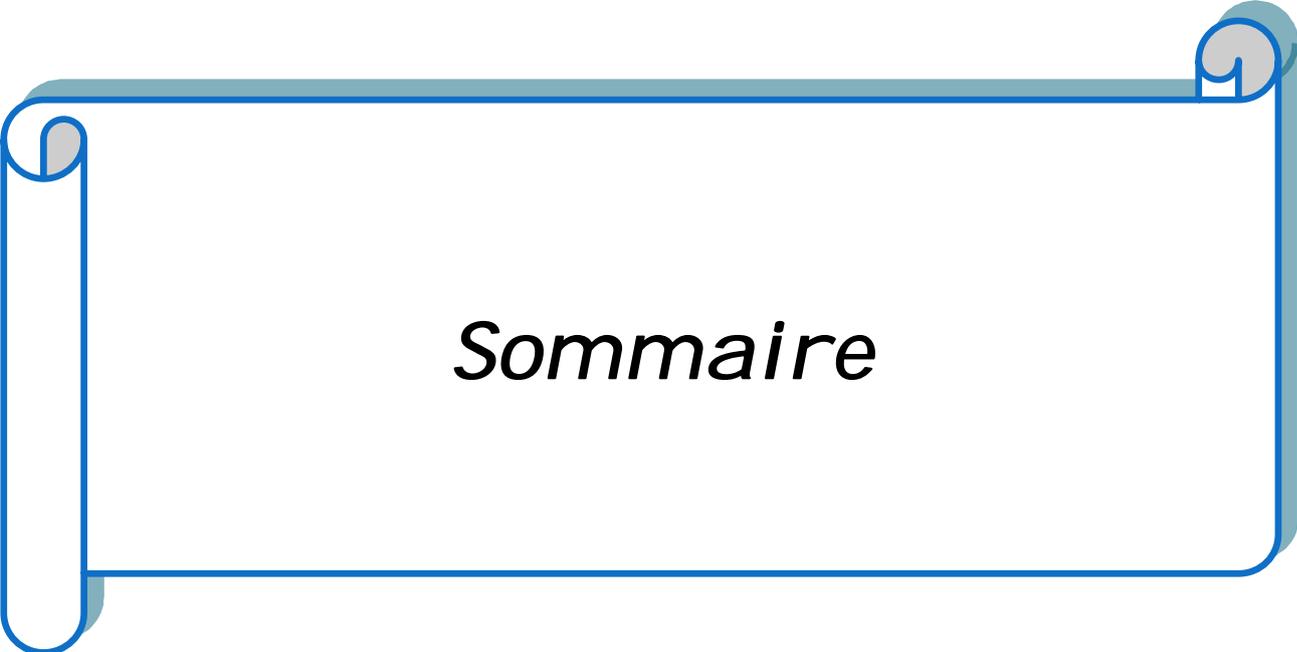
*A ceux qui m'ont mis au monde, que je respecte et qui  
m'honorent, ma mère et mon père.*

*A mes chers frères et sœurs,*

*A tous mes amis, ils sont nombreux ils se reconnaîtront  
sûrement*

*A tous ceux qui m'ont encouragés tout au long de mes  
études.*

*A tous mes professeurs de l'université Mohamed Khider  
à Biskra.*



*Sommaire*

# Sommaire

Liste des tableaux.

Liste des figures.

<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Etude bibliographique</b> .....	<b>2</b>
<b>I.1.Les colorants</b> .....	<b>2</b>
I.1.1.Historique des colorants .....	<b>2</b>
I.1.2.Les colorants .....	<b>2</b>
I.1.2.1. Généralités .....	<b>2</b>
I.1.3.Classification des colorants .....	<b>3</b>
I.1.3.1. Classification chimique.....	<b>3</b>
I.1.3.1.1. Les colorants azoïques .....	<b>4</b>
I.1.3.1.2. Les colorants triphénylméthanés.....	<b>4</b>
I.1.3.1.3.Les colorants indigoïdes .....	<b>4</b>
I.1.3.1.4. Les colorants xanthènes.....	<b>5</b>
I.1.3.1.5. Les colorants anthraquinoniques.....	<b>5</b>
I.1.3.1.6. Les phtalocyanines.....	<b>6</b>
I.1.3.1.7.Les colorants nitrés et nitrosés .....	<b>6</b>
I.1.3.2. Classification tinctoriale.....	<b>7</b>
I.1.3.2.1. Les colorants acides ou anioniques.....	<b>7</b>
I.1.3.2.2.Les colorants basiques ou cationiques .....	<b>7</b>
I.1.3.2.3. Les colorants développés ou azoïques insolubles .....	<b>7</b>
I.1.3.2.4. Les colorants de cuve.....	<b>8</b>
I.1.3.2.5. Les colorants réactifs .....	<b>8</b>
I.1.3.2.6. Les colorants directs .....	<b>8</b>
I.1.3.2.7. Les colorants à mordants .....	<b>9</b>
I.1.3.2.8. Les colorants dispersés .....	<b>9</b>

# Sommaire

---

<b>I.2.L'Adsorption</b> .....	10
I.2.1.Le phénomène d'adsorption .....	10
I.2.1.1.Adsorption chimique (ou chimisorption) .....	10
I.2.1.2.Adsorption physique (ou physisorption).....	10
I.2.2.Description du mécanisme d'adsorption .....	11
I.2.3. Facteurs influencent sur l'équilibre d'adsorption .....	12
I.2.3.1.Surface spécifique.....	12
I.2.3.2.Porosité .....	13
I.2.3.3.Nature de l'adsorbat .....	13
I.2.3.4.Polarité .....	13
I.2.3.5.Température .....	13
I.2.4.Isothermes d'adsorption .....	13
I.2.5. Classification des isothermes d'adsorption.....	13
I.2.5.1.Classe L.....	14
I.2.5.2.Classe S .....	14
I.2.5.3.Classe H .....	15
I.2.5.4.Classe C.....	15
<b>Chapitre II : Caractérisation des objets de recherche</b> .....	16
II.1.Les méthodes d'analyses .....	16
II.1.1. La spectroscopie infrarouge (IR) .....	16
II.1.1.1.Principe et Fonctionnement du spectromètre FT-IR de la Transformée de Fourier .....	16
II.1.2. La spectroscopie UV- visible .....	18
II.2.Les réactifs utilisés .....	18
II.2.1.Bleu de méthylène .....	18
II.2.1.1.Définition.....	18
II.2.1.2.Utilisation .....	19
II.2.1.3.Dangers .....	19
II.2.1.4.Caractérisation du bleu de méthylène par spectroscopie IR.....	20
II.2.2.Charbon actif.....	21
II.2.2.1.Origine et fabrication du charbon actif.....	21
II.2.2.1.1.Fabrication du charbon actif .....	21
a. Carbonisation .....	21
b. Activation.....	22

# Sommaire

---

II.2.2.2.Les types de charbon actif .....	22
II.2.2.2.1.Le charbon actif en poudre (CAP).....	22
II.2.2.2.2.Le charbon actif en grain (CAG) .....	22
II.2.2.3.Texture du charbon actif.....	23
II.2.2.4.Surface spécifique d'un adsorbant .....	23
II.2.2.5.Propriétés superficielles du charbon actif.....	24
II.2.2.6.Domaines d'utilisation des charbons actifs .....	24
II.2.2.6.1.Filtration .....	24
II.2.2.6.2.Chimie .....	25
II.2.2.6.3.Industrie.....	25
II.2.2.6.4.Médecine .....	25
II.2.2.7.Caractérisation du charbon actif par spectroscopie IR .....	26
<b>Chapitre III:Etude qualitative et quantitative de l'adsorption .....</b>	<b>28</b>
III.1.Etude qualitative de l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif.....	28
III.2.Etude quantitative de l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif.....	32
III.2.1.Préparation des solutions .....	32
III.2.2.Dosage de bleu de méthylène .....	32
III.2.3.Influence du temps de contact sur l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif.....	32
III.2.4.Influence de concentration initiale de colorant sur l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif .....	33
III.2.5.Influence de pH sur l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif.....	34
III.2.6.Influence de température sur l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif.....	35
III.3.Modèles d'isothermes.....	36
III.3.1.Isotherme de Langmuir .....	36
III.3.2.Isotherme de Freundlich .....	37
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>40</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>41</b>

# Liste des tableaux

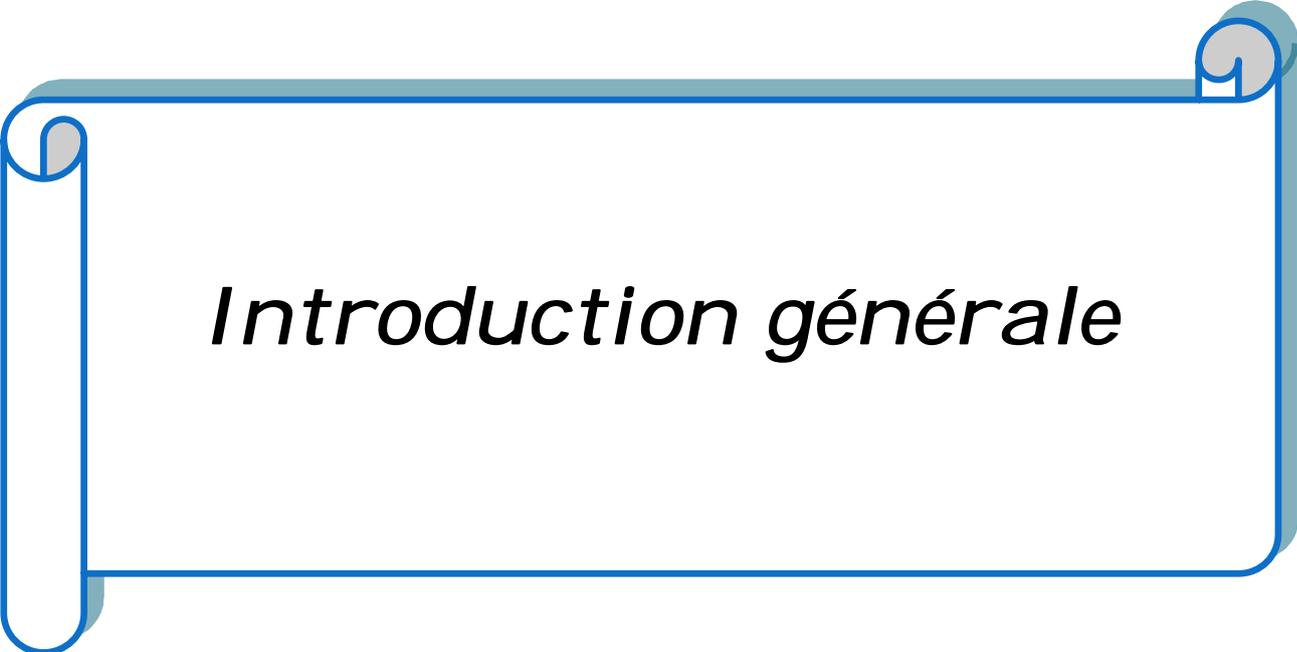
Tableaux	Page
<b>Tableau I.1:</b> Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante.	<b>3</b>
<b>Tableau I.2 :</b> Distinction entre l'adsorption physique et chimique	<b>11</b>
<b>Tableau II.1:</b> Caractéristiques du bleu de méthylène.	<b>19</b>
<b>Tableau II.2:</b> Comparaison entre les fréquences calculées du bleu de méthylène.	<b>20</b>
<b>Tableau III.1 :</b> données du modèle de Langmuir.	<b>38</b>
<b>Tableau III.2 :</b> données du modèle de Freundlich.	<b>38</b>
<b>Tableau III.3 :</b> Comparaison entre les coefficients de corrélation $R^2$ des deux modèles.	<b>39</b>

# Liste des figures

Figure	Page
<b>Figure I.1</b> : Structure de l'indigo 2-(1,3-dihydro-3-oxo-2H-indole-2-ylidène)-1,2-dihydro-3H-indole-3-one (nom IUPAC).	<b>5</b>
<b>Figure I.2</b> : Structure moléculaire d'un colorant xanthène.	<b>5</b>
<b>Figure I.3</b> : La molécule anthraquinone (9,10- dihydro -9,10- dioxoanthracène, dérivé de l'anthracène).	<b>6</b>
<b>Figure I.4</b> : Structure de phtalocyanine. Exemple : phtalocyanine d de cuivre.	<b>6</b>
<b>Figure I.5</b> : Structure moléculaire d'un colorant nitré et nitrosé.	<b>6</b>
<b>Figure I.6</b> : Formation du colorant azoïque sur la fibre.	<b>7</b>
<b>Figure I.7</b> : Les groupes réactifs du colorant réactif.	<b>8</b>
<b>Figure I.8</b> : Comportement du colorant direct en présence des fibres.	<b>9</b>
<b>Figure I.9</b> : Comportement du colorant à mordant en présence du textile.	<b>9</b>
<b>Figure I.10</b> : Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux.	<b>12</b>
<b>Figure I.11</b> : Mécanisme du transport d'un adsorbat au sein d'un grain du solide 1-diffusion externe; 2-diffusion interne (dans les pores); 3-migration en surface.	<b>12</b>
<b>Figure I.12</b> : Classification des isothermes d'adsorption selon Giles et al.	<b>15</b>
<b>Figure II.1</b> : Schéma de principe d'un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier.	<b>17</b>
<b>Figure II.2</b> : Spectromètre infrarouge FTIR.	<b>17</b>
<b>Figure II.3</b> : Spectrophotomètre UV/visible.	<b>18</b>
<b>Figure II.4</b> : Structure chimique du bleu de méthylène.	<b>19</b>
<b>Figure II. 5</b> : Le spectre FT-IR du bleu de méthylène.	<b>20</b>
<b>Figure II.6</b> : Structure du charbon actif.	<b>21</b>
<b>Figure II.7</b> : Représentation schématique de la surface interne et externe d'un charbon actif.	<b>24</b>
<b>Figure II.8</b> : Spectre FT-IR du charbon actif pur.	<b>27</b>
<b>Figure III.1</b> : Spectre FTIR de charbon actif en poudre traité par le bleu de méthylène.	<b>29</b>

## Liste des figures

<b>Figure III.2:</b> Spectre FTIR de charbon actif en poudre traité par le bleu de méthylène.	<b>30</b>
<b>Figure III.3:</b> Spectre FTIR de charbon actif en poudre traité par le bleu de méthylène.	<b>31</b>
<b>Figure III.4:</b> Courbe d'étalonnage.	<b>32</b>
<b>Figure III.5:</b> Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif : $C=10^{-4}$ mol/l, pH=6, T=25°C.	<b>33</b>
<b>Figure III.6:</b> Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif : $C=10^{-5}$ mol/l, pH=6, T=25°C.	<b>33</b>
<b>Figure III.7:</b> Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif en fonction de concentration initiale. $C=10^{-5}$ mol/l, pH=6, T=25°C.	<b>34</b>
<b>Figure III.8:</b> Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif en fonction de pH. $C=10^{-5}$ mol/l, pH=6.	<b>35</b>
<b>Figure III.9:</b> Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif en fonction de température. $C=10^{-5}$ mol/l, pH=6.	<b>36</b>
<b>Figure III.10:</b> Isotherme de Langmuir.	<b>38</b>
<b>Figure III.11:</b> Isotherme de Freundlich.	<b>39</b>



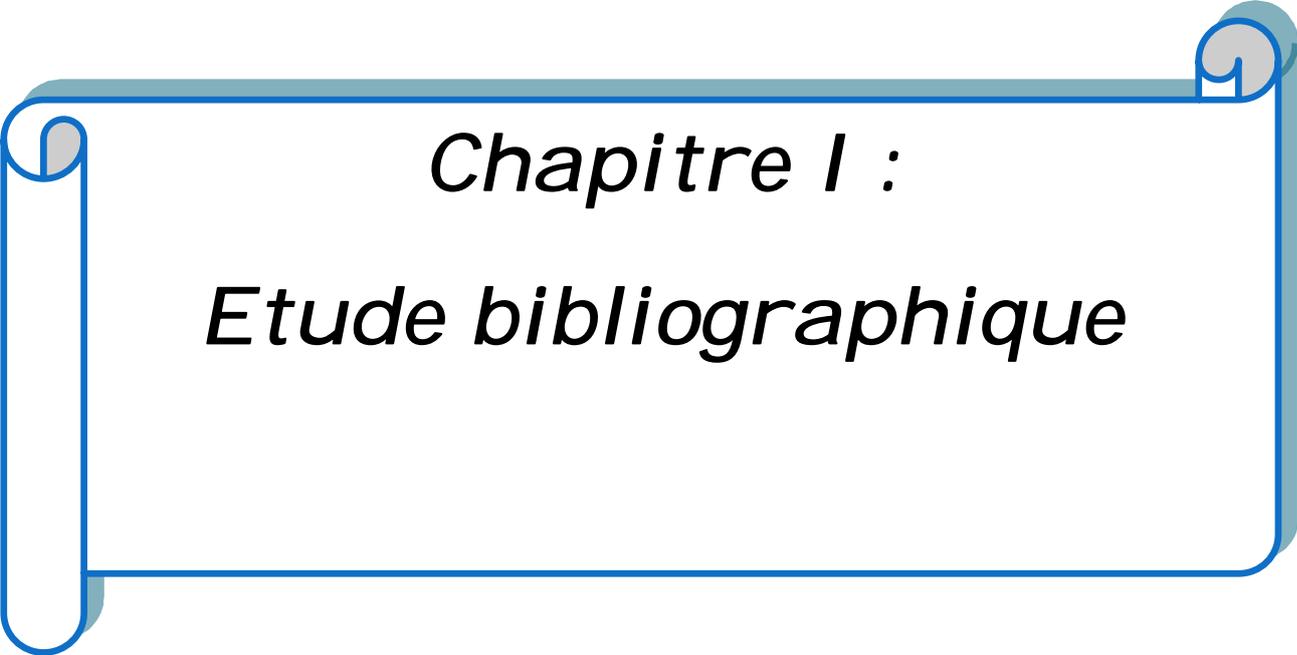
*Introduction générale*

# Introduction générale

L'utilisation accrue de certains produits chimiques d'origine industrielle (colorants, détergents, hydrocarbures, engrais, pesticides) ou médicales (antipaludéens, antibiotiques, analgésiques, etc.) est à la base de nombreux cas de pollution des eaux, des sols, de l'air ou d'intoxication accidentelles ou volontaires, et, suscite à l'heure actuelle une attention particulière à l'échelle mondiale. On assiste aujourd'hui de plus en plus à de nombreux cas d'altérations des écosystèmes et à des problèmes de santé publique pouvant conduire à l'élimination des espèces vivantes (végétaux, animaux, hommes).

De nombreux scientifiques des différentes disciplines s'intéressent, de plus en plus, à l'identification et à l'élimination des polluants de l'environnement. A cet effet, on recourt souvent à l'adsorption sur charbon actif, notamment pour l'élimination des produits toxiques, des micropolluants ou inorganiques de l'eau, la décoloration des huiles végétale et la purification de nombreux produits.

L'objet de ce travail est, dans un premier temps, de caractériser l'adsorbant qui est le charbon actif et l'adsorbat qui n'est d'autre que le bleu de méthylène. Dans un deuxième temps, d'étudier l'adsorption de bleu de méthylène, sur le charbon actif tout en focalisant notre intérêt sur les facteurs qui ont grande influence sur le phénomène en question pour élucider son mécanisme.



*Chapitre I :*  
*Etude bibliographique*

## I.1. Les colorants

### I.1.1. Historique des colorants

Depuis le début de l'humanité, les colorants ont été appliqués dans pratiquement toutes les sphères de notre vie quotidienne pour la peinture et la teinture du papier, de la peau et des vêtements, etc. Jusqu'à la moitié du 19<sup>ème</sup> siècle, les colorants appliqués étaient d'origine naturelle. Des pigments inorganiques tels que l'oxyde de manganèse, l'hématite et l'encre étaient utilisés. Par ailleurs, des colorants naturels organiques ont été appliqués, surtout dans l'industrie textile. Ces colorants sont tous des composés aromatiques qui proviennent essentiellement des plantes, telles que l'alizarine et l'indigo.

L'industrie des colorants synthétiques est née en 1856 quand le chimiste anglais William Henry Perkin, dans une tentative de synthèse de la quinine artificielle pour soigner la malaria, a obtenu la première matière colorante synthétique qu'il appela « mauve » (aniline, colorant basique). Perkin a breveté son invention et il a installé une chaîne de production, qui serait bientôt suivie par d'autres. De nouveaux colorants synthétiques commencent à paraître sur le marché. Ce processus a été stimulé par la découverte de la structure moléculaire du benzène en 1865 par Kekulé. En conséquence, au début du 20<sup>ème</sup> siècle, les colorants synthétiques ont presque complètement supplantés les colorants naturels [1].

### I.1.2. Les colorants

Un colorant est défini comme étant un produit capable de teindre une substance d'une manière durable. Il possède des groupements qui lui confèrent la couleur: appelés chromophores et des groupements qui permettent sa fixation: auxochromes.

#### I.1.2.1. Généralités

Un colorant doit posséder, outre sa couleur propre, la propriété de teindre. Cette propriété résultant d'une affinité particulière entre le colorant et la fibre, est à l'origine des principales difficultés rencontrées lors des traitements. En effet, selon le type d'application et d'utilisation, les colorants synthétiques doivent répondre à un certain nombre de critères afin de prolonger la durée de vie des produits textiles sur lesquels ils sont appliqués: résistance à l'abrasion, stabilité photolytique des couleurs, résistance à l'oxydation chimique (notamment par les détergents) et aux attaques microbiennes.

L'affinité du colorant pour la fibre est particulièrement développée pour les colorants qui possèdent un caractère acide ou basique accentué. Ces caractéristiques propres aux

# Chapitre I: Etude bibliographique

colorants organiques accroissent leur persistance dans l'environnement et les rendent peu disposés à la biodégradation [2].

Les matières colorantes se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 380 à 750 nm). La transformation de la lumière blanche en lumière colorée par réflexion sur un corps, ou par transmission ou diffusion, résulte de l'absorption sélective d'énergie par certains groupes d'atomes appelés groupes chromophores.

La molécule colorante est un chromogène [3]. Plus le groupement chromophore donne facilement un électron, plus la couleur est intense. (Voir **Tableau I.1**; groupes chromophores classés par intensité décroissante).

De manière générale, les colorants consistent en un assemblage de groupes chromophores, auxochromes et de structures aromatiques conjuguées (cycles benzéniques, anthracène, perylène, etc). Lorsque le nombre de noyaux aromatiques augmente, la conjugaison des doubles liaisons s'accroît. L'énergie des liaisons p diminue tandis que l'activité des électrons  $\pi$  ou n augmente et produit un déplacement vers les grandes longueurs d'onde. De même, lorsqu'un groupe auxochrome donneur d'électrons (amino, hydroxy, alkoxy...) est placé sur un système aromatique conjugué, ce groupe se joint à la conjugaison du système p, il peut y avoir hyperconjugaison et la molécule absorbe dans les grandes longueurs d'onde et donne des couleurs plus foncées [4].

**Tableau I.1:** Principaux groupements chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante.

Groupements chromophores	Groupements auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH <sub>2</sub> )
Nitroso (-NO ou -N-OH)	Méthylamino (-NHCH <sub>3</sub> )
Carbonyl (>C=O)	Diméthylamino (-N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
Vinyl (-C=C-)	Hydroxyl (-HO)
Nitro (-NO <sub>2</sub> ou =NO-OH)	Alkoxyl (-OR)
Sulphure (>C=S)	Groupements donneurs d'électrons

## I.1.3. Classification des colorants

Les principes de classification les plus couramment rencontrés dans les industries textiles, sont basés sur les structures chimiques des colorants synthétiques et sur les méthodes d'application aux différents substrats (textiles, papier, cuir, matières plastiques, etc.).

### I.1.3.1 Classification chimique

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore (**Tableau I.1**).

## I.1.3.1.1. Les colorants azoïques

C'est en 1863 que Mitscherlich découvre l'azobenzène  $C_6H_5-N=N-C_6H_5$ , mais c'est Peter Griess qui effectue les premiers travaux systématiques à partir de 1858 en donnant la méthode de préparation très générale de ces produits.

Le groupement chromophore ( $-N=N-$ ) a été découvert par P.Griess en 1858 [5]. Suivant le nombre de chromophores « *azo* » rencontrés dans la molécule, on distingue les mono-azoïques, les di-azoïques et les polyazoïques.

Les colorants azoïques sont caractérisés par la présence au sein de la molécule d'un groupement azoïque ( $-N=N-$ ) reliant deux noyaux benzéniques. Cette catégorie de colorants est actuellement la plus répondeuse sur le plan de l'application, puisqu'ils représentent plus de 50% de la production mondiale de matières colorantes [6,7]. Les colorants azoïques se répartissent en plusieurs catégories ; les colorants basiques, acides, directs et réactifs solubles dans l'eau, et les azoïques dispersés et à mordant non-ioniques insolubles dans l'eau.

On estime que 10-15% des quantités initiales sont perdues durant les procédures de teinture et sont évacuées sans traitement préalable dans les effluents [7]. Or ces composés organiques cancérigènes sont réfractaires aux procédés de traitements habituellement mis en œuvre et sont très résistants à la biodégradation [2].

## I.1.3.1.2. Les colorants triphénylméthanes

Les colorants triphénylméthanes dérivent du triphénylméthane, qui est un hydrocarbure possédant trois cycles phényle liés à un carbone central. On retrouve cette structure de base dans un grand nombre de composés organiques colorés. Les colorants triphénylméthanes et leurs dérivés hétérocycliques constituent la plus ancienne classe de colorants synthétiques. Actuellement bien moins importants que les colorants azoïques et anthraquinoniques, ils ont conservé une certaine valeur commerciale, car ils permettent de couvrir la totalité de la gamme de nuances. Les triphénylméthanes sont utilisés intensivement dans les industries papetières et textiles pour teindre le nylon, la laine, la soie et le coton. Leur utilisation ne se limite pas à l'industrie. On les retrouve également dans le domaine médical comme marqueur biologique et comme agent antifongique chez les poissons et la volaille.

## I.1.3.1.3. Les colorants indigoïdes

Les colorants indigoïdes tirent leur appellation de l'indigo dont ils dérivent. Ainsi, les homologues sélénisés, soufrés et oxygénés du bleu indigo provoquent d'importants effets hypsochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise.

Un colorant indigoïde est celui dont la coloration est une variante de l'indigo

(bleu-violet). Les colorants indigoïdes sont utilisés comme colorants textiles, comme additifs en produits pharmaceutiques en confiserie, ainsi que dans les diagnostics médecine [8].

Le plus important des colorants indigoïdes est l'indigo lui-même, qui a la structure suivante : (Figure I.1)

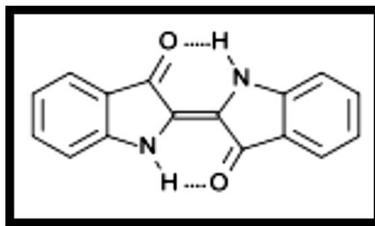


Figure I.1 : Structure de l'indigo

2-(1,3-dihydro-3-oxo-2H-indole-2-ylidène)-1,2-dihydro-3H-indole-3-one (nom IUPAC).

#### I.1.3.1.4. Les colorants xanthènes

Ce sont des composés qui constituent les dérivés de la fluorescéine. Ils sont dotés d'une intense fluorescence. Peu utilisés en tant que teinture, leur faculté de marqueurs lors d'accidents maritimes ou de traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines est malgré tout bien établie. Ils sont aussi utilisés comme colorants alimentaires, cosmétiques, textiles et impression [9,10]. (Figure I.2)

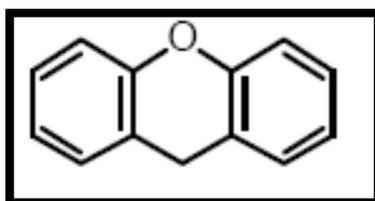
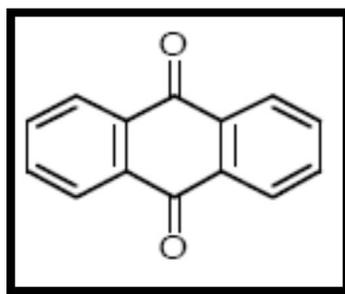


Figure I.2 : Structure moléculaire d'un colorant xanthène.

#### I.1.3.1.5. Les colorants anthraquinoniques

Les colorants anthraquinoniques sont d'un point de vue commercial, les plus importants, après les colorants azoïques. Leur formule générale dérivée de l'anthracène montre que le chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amino. Ces produits sont utilisés pour la coloration des fibres polyester, acétate et tri acétate de cellulose. Ils constituent en effet la classe de colorants présentant la plupart du temps les meilleures stabilités à la lumière et aux agents chimiques.

La molécule de base de ce groupe de colorants est l'anthraquinone qui présente le groupe chromophore carbonyle ( $>C=O$ ) sur un noyau quinonique, qui est le chromogène [11]. (Figure I.3)

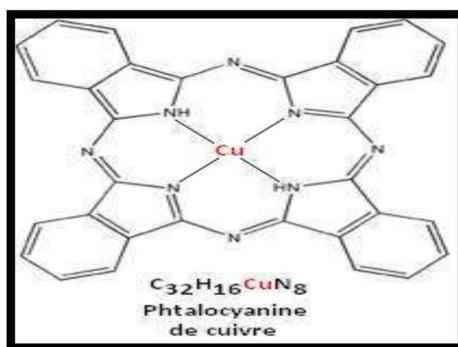


**Figure I.3:** La molécule anthraquinone

(9,10- dihydro -9,10- dioxoanthracène, dérivé de l'anthracène).

### I.1.3.1.6. Les phtalocyanines

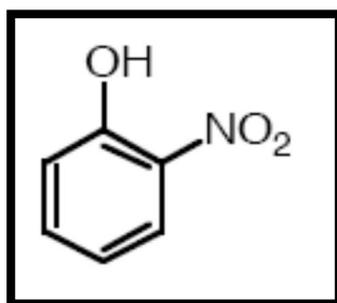
Ont une structure complexe basée sur l'atome central de cuivre. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.). Parmi les phtalocyanines, le colorant le plus utilisé est la phtalocyanine de cuivre, qui est le plus stable. Les applications les plus importantes concernent le domaine des pigments [11]. (**Figure I.4**)



**Figure I.4 :** Structure de phtalocyanine. Exemple : phtalocyanine d de cuivre.

### I.1.3.1.7. Les colorants nitrés et nitrosés

Ils forment une classe de colorants très limitée en nombre et relativement ancienne. Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe nitro (-NO<sub>2</sub>) en position ortho d'un groupement électro-donneur (hydroxyle ou groupes aminés). (**Figure I.5**)



**Figure I.5:** Structure moléculaire d'un colorant nitré et nitrosé.

## I.1.3.2. Classification tinctoriale

Si la classification chimique présente un intérêt pour le fabricant 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. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes.

### I.1.3.2.1. Les colorants acides ou anioniques

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

### I.1.3.2.2. 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. En phase de disparaître dans la teinture de la laine et de la soie, ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur lesquelles ils permettent des nuances très vives et résistantes.

### I.1.3.2.3. Les colorants développés ou azoïques insolubles

Les colorants développés ou azoïques insolubles sont formés directement sur le fibre. Au cours d'une première étape, le support textile est imprégné d'une solution de naphtol (copulant). Les précurseurs de la molécule suffisamment petits pour diffuser dans les pores et les fibres sont ensuite traités avec une solution de sel de diazonium qui, par réaction de copulation entraîne le développement immédiat du colorant azoïque. (Figure I.6)

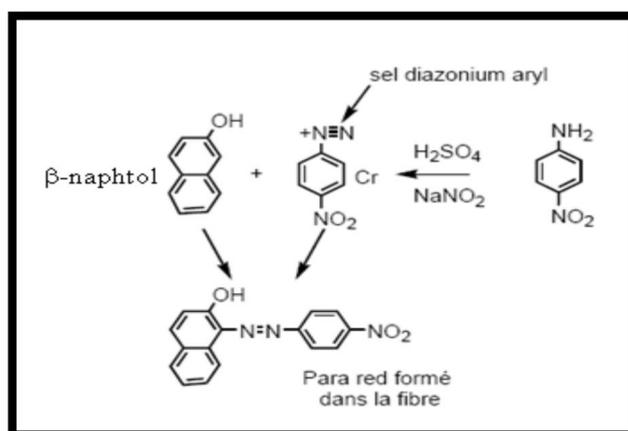


Figure I.6: Formation du colorant azoïque sur le fibre.

## I.1.3.2.4. Les colorants de cuve

Les colorants de cuve sont des colorants insolubles dans l'eau. Cependant, sous l'action d'un réducteur, le dithionite de sodium ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ), un colorant de cuve donne son leuco-dérivé c'est-à-dire le produit de réduction incolore ou blanc et soluble dans l'eau. Le leuco-dérivé présente une affinité pour certaines fibres textiles telles que le coton, le lin, la laine et la soie. Par oxydation à l'air ou à l'aide d'un agent oxydant, le colorant initial insoluble dans l'eau est régénéré au sein de la fibre.

Les colorants de cuve appartiennent à la classe chimique des anthraquinones et à celle des indigoïdes, leurs qualités de résistance notamment en font un des groupes les plus importants des colorants synthétiques [5]. Quelques colorants de cuve ont trouvé une place parmi les pigments de l'industrie des vernis, en raison de leur grande stabilité à la lumière [12].

## I.1.3.2.5. Les colorants réactifs

Les colorants réactifs constituent la dernière classe de colorant apparue sur le marché. Leur utilisation est très importante, notamment dans le domaine de l'habillement (la solidité à la lumière n'est suffisante que pour des applications en ameublement).

Ce sont des colorants de synthèse constitués d'une partie colorante chromogène (groupe chromophore) sur laquelle est (sont) fixé(s) un (ou plusieurs) groupement (s) réactif(s) électrophile(s) destiné(s) à former une liaison chimique stable, covalente, solide avec les fonctions hydroxyles de la cellulose et les  $\text{NH}_2$  et  $\text{NH}$  des polyamides, voire plus rarement avec les fonctions amines ou sulfures des protéines de la laine [13]. La réaction entre le colorant et la cellulose est obtenue par l'action d'un agent alcalin (soude caustique, carbonate de sodium,...etc.) qui absorbe l'atome ou le groupement réactif électronégatif du colorant pendant que l'ion coloré se lie à la cellulose [14].

Ces colorants ont les structures suivantes : (Figure I.7)

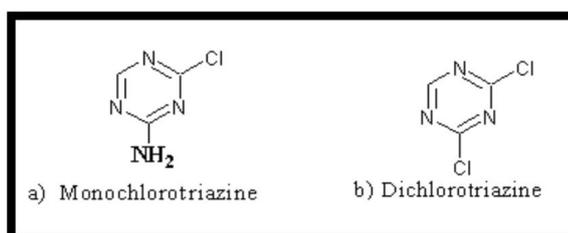


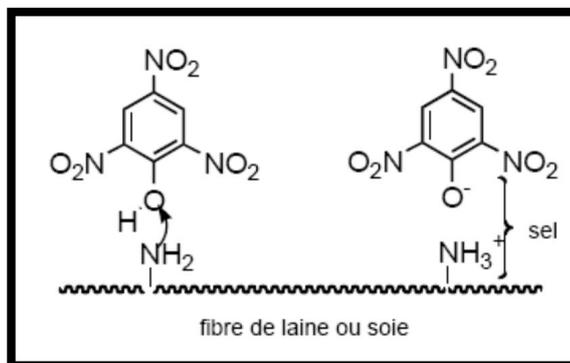
Figure I.7: Les groupes réactifs du colorant réactif.

## I.1.3.2.6. Les colorants directs

Ce sont des colorants à caractères anioniques ( $\text{R-SO}_3\text{Na}$ ) ; ils sont solubles dans l'eau et utilisés en solution aqueuse. La solubilité de ces colorants dans l'eau est réduite par

# Chapitre I: Etude bibliographique

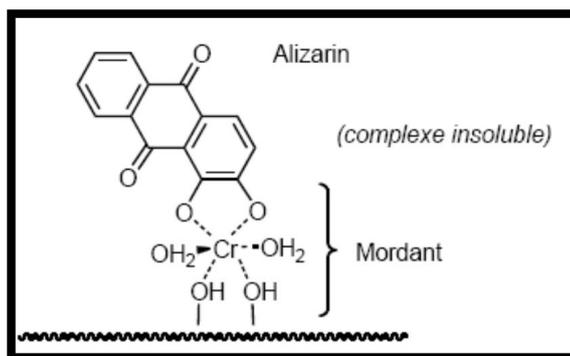
l'addition des sels neutres de métaux alcalins (sulfate de sodium, chlorure de sodium, etc. Ceux d'entre eux qui sont les moins stables à la lumière sont utilisés à la teinture des tissus de doublures, des fils de laine, des tapis et pour beaucoup d'articles à bon marché [14]. (Figure I.8)



**Figure I.8:** Comportement du colorant direct en présence des fibres.

## I.1.3.2.7. 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. (Figure I.9)



**Figure I.9:** Comportement du colorant à mordant en présence du textile.

## I.1.3.2.8. Les colorants dispersés

Les colorants dispersés (ou dispersifs) donnent des couleurs stables à la lumière, aux acides, au formaldéhyde et aux actions thermiques. Ils sont non-ioniques, insolubles dans l'eau et sont utilisés pour la coloration sous forme de dispersion aqueuse.

Pratiquement insolubles dans l'eau, ils sont par contre solubles dans la phase organique des fibres dépourvues de groupement acides ou basiques (fibres synthétiques telles que polyester, polyamide, polyacrylonitrile...)

Ils sont importants pour la teinture de l'acétate de cellulose et des fibres synthétiques et ne renferment pas de groupement solubilisant ( $-\text{SO}_3\text{Na}$ ). Ils portent des noms commerciaux, dont leur marque est donnée entre parenthèses: Artisil (SANDOZ), Céliton (BASF), Cibaset

(CIBA), Duranol (ICI), Sétacyl (GEIGY), Acétoquinone (FMC), exemple : rouge, violet, bleu, ...etc [14].

Les colorants dispersés sont essentiellement adsorbés sur la fibre polyamide par une attraction sur des sites polaires en nombre limité et le mécanisme de dissolution est en réalité presque marginal. Bien que ce type d'adsorption corresponde à des liaisons avec la fibre bien plus fortes que dans le cas du polyester où le colorant est dissout, ces liaisons sont facilement rompues par un rupteur de liaisons polaire tel que l'eau. Les solidités au lavage de fibres de polyamide teintées en colorant dispersé sont donc médiocres. Ainsi, on doit connaître la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et 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. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes [15].

## I.2. L'Adsorption

### I.2.1. Le phénomène d'adsorption

L'adsorption à l'interface soluté/solide est un phénomène de nature physique ou chimique par lequel des molécules présentes dans effluent liquide ou gazeux, se fixent à la surface d'un solide [16]. Ce phénomène dépend à la fois de cette interface et des propriétés physico-chimiques de l'adsorbat [17]. Ce phénomène spontané provient de l'existence à la surface du solide de forces non composées, qui sont de nature physique ou chimique. Ces forces conduisent respectivement à deux types d'adsorption : la chimisorption et la physisorption.

**I.2.1.1. Adsorption chimique (ou chimisorption) :** elle met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbat et l'adsorbant.

La chimisorption est généralement irréversible, produisant une modification des molécules adsorbées. Ces dernières ne peuvent pas être accumulées sur plus d'une monocouche. Seules sont concernées par ce type d'adsorption, les molécules directement liées au solide [18]. Ils existent des cas où des groupements réactifs greffés peuvent former des longues chaînes (cas des silices modifiées).

**I.2.1.2. Adsorption physique (ou physisorption) :** contrairement à la chimisorption, l'adsorption physique se produit à des températures basses. Les molécules s'adsorbent sur une ou plusieurs couches (multicouches) avec des chaleurs d'adsorption souvent inférieure à 20 kcal/mol [16, 17, 18].

## Chapitre I: Etude bibliographique

Les interactions entre les molécules du soluté (adsorbât) et a la surface du solide (adsorbant) sont assurées par des forces électrostatiques de types dipôles- dipôles, liaison hydrogène ou de van der waals [19,20]. La physisorption est rapide, réversible et n'entraîne pas de modification des molécules adsorbées.

La distinction entre les deux types d'adsorption n'est pas toujours facile. En effet, les énergies mises en jeu dans les physisorptions fortes rejoignent celles qui interviennent dans les chimisorption faibles.

Le **tableau I.2** regroupe quelques critères de distinction entre l'adsorption physique et chimique.

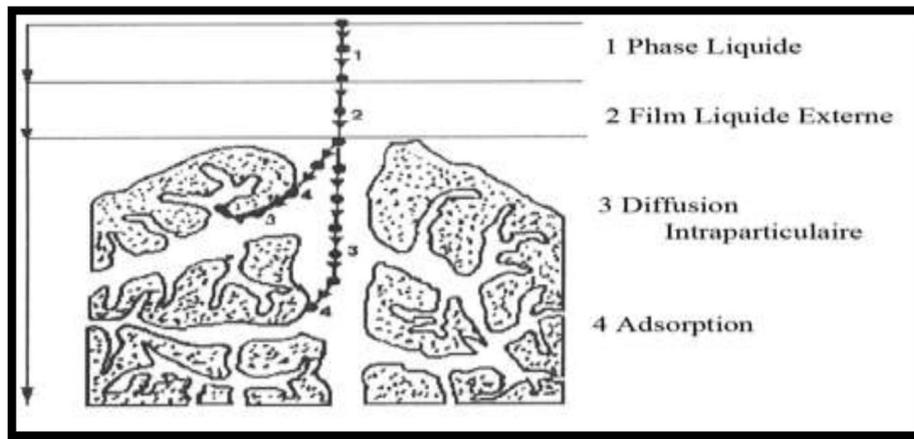
**Tableau I.2.** Distinction entre l'adsorption physique et chimique (Chitour.2004).

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Température du processus	Relativement basse	Plus élevé
Chaleur d'adsorption	5 Kcal/mol environ	10 Kcal/mol environ
Liaisons	Physiques : Wan der Waals	Chimiques
Cinétique	Rapide, réversible	Lente, irréversible
Spécificité	Processus non spécifique	Processus très spécifique
Désorption	Facile	difficile
Couches formées	mono ou multicouches	Uniquement monocouches

### I.2.2. Description du mécanisme d'adsorption

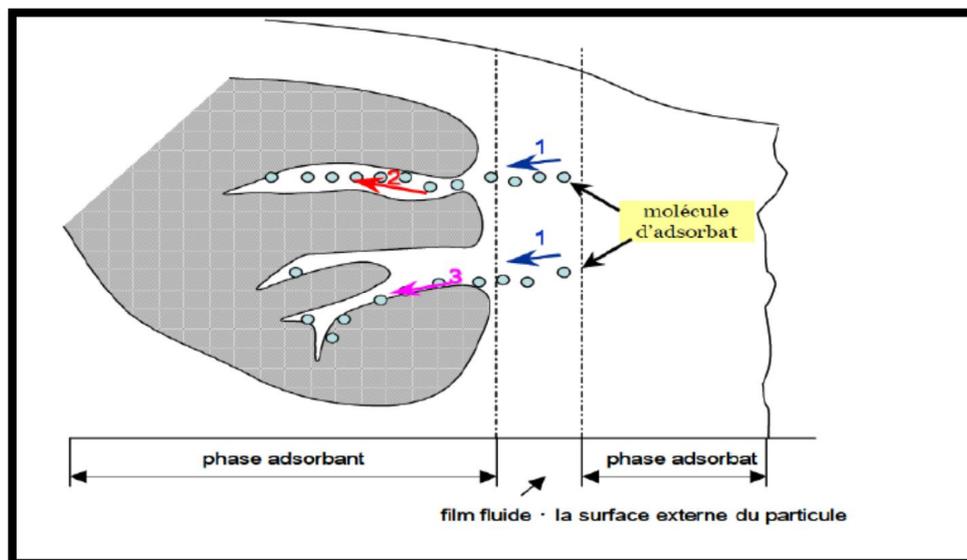
L'adsorption se produit principalement en quatre étapes. La **figure I.10** représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peut se trouver les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles d'être en interaction avec le solide. Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes :

- 1) Diffusion de l'adsorbât 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 graines vers les sites actifs).
- 4) Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile.



**Figure I.10:** Domaines d'existence d'un soluté lors de l'adsorption sur un matériau microporeux [21].

-Le mécanisme du transport d'un adsorbant au sein d'un grain du solide est donné par la **figure I.11**.



**Figure I.11 :** Mécanisme du transport d'un adsorbant au sein d'un grain du solide  
1-diffusion externe; 2-diffusion interne (dans les pores); 3-migration en surface. [22].

## I.2.3. Facteurs influencent sur l'équilibre d'adsorption

L'équilibre d'adsorption entre un adsorbant et un adsorbant, dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont décrits ci-après :

### I.2.3.1. Surface spécifique

L'adsorption lui est proportionnelle [23]. La dépendance de la cinétique d'adsorption à la dimension de la surface externe des particules est fondamentale pour l'utilisation d'un adsorbant. Cette surface spécifique externe ne représente pourtant qu'une portion minime de

la surface totale disponible à l'adsorption. Cette surface totale peut être augmentée par un broyage de la masse solide qui multiplie encore sa porosité totale [24].

### **I.2.3.2.Porosité**

La porosité est liée à la répartition de la taille des pores. Elle reflète la structure interne des adsorbants microporeux [25].

### **I.2.3.3.Nature de l'adsorbat**

D'après la règle de LUNDENIUS [26] : "moins une substance est soluble dans le solvant, mieux elle est adsorbée". D'après la règle de Traube [27], l'adsorption à partir des solutions aqueuses, croit lorsqu'on parcourt une série d'homologues [23].

### **I.2.3.4.Polarité**

Un soluté polaire aura plus d'affinité pour un solvant ou pour l'adsorbant le plus polaire. L'adsorption préférentielle des composés organiques à solubilité limitée en solutions aqueuses (hydrocarbures, dérivés chlorés, phénol et autres dérivés benzéniques) est importante avec les adsorbants hydrophobes (charbons actifs, polymères poreux). Elle est par contre insignifiante avec les adsorbants polaires très hydrophiles (gel de silice, alumine...) [28].

### **I.2.3.5.Température**

L'adsorption est un phénomène endothermique ou exothermique suivant le matériau adsorbant et la nature des molécules adsorbées. De nombreuses valeurs d'enthalpie d'adsorption sont présentées dans la littérature qui attestent de la variabilité des processus thermodynamiques.

## **I.2.4.Isothermes d'adsorption**

Tous les systèmes adsorbant / adsorbât ne se comportent pas de la même manière. Les phénomènes d'adsorption sont souvent abordés par leur comportement isotherme.

Les courbes isothermes décrivent la relation existant à l'équilibre d'adsorption entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant donné à une température constante.

## **I.2.5. Classification des isothermes d'adsorption**

Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées :

**S** (Sigmoide), **L** (Langmuir), **H** (Haute affinité) et **C** (partition Constante).

-Le solvant s'adsorbe sur les mêmes sites que le soluté. Ceci implique l'existence d'une compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté.

-Le nombre de sites susceptibles d'accueillir les molécules de soluté à la surface du solide diminue quand la quantité adsorbée augmente.

-L'orientation des molécules à la surface. On peut citer le cas où les molécules sont adsorbées verticalement ou horizontalement sur la surface.

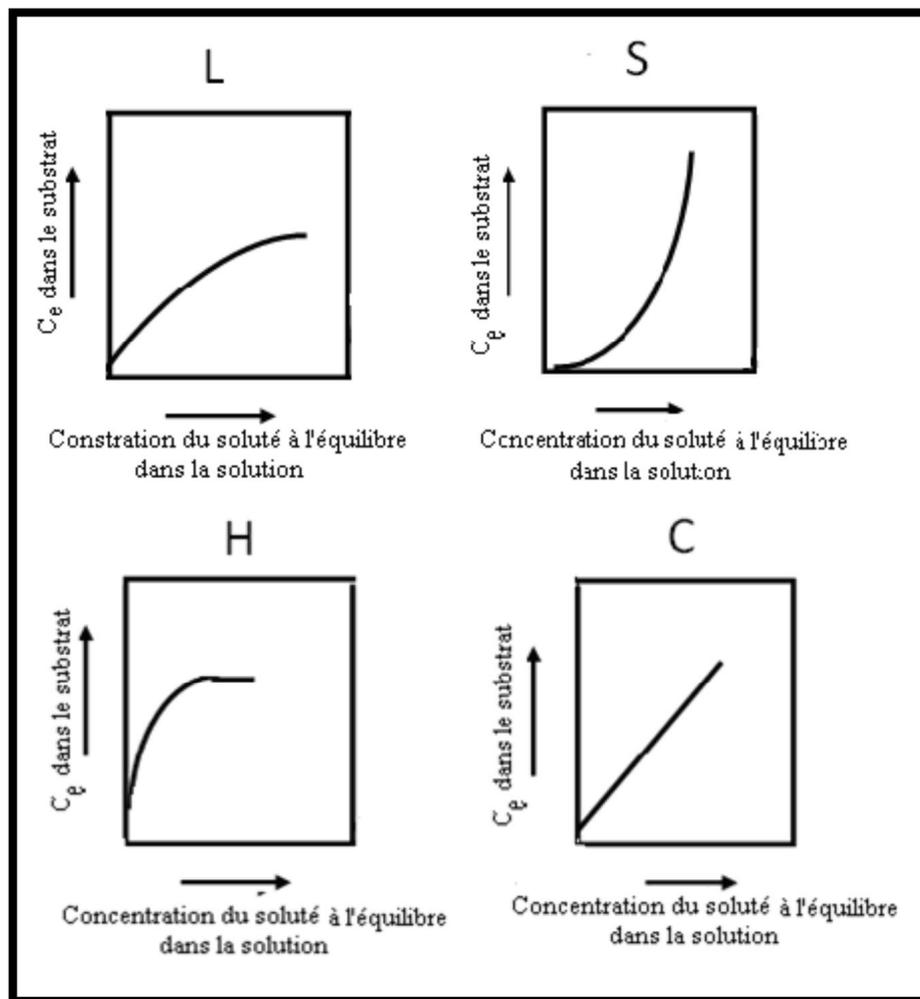
-Enfin, les interactions attractives ou répulsives entre les molécules adsorbées se manifestent d'une façon notable dans le phénomène d'adsorption.

### Classes d'isothermes

**I.2.5.1. Classe L** : les isothermes de classe L présentent, à faible concentration en solution, une concavité tournée vers le bas qui traduit une diminution des sites libres au fur et à mesure de la progression de l'adsorption.

Ce phénomène se produit lorsque les forces d'attraction entre les molécules adsorbées sont faibles. Elle est souvent observée quand les molécules sont adsorbées horizontalement, ce qui minimise leur attraction latérale. Elle peut également apparaître quand les molécules sont adsorbées verticalement et lorsque la compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté est faible. Dans ce cas, l'adsorption des molécules isolées est assez forte pour rendre négligeable les interactions latérales [29].

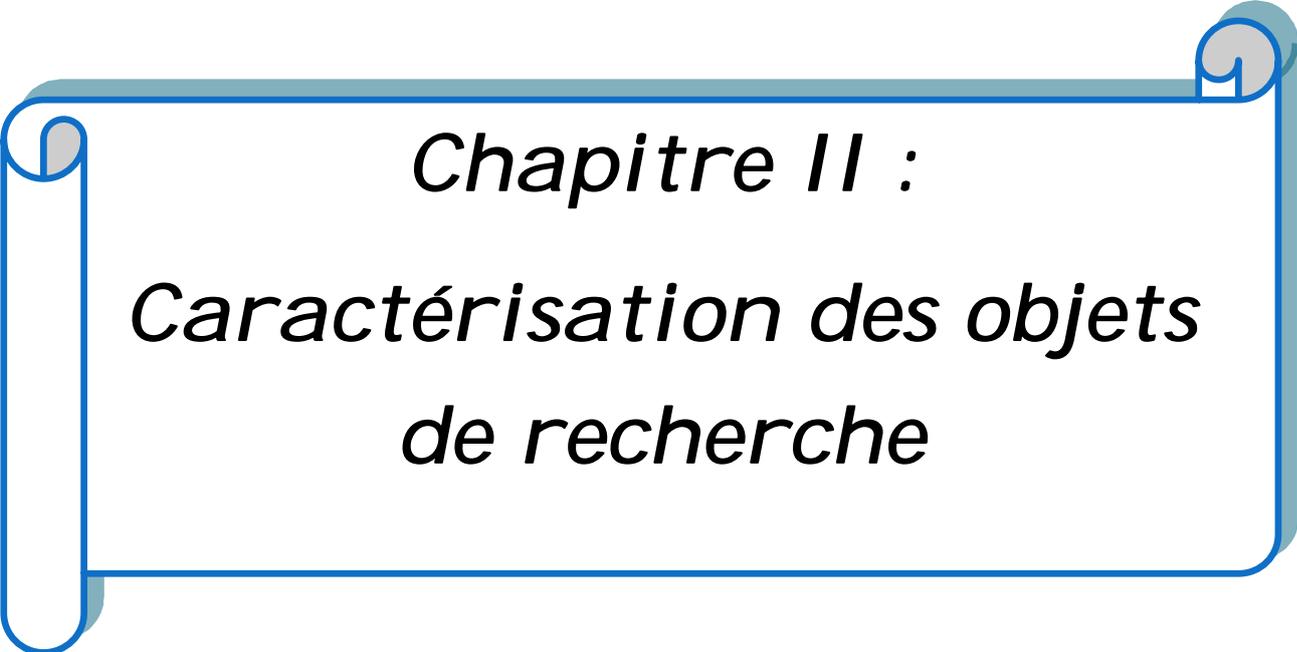
**I.2.5.2. Classe S** : Les isothermes de cette classe présentent, à faible concentration, une concavité tournée vers le haut. Les molécules adsorbées favorisent l'adsorption ultérieure d'autres molécules (adsorption coopérative). Ceci est dû aux molécules qui s'attirent par des forces de Van Der Waals, et se regroupent en îlots dans lesquels elles se tassent les unes contre les autres [29]. (**Figure I.12**)



**Figure I.12 :** Classification des isothermes d'adsorption selon Giles et al [29].

**I.2.5.3. Classe H :** La partie initiale de l'isotherme est presque verticale, la quantité adsorbée apparaît importante à concentration quasiment nulle du soluté dans la solution. Ce phénomène se produit lorsque les interactions entre les molécules adsorbées et la surface du solide sont très fortes. L'isotherme de classe H est aussi observée lors de l'adsorption de micelles ou de polymères formées à partir des molécules de soluté [29].

**I.2.5.4. Classe C :** Les isothermes de cette classe se caractérisent par une partition constante entre la solution et le substrat jusqu'à un palier. La linéarité montre que le nombre de sites libres reste constant au cours de l'adsorption. Ceci signifie que les sites sont créés au cours de l'adsorption. Ce qui implique que les isothermes de cette classe sont obtenues quand les molécules de soluté sont capables de modifier la texture du substrat en ouvrant des pores qui n'avaient pas été ouverts préalablement par le solvant. [29]



*Chapitre II :*  
*Caractérisation des objets*  
*de recherche*

### II.1. Les méthodes d'analyses

#### II.1.1. La spectroscopie infrarouge (IR)

La spectroscopie moyenne infrarouge (IR) a été longtemps utilisée uniquement pour l'élucidation de structure des molécules. Depuis près de vingt ans grâce à l'avènement des spectrophotomètres à interféromètre de Michelson et à transformée de Fourier (TF) l'utilisation de la spectroscopie IR s'est généralisée aussi en analyse quantitative.

Le dosage des constituants du lait tel qu'il s'est développé dans les laboratoires de contrôle laitier est un exemple révélateur des capacités de la technique dans l'analyse rapide et le contrôle de qualité systématique des produits agroalimentaires.

La spectroscopie infrarouge à Transformée de Fourier (ou FTIR : Fourier Transformed InfaRed Spectroscopy) est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau analysé.

Elle permet, via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, d'effectuer l'analyse des fonctions chimiques présentes dans le matériau.

##### II.1.1.1. Principe et Fonctionnement du spectromètre FT-IR de la Transformée de Fourier

Le principe de Transformation de Fourier (TF) se base sur le fait que chaque fonction peut être décomposée en une somme de fonctions sinusoïdales, chaque fonction sinusoïdale étant définie par deux valeurs : sa fréquence (longueur d'ondes) et son amplitude (intensité).

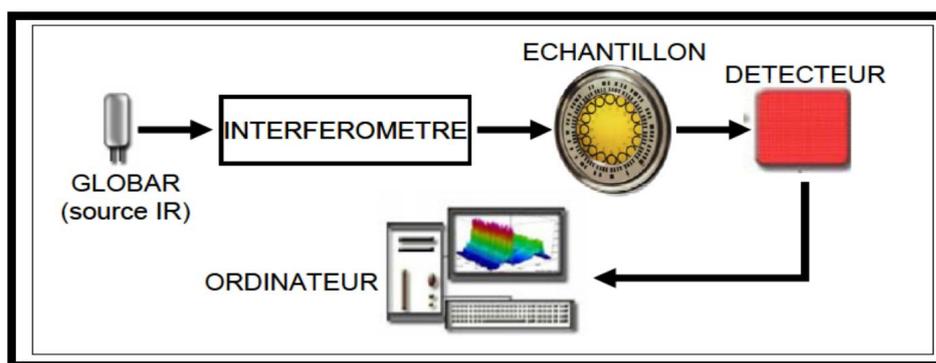
Un spectromètre FT-IR comporte essentiellement cinq parties (**Figure II.1**) :

- Une source lumineuse.
- Un dispositif permettant de générer les interférences : l'interféromètre (voir description ci-après)
- Un compartiment échantillon qui permet d'accessoires (porte échantillon) dépendant du mode de mesures utilisé (réflexion ou transmission).
- Un détecteur ou capteur photosensible : le spectromètre FT-IR peut comporter un ou plusieurs détecteurs, pouvant être de type

## Chapitre II: Caractérisation des objets de recherche

-pyroélectrique (générant un courant proportionnel au différentiel de température entre les 2 faces du détecteur) comme les détecteurs DTGS (Deuterated Tri-glycine Sulfate),

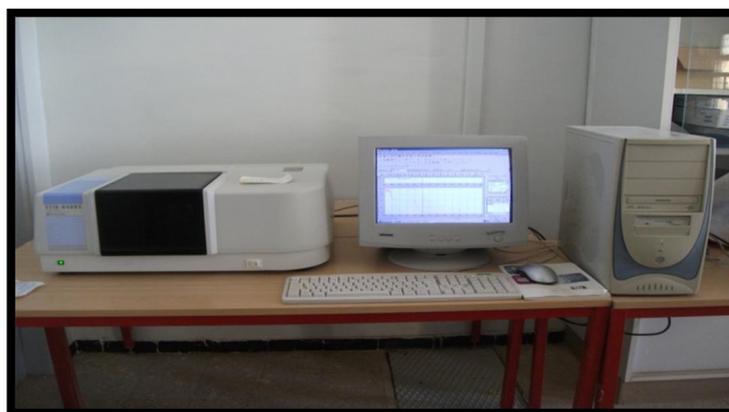
-photoélectrique (générant une différence de potentiel par l'absorption de photons) comme les détecteurs MCT (Mercures Cadmium Tellure) qui sont constitués d'un monocristal en alliage de mercure-cadmium-tellure déposé sur un support inerte.



**Figure II.1:** Schéma de principe d'un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier.

- Enfin, le convertisseur analogique numérique qui intervalles réguliers et transforme le signal analogique en un signal numérique manipulable par le système informatique [30].

L'appareil utilisé, dans notre travail, est un spectromètre à transformée de Fourier FTIR-8400S de type SGIMADZU dont le domaine de longueurs d'ondes est compris entre 4000-400  $\text{cm}^{-1}$  (Figure II.2).



**Figure II.2:** Spectromètre infrarouge FTIR utilisé.

### II.1.2. La spectroscopie UV- visible

Le principe de la spectroscopie UV - visible repose sur des transitions électroniques, *i.e.* le passage d'un électron d'une orbitale stable vers une orbitale instable, engendrées par l'absorption de radiations électromagnétiques dans les régions UV (200 - 400 nm) et visible (400 - 800 nm). Dans le cas des composés organiques, ces transitions électroniques correspondent à des changements d'orbitales moléculaires de groupes fonctionnels spécifiques (chromophores). Ainsi, les spectres d'absorption d'un composé peuvent être utilisés pour sa caractérisation. La spectroscopie UV - visible a ainsi été utilisée par de nombreux auteurs pour caractériser les substances humiques (Swift, 1996; Thomsen *et al.*, 2002; Domeizel *et al.*, 2004; Zbytniewski & Buszewski, 2005). [31]

Dans notre étude on a utilisé un spectrophotomètre UV/visible de type SGIMADZU (**Figure II.3**).



**Figure II.3:** Spectrophotomètre UV/visible utilisé.

## II.2. Les réactifs utilisés

### II.2.1. Bleu de méthylène

#### II.2.1.1. Définition

Le bleu de méthylène, colorant cationique, est une molécule organique appartenant à la famille des Xanthines [32]. Elle est choisie comme modèle représentatif des polluants organiques de taille moyenne. L'adsorption du bleu de méthylène est utilisée depuis longtemps en vue d'évaluer les performances du charbon actif avant son emploi dans une installation d'épuration des eaux. C'est une molécule qui est utilisée aussi pour tester les pouvoir adsorbants des solides [33,34], et pour déterminer leur surface spécifique [35].

## Chapitre II: Caractérisation des objets de recherche

La formule développée du bleu de méthylène est représentée dans la figure ci dessous. (Figure II.4)

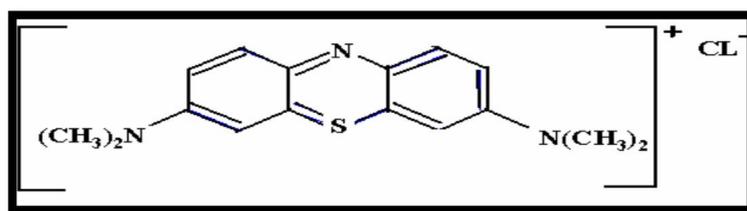


Figure II.4: Structure chimique du bleu de méthylène.

Le bleu de méthylène est un composé organique dont la formule chimique est bis-(diméthylamino)- 3,7 phénazathionium chlorure. Ses caractéristiques sont présentées dans le **tableau II.1**. Il est soluble dans l'eau et plus légèrement dans l'alcool.

Tableau II.1: Caractéristiques du bleu de méthylène [36].

	Formule brute	Masse molaire (g mol <sup>-1</sup> )	Solubilité dans l'eau à 20°C (g L <sup>-1</sup> )	Température de fusion (°C)
<b>Bleu de méthylène</b>	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> ClN <sub>3</sub> S, xH <sub>2</sub> O	319,85 (anhydre)	50	190

### II.2.1.2.Utilisation

C'est le plus important des **colorants basiques**.

Il est vendu en pharmacie, droguerie et utilisé dans divers domaines :

- Il sert d'indicateur coloré redox: sa forme oxydée est bleu tandis que réduit il est incolore.
- Il est employé comme colorant histologique. Le bleu de méthylène teint le collagène des tissus en bleu.
- Il est utilisé pour colorer le Curaçao et certaines variétés de Gin.
- En médecine, il est fréquemment utilisé comme marqueur afin de tester la perméabilité d'une structure (par exemple des trompes utérines lors d'une hystérosalpingographie), de préciser le trajet d'une fistule...
- Le bleu de méthyle est parfois utilisé pour apaiser les infections urinaires.
- Il peut servir d'antiseptique en aquariophilie.

### II.2.1.3.Dangers

Le bleu de méthylène en solution aqueuse est peu ou pas toxique, mais ne doit être en aucun cas utilisé comme colorant alimentaire. Il tache facilement la peau et les vêtements. [37].

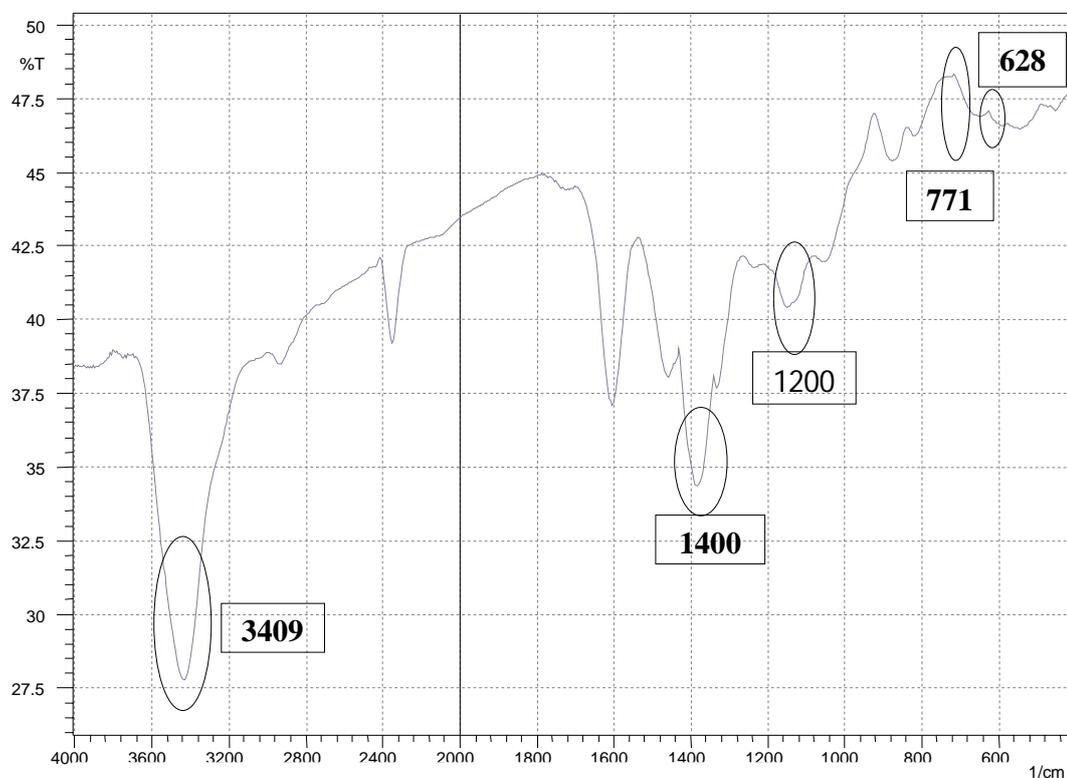
## Chapitre II: Caractérisation des objets de recherche

### II.2.1.4. Caractérisation du bleu de méthylène par spectroscopie IR

Le tableau ci-dessous nous fournit les fréquences calculées accompagnées de celles théoriques des bandes infrarouges du colorant bleu de méthylène (**Tableau II.2**)

**Tableau II.2** : Comparaison entre les fréquences théoriques et les fréquences calculées du bleu de méthylène.

Fréquence(s) calculée	Fréquence théorique	$\nu$ Vibration	Groupement chimique
628,8	700-600	C-S	/
663,5	730-665	C=C	Aromatique
1400-1600	1600-1450	C=C	Aromatique
771,5	772-665	C-N	Amine 2 <sup>aire</sup>
1000-1200	1220-1020	C-N	Amine 2 <sup>aire</sup>
837	860-800	C-H déformation	Aromatique
1134,1	1175-1125	C-H	Aromatique
1396,4	1398-1385	C-H	CH <sub>3</sub> aliphatique
2963	2975-2950	C-H	CH <sub>2</sub> aliphatique
3409,9	3500-3100	N-H	Amine 2 <sup>aire</sup>

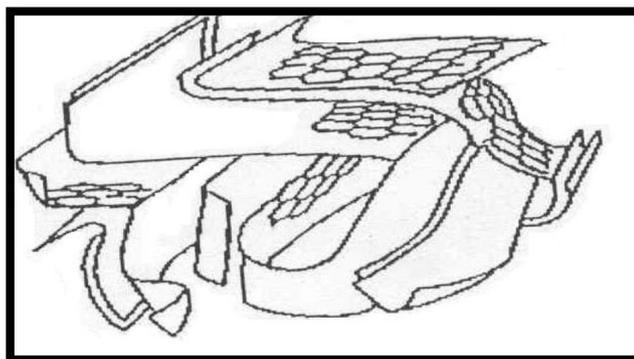


**Figure II. 5** : Le spectre FT-IR du bleu de méthylène.

### II.2.2.Charbon actif

#### II.2.2.1.Origine et fabrication du charbon actif

Le charbon actif est une dénomination généralement utilisée pour caractériser des matériaux inertes à structure carbonée possédant une surface spécifique très développée et un haut degré de porosité. Ce sont des carbones que l'on a activés afin d'accroître leur pouvoir adsorbant [38]. (Figure II.6)



**Figure II.6:** Structure du charbon actif [38].

Les charbons actifs ont une caractéristique essentielle qu'est l'existence d'un réseau très développé de micropores, lesquels sont à l'origine de leur pouvoir adsorbant très important. Par conséquent, ces derniers constituent les adsorbants les plus fabriqués et les plus utilisés industriellement.

Les charbons actifs sont des adsorbants non spécifiques ou très peu spécifiques avec une structure poreuse bien développée formée majoritairement par des micropores et des mésopores de différents diamètres.

La surface spécifique des charbons actifs est bien développée, elle est en générale supérieure à 1000 m<sup>2</sup>/g, ce qui contribue à une grande capacité d'adsorption. Cette surface spécifique dépend du matériau de base, de la méthode d'activation et de la densité. [22]

##### II.2.2.1.1.Fabrication du charbon actif

Les déchets solides sont utilisés comme matière première pour la production de charbon actif après carbonisation et activation. Parmi ces déchets, les plus utilisés sont: le bois, les coques de noix de coco, les noyaux et grignon d'olive, noyaux de dattes, la paille, la sciure de bois...etc. [22]

##### a. Carbonisation

Après séchage de la matière première, il est procédé à une carbonisation qui s'effectue sous atmosphère contrôlée à 400 - 600°C pendant 5 à 6 heures, celle-ci a pour but d'éliminer les matières organiques volatiles emprisonnées dans le squelette carboné. La carbonisation se

déroule généralement à une vitesse grande pour minimiser le contact entre les produits carbonisés et les produits volatils. Les produits obtenus après carbonisation n'ont pas une forte capacité d'adsorption car leur structure poreuse est limitée (surface spécifique 10 m<sup>2</sup>/g). [22]

### **b. Activation**

L'activation consiste à développer la structure poreuse des matériaux. On peut distinguer deux voies d'activation: Une activation physique où le matériau carbonisé est soumis à une atmosphère hautement contrôlée en présence de dioxyde de carbone et de vapeur d'eau à 1000°C et une autre activation chimique qui met en jeu un agent chimique tel que le chlorure de zinc, acide phosphorique ou sulfurique, KOH,...etc. Elle favorise la déshydratation puis une réorganisation structurale à des températures plus faibles comprises entre 400 et 600 °C en présence de catalyseurs (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ZnCl<sub>2</sub>). [22]

#### **II.2.2.2. Les types de charbon actif**

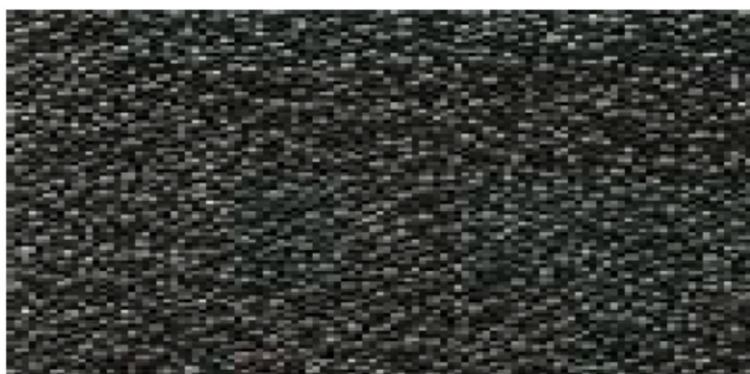
Les formes du charbon actif les plus utilisés sont:

##### **II.2.2.2.1. Le charbon actif en poudre (CAP)**



Les charbons actifs en poudre présentent une granulométrie inférieure à 100µm avec un diamètre moyen situé entre 15 et 25 µm. Ils ont une large surface externe et une faible profondeur de diffusion, ce qui engendre une vitesse d'adsorption très rapide. [22]

##### **II.2.2.2.2. Le charbon actif en grain (CAG)**



La forme granulaire du charbon est caractérisée par une taille des particules supérieure à

1mm, un faible diamètre des pores, une grande surface interne et une externe relativement faible. Il en résulte que les phénomènes de diffusion à l'intérieur des pores prennent une grande importance dans le processus d'adsorption. [22]

### II.2.2.3. Texture du charbon actif

La texture du charbon actif se caractérise essentiellement par deux paramètres qui sont l'aire spécifique et la porosité. Ils sont essentiels pour la détermination des capacités et des cinétiques d'adsorption. Une classification simple permet de distinguer trois sortes de pores. [39]. Il s'agit des :

\***Macropores** : ils possèdent un rayon moyen compris entre 500 et 1000 Å et peut atteindre jusqu'à 20000 Å. L'ordre de grandeur de leurs aires massiques ( $0,5$  à  $2 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ ) montre qu'ils influencent faiblement la capacité d'adsorption.

\***Mésopores** : ils ont un rayon compris entre 18-20 Å et 500-1000 Å. Leurs surfaces spécifiques ( $25$  à  $75 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ ) montrent qu'ils peuvent influencer moyennement la capacité d'adsorption. En effet, les phénomènes de condensation capillaire ne peuvent se dérouler qu'à l'intérieur de ces mésopores. Ils sont considérés comme des pores de transition en contrôlant le passage des adsorbats vers les micropores.

\***Micropores** : ils constituent pratiquement l'essentiel de la surface spécifique totale (95%). Leur rayon qui est inférieur à 18-20 Å (de l'ordre de la taille des molécules simples) leur confère un très grand rôle dans le processus d'adsorption.

Concernant le pouvoir adsorbant du charbon actif, il a été clairement établi que la porosité peut limiter les capacités de ce matériau vis-à-vis des molécules complexes, principalement celles à haut poids moléculaire. Ce qui va contrôler la vitesse de diffusion des substrats à l'intérieur des particules du charbon actif.

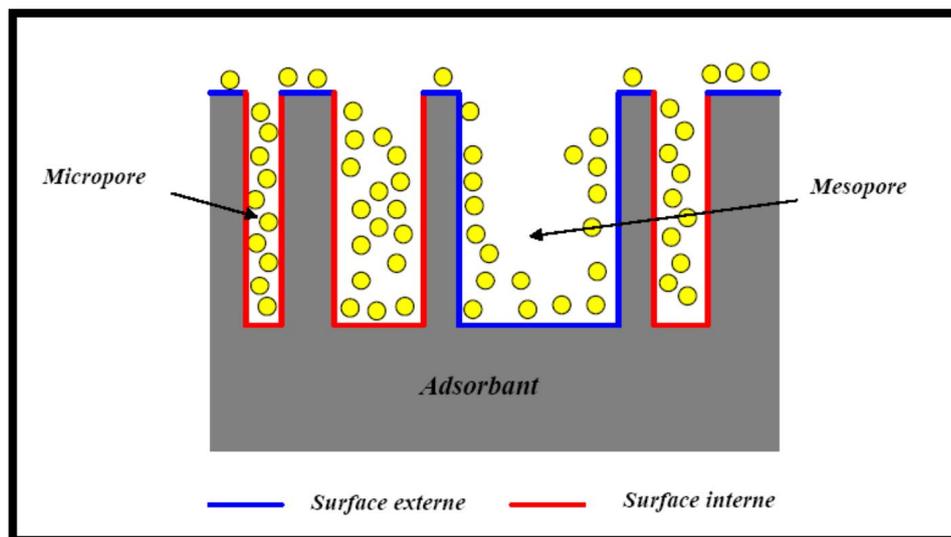
### II.2.2.4. Surface spécifique d'un adsorbant

Par définition, la surface spécifique d'un adsorbant est une surface par unité de masse (en  $\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ ). Son estimation est conventionnellement fondée sur des mesures de la capacité d'adsorption monocouche «  $q_m$  » de l'adsorbant pour un adsorbat donné de surface connue et acceptable.

-Il est nécessaire de distinguer la surface externe (non microporeuse) et la surface interne ou microporeuse d'un adsorbant (**Figure. II.7**). La surface microporeuse  $S_m$ , représentée par les parois des micropores, peut atteindre plusieurs centaines de mètres carrés par gramme. Elle est reliée au volume du pore  $W_0$ , et à la largeur du pore  $L$  par une simple relation géométrique. [40]

$$S_m \text{ (m}^2\text{/g)} = \frac{2 \cdot 10^3 W_0 \text{ (cm}^3 \cdot \text{g}^{-1})}{L \text{ (nm)}}$$

La surface externe, qui comprend les parois des mésopores et des macropores, ainsi que la surface des feuillets aromatiques, varie entre 10 et 200 m<sup>2</sup> .g<sup>-1</sup> environ.



**Figure II.7:** Représentation schématique de la surface interne et externe d'un charbon actif. [40].

### II.2.2.5. Propriétés superficielles du charbon actif

Comme il a été suggéré précédemment, l'existence d'hétéroatomes dans la structure cristalline a engendré la formation de divers groupements fonctionnels à la surface de ce matériau. Leur identification et leur caractérisation sont liées à la nature de l'adsorbant et des procédés d'activation. [41]. Ce sont donc ces groupements qui feront apparaître soit les propriétés acides du charbon (type L), soit les propriétés basiques (type H). Les techniques spectrales (IR), polarographiques et titrimétriques ont permis de caractériser les fonctions acides les plus courantes comme les groupements carboxyliques, phénoliques, carbonyles et les lactones. [41]

### II.2.2.6. Domaines d'utilisation des charbons actifs

Le charbon actif est utilisé dans de nombreux domaines :

#### II.2.2.6.1. Filtration

- systèmes de filtration de l'air contaminé notamment dans les abris antiatomiques.
- décontamination de l'eau potable : le charbon actif retient un grand nombre de composés organiques, tels les pesticides. Cet usage représente 20% du marché mondial.
- masques à gaz.

- filtres à cigarettes.
- filtres utilisés dans les installations de ventilation en circuit fermé (par exemple, hotte de cuisine).
- filtration de polluants organiques (en particulier les traitements médicamenteux).
- système de filtration pour aquarium. [42]

### II.2.2.6.2.Chimie [42].

-décoloration des eaux : eau potable et autres liquides alimentaires (bières, boissons gazeuses, etc.).

Le chlore des oxydants chlorés (chlore :  $\text{Cl}_2$  ; acide hypochloreux :  $\text{HClO}$  ; hypochlorite :  $\text{ClO}^-$ ) est réduit en chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) par une action catalytique.

- traitement des effluents liquides.
- détachage des vins blancs, comme le Champagne produit à partir de pinot noir (raisin noir à jus blanc) : les pigments de la peau du raisin, qui peuvent colorer le jus, sont absorbés par un charbon activé chimiquement et exempt de fer afin d'éviter la casse ferrique du vin.
- décoloration du sucre.
- décaféinassions du café : avec de l'eau.
- stockage de l'hydrogène (nano fibres de charbon actif ou de dérivés du charbon).
- support pour métaux catalytiques ultra divisés (par exemple : platine ou nickel sur charbon actif).
- l'élimination des hydrocarbures dans l'eau.

### II.2.2.6.3.Industrie

- extraction de l'or des minerais (fixation sur le charbon actif).
- stockage de l'hydrogène (nano fibres de charbon actif ou de dérivés du charbon).
- balais (frotteurs) dans les générateurs et moteurs (utilisation de plus en plus rare).
- super condensateurs

### II.2.2.6.4. Médecine

-Il a été utilisé en tant que chélateur dans un grand nombre d'intoxications, toute fois les indications ont été très restreintes, principalement en raison des délais de prise en charge : le charbon activé cesse d'être utile au-delà de 3-4 heures après l'intoxication.

-épuration digestive avec en particulier abaissement du taux de cholestérol total et du taux des LDL [42].

-diarrhées, le charbon actif étant un constipant ou anti diarrhéique.

- aigreurs d'estomac, aérophagies, flatulences.

-ainsi que, avec un succès relatif, dans les cas de gastro-entérites, de gastralgies, dans les états d'infection de l'intestin accompagnés de constipation, de borborygme et de fermentation intestinale.

-certains vont même l'utiliser, en tant que cataplasme (mêlé avec de l'eau) pour tenter de contrer, juste après la morsure, les effets d'un venin de serpents, de piqûres d'hyménoptères (abeilles...), d'araignées (araignées...) et de cœlentérés (anémone de mer...). L'efficacité de cette dernière utilisation n'est pas garantie.

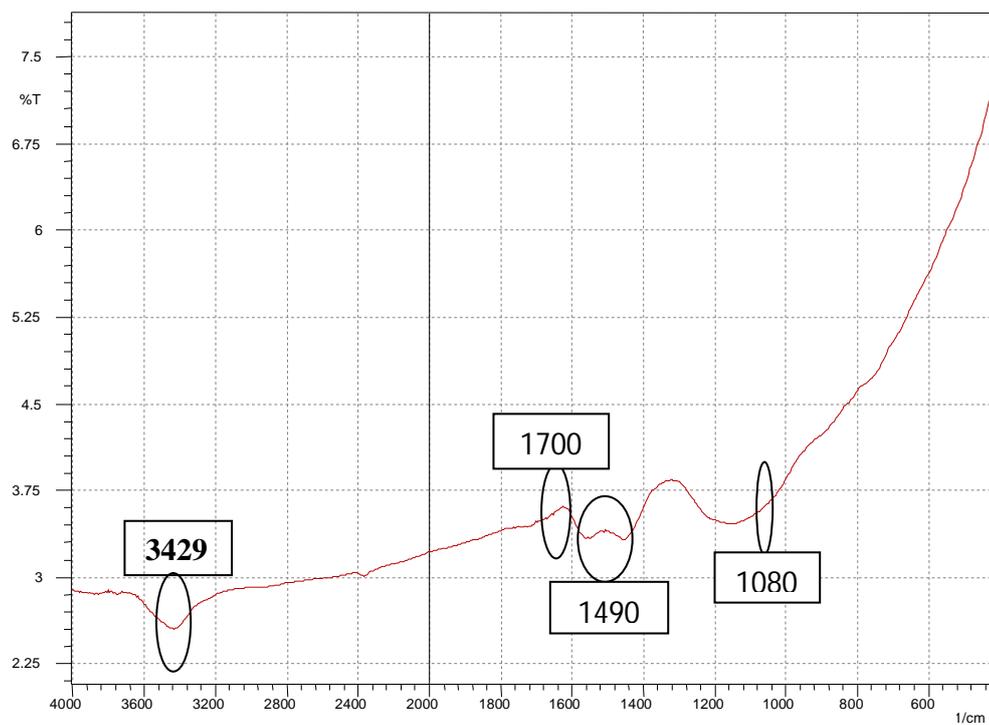
On peut se procurer ce charbon activé (officinal ou commercial) ou Charbon de Belloc dans les pharmacies et dans des magasins d'aliments bios. En cas d'intoxication, un avis médical rapide reste indispensable.

Le charbon activé n'a ni goût, ni odeur, ni effet désagréable. En absence d'ulcère gastroduodéal évolutif ou d'occlusion intestinale, le charbon activé n'a pratiquement aucune contre-indication, hormis celles qui sont liées à tout produit anti diarrhéique. Il est très bien toléré, même à doses élevées. Comme son adsorption est rapide, il est efficace dès son ingestion. Il est à noter, cependant, que la prise de charbon activé n'est pas compatible avec un traitement médicamenteux, le charbon activé adsorbant les molécules actives de ces mêmes médicaments. Il faut donc décaler de 2 ou 3 heures la prise de charbon actif avec la prise d'autres médicaments.

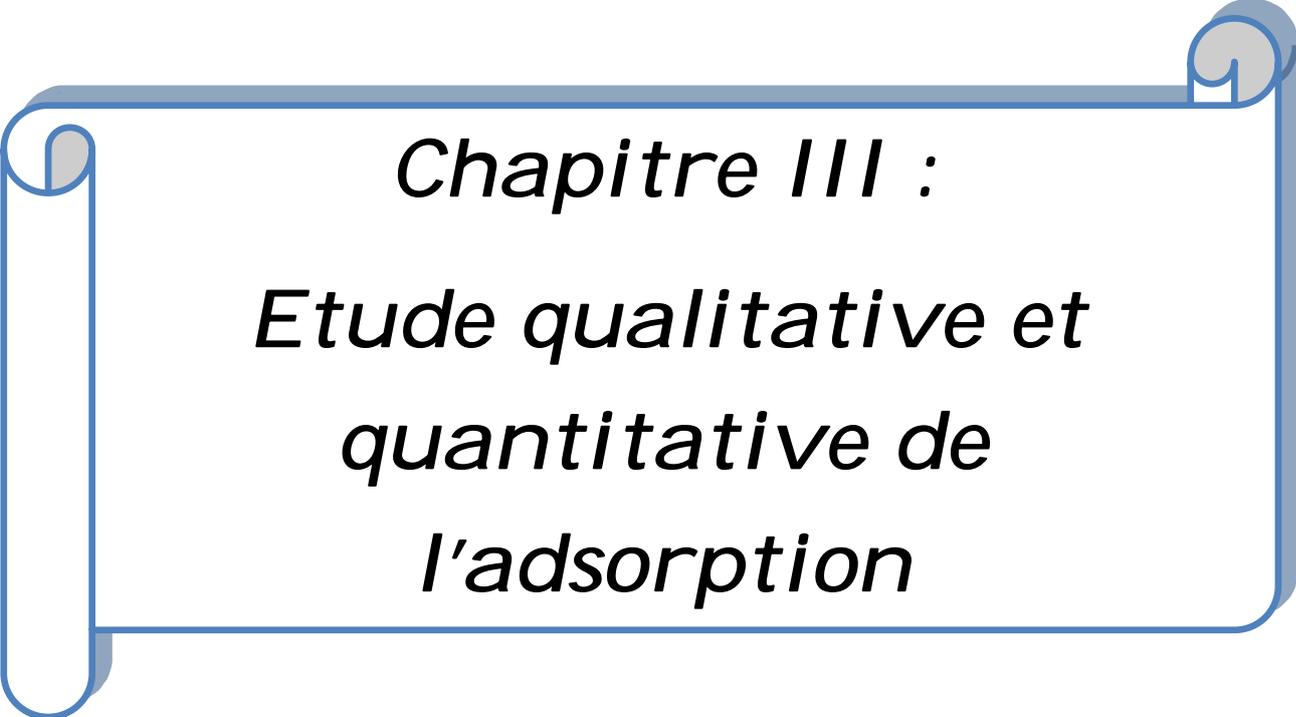
### II.2.2.7. Caractérisation du charbon actif en poudre par spectroscopie IR

Le spectre FT-IR du charbon actif en poudre montre deux bandes à 3429 et 1080  $\text{cm}^{-1}$  qui peuvent être attribuées, respectivement, aux liaisons OH et C-OH étirement des groupes phénoliques [43].

Selon Montes-Moran [44], les bandes observées dans la région entre 1490  $\text{cm}^{-1}$  et 1700  $\text{cm}^{-1}$  sont attribuées, respectivement, aux liaisons C=C des groupes de pyrones et C=O des groupes carboxyliques. (**Figure II.8**).



**Figure II.8 :** Spectre FT-IR du charbon actif pur.



*Chapitre III :*  
*Etude qualitative et*  
*quantitative de*  
*l'adsorption*

### III.1. Etude qualitative de l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif

L'étude par spectroscopie-infrarouge (FTIR) (en transmission) des charbons actifs ont été effectuées sur un spectromètre de type SGIMADZU-8400S à la température ambiante (nombre d'onde compris entre 400 et 4000  $\text{cm}^{-1}$ , résolution de 2  $\text{cm}^{-1}$ ). Des pastilles constituées d'un mélange de 1 mg de charbon actif et de 100 mg de KBr ont été pressées et séchées au four avant l'analyse.

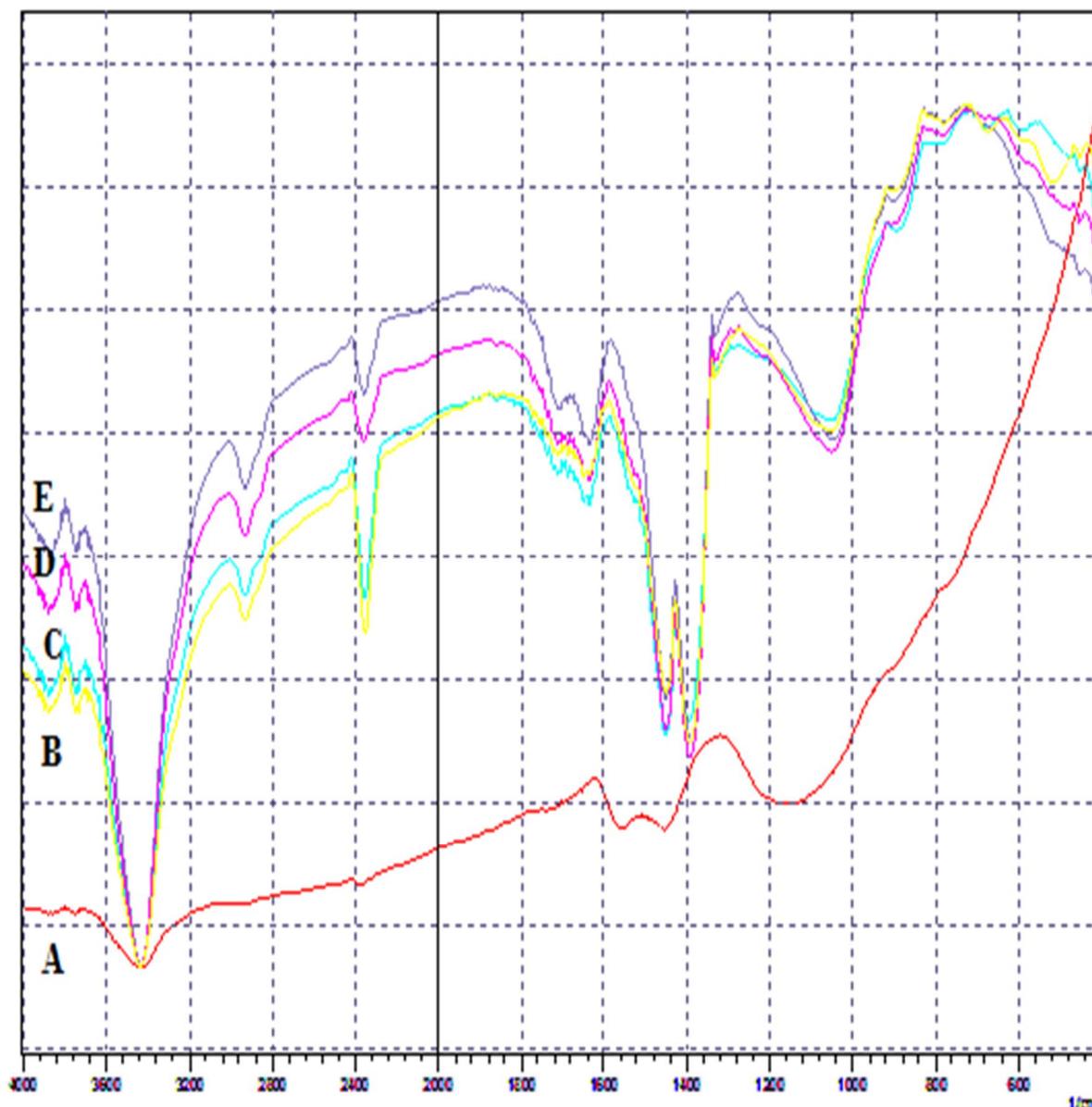
L'étude de l'adsorption sur le charbon actif en fonction de tous les facteurs ayant influence sur le phénomène en question, à savoir la température, la concentration, le temps de contact et le pH, montre, dans toutes les expériences réalisées une superposition quasi- totale de la molécule de bleu de méthylène sur la surface de charbon actif en poudre.

Sur le spectre de la première expérience (**Figure III.1**) où on a changé la température en allant de 7°C jusqu'à 80°C, on constate bien le pic très intense situé à 3409,9  $\text{cm}^{-1}$  pouvant être attribué au lien N-H de l'amine secondaire. La même chose se dit du pic se trouvant aux alentours de 1600  $\text{cm}^{-1}$  qui peut être attribué aux C=C aromatiques et qui se superposent sur le site qui concerne le C=O des groupes carboxyliques. Le spectre nous montre aussi un développement très remarquable de la bande située entre 1000 et 1200  $\text{cm}^{-1}$  attribuée au lien CN aromatique. A leur tour, les bandes qui évoluent remarquablement dans les régions qui se situent respectivement aux alentours de 2000 et 2400  $\text{cm}^{-1}$ , 2800 et 3200  $\text{cm}^{-1}$  indiquent la présence des CH aliphatiques.

On remarque dans ce premier cas que la fixation de la molécule de bleu de méthylène sur la surface de charbon actif en poudre augmente en fonction de la température et se stabilise dans la région de 40°C et 80°C.

L'idem se dit des deux autres expériences où on a en premier lieu l'effet de la concentration initiale de l'adsorbat sur l'adsorption (**Figure III.2**) et en deuxième lieu l'effet de temps de contact sur le phénomène à étudier (**Figure III.3**): on a toujours les mêmes sites de charbon actif en poudre occupés par les mêmes pics caractéristiques de bleu de méthylène.

On peut conclure que tous les sites oxygénés du charbon actif sont attaqués par les pics caractéristiques de bleu de méthylène.



**Figure III.1:** Spectre FTIR de charbon actif en poudre traité par le bleu de méthylène.

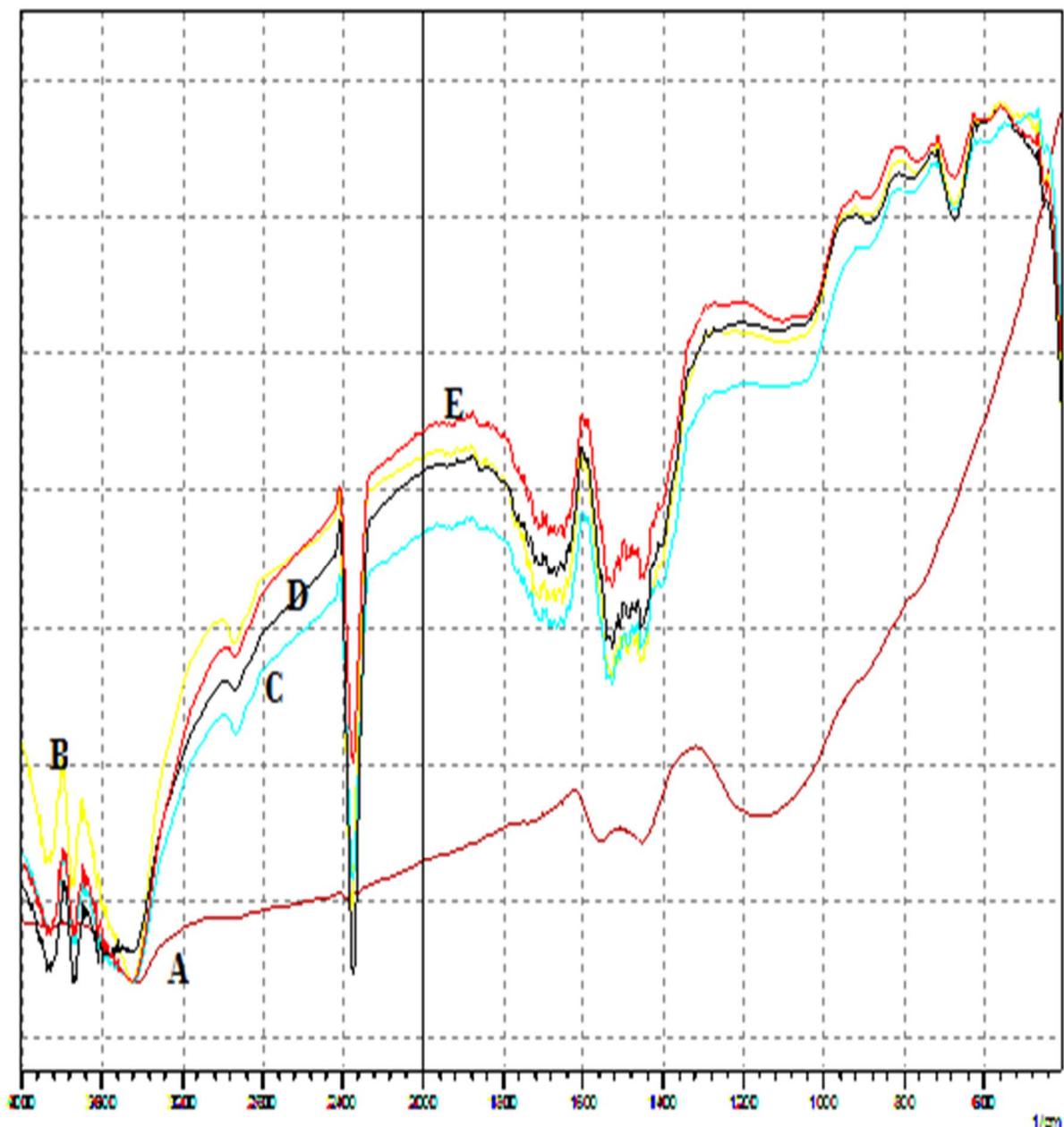
**A :** spectre infrarouge du charbon actif pur.

**B :** spectre infrarouge  $C=1\text{ g/l}=3.10^{-3}\text{ mol/l}$ ,  $\text{pH}=6$ ,  $T=7^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300\text{ tours/min}$ ,  $t=10\text{min}$ .

**C:** spectre infrarouge  $C=1\text{ g/l}=3.10^{-3}\text{ mol/l}$ ,  $\text{pH}=6$ ,  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300\text{ tours/min}$ ,  $t=10\text{min}$ .

**D :** spectre infrarouge  $C=1\text{ g/l}=3.10^{-3}\text{ mol/l}$ ,  $\text{pH}=6$ ,  $T=80^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300\text{ tours/min}$ ,  $t=10\text{min}$ .

**E :** spectre infrarouge  $C=1\text{ g/l}=3.10^{-3}\text{ mol/l}$ ,  $\text{pH}=6$ ,  $T=40^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300\text{ tours/min}$ ,  $t=10\text{min}$ .



**Figure III.2:** Spectre FTIR de charbon actif en poudre traité par le bleu de méthylène.

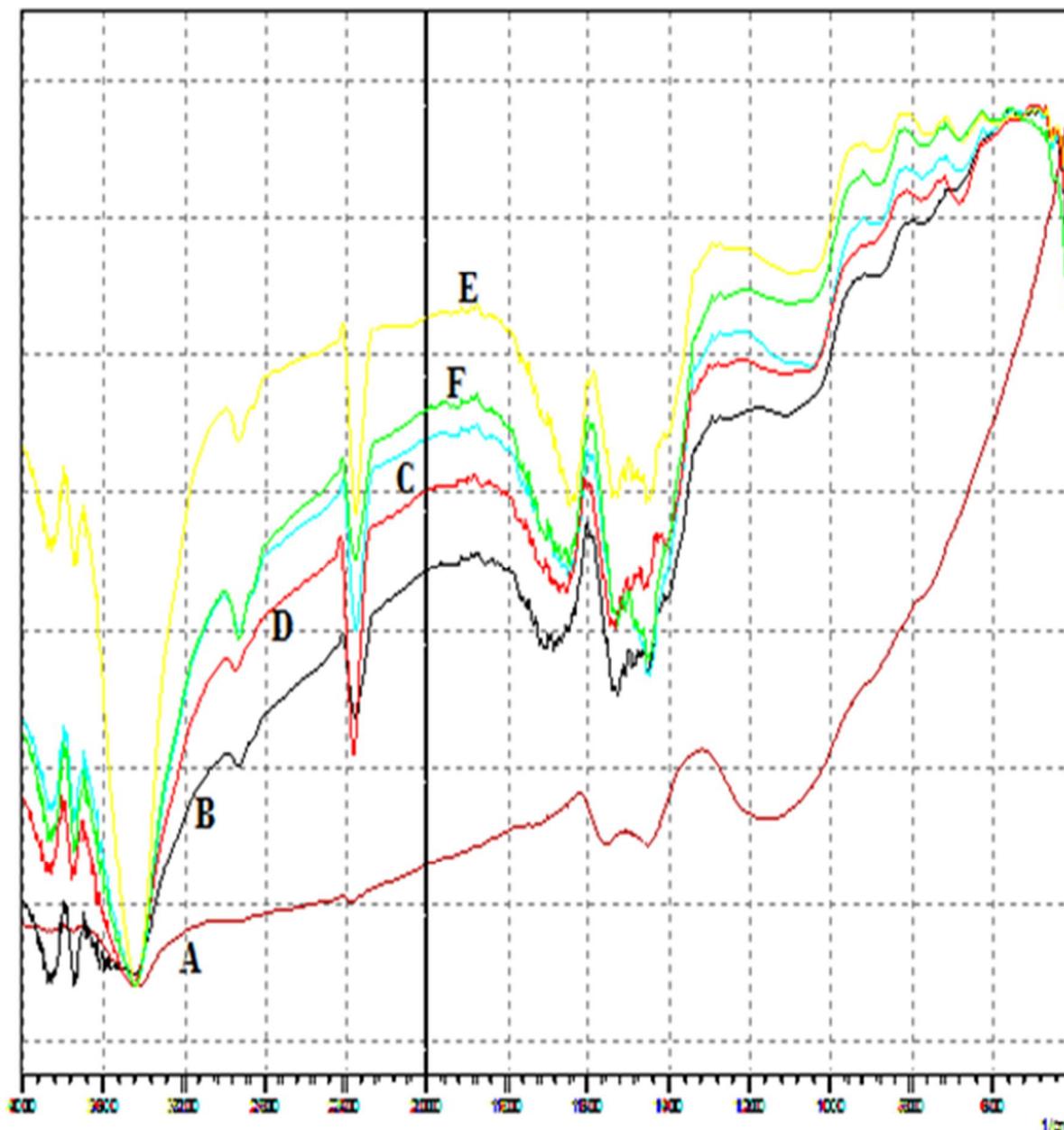
**A :** spectre infrarouge du charbon actif pur.

**B:** spectre infrarouge  $C=0,5 \cdot 10^{-5}$  mol/l, pH=6,  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300$  tours/min,  $t=30$ min.

**C :** spectre infrarouge  $C=0,5 \cdot 10^{-5}$  mol/l, pH=6,  $T=40^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300$  tours/min,  $t=30$ min.

**D :** spectre infrarouge  $C=0,5 \cdot 10^{-5}$  mol/l, pH=6,  $T=80^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300$  tours/min,  $t=30$ min.

**E :** spectre infrarouge  $C=0,5 \cdot 10^{-5}$  mol/l, pH=6,  $T=7^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300$  tours/min,  $t=30$ min.



**Figure III.3:** Spectre FTIR de charbon actif en poudre traité par le bleu de méthylène.

**A :** spectre infrarouge du charbon actif pur.

**B:** spectre infrarouge  $C= 10^{-4}$  mol/l, pH=6,  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300$  tours/min,  $t=2$  min.

**C :** spectre infrarouge  $C= 10^{-4}$  mol/l, pH=6,  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300$  tours/min,  $t=10$  min.

**D :** spectre infrarouge  $C= 10^{-4}$  mol/l, pH=6,  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300$  tours/min,  $t=20$  min.

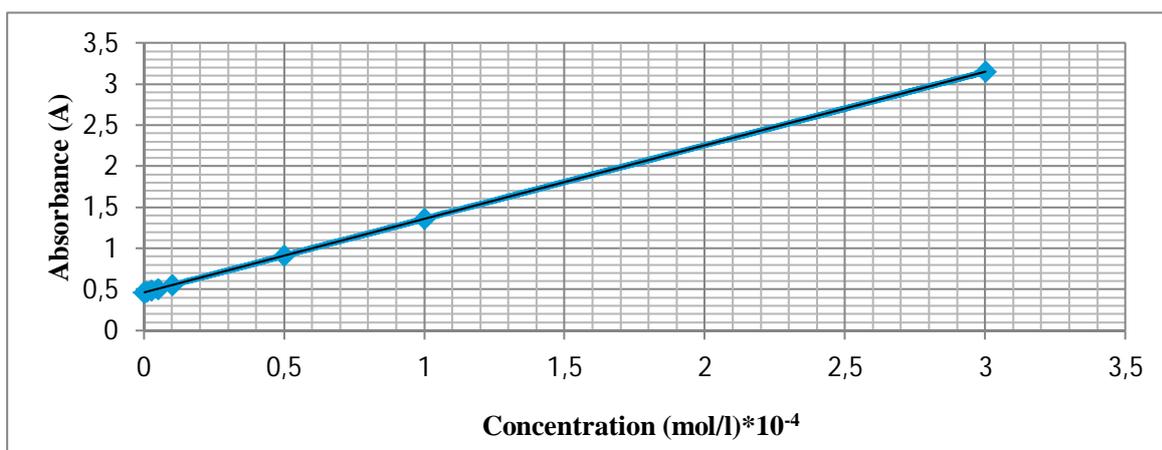
**E :** spectre infrarouge  $C= 10^{-4}$  mol/l, pH=6,  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300$  tours/min,  $t=30$  min.

**F :** spectre infrarouge  $C= 10^{-4}$  mol/l, pH=6,  $T=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V=300$  tours/min,  $t=60$  min.

### III.2. Etude quantitative de l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif

#### III.2.1. Préparation des solutions

La solution mère de bleu de méthylène est préparée à partir de 100 mg, que l'on dissout dans un litre d'eau distillée. Avant chaque série d'essais, on détermine la courbe d'étalonnage : absorbance (A) = f (concentrations en bleu de méthylène) à partir des dilutions successives de la solution mère. La **figure III.4** relie l'absorbance (A) à la concentration (C) : c'est la courbe d'étalonnage.



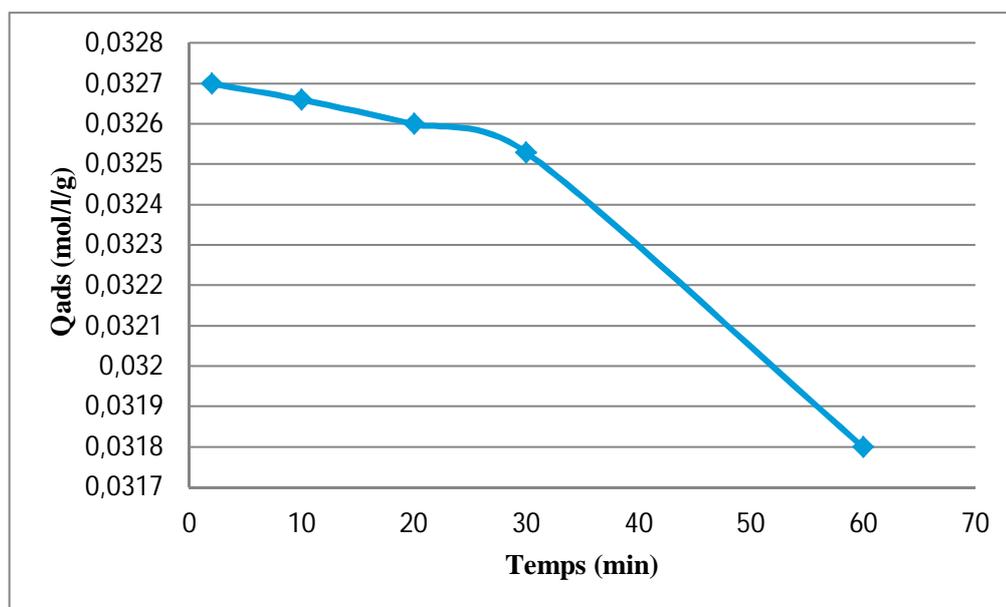
**Figure III. 4** : Courbe d'étalonnage.

#### III.2.2. Dosage de bleu de méthylène

Les concentrations résiduelles en bleu de méthylène sont déterminées à partir de l'absorbance en U.V, à une longueur d'onde  $\lambda = 650\text{nm}$ , sur un spectrophotomètre UV/visible de type SGIMADZU.

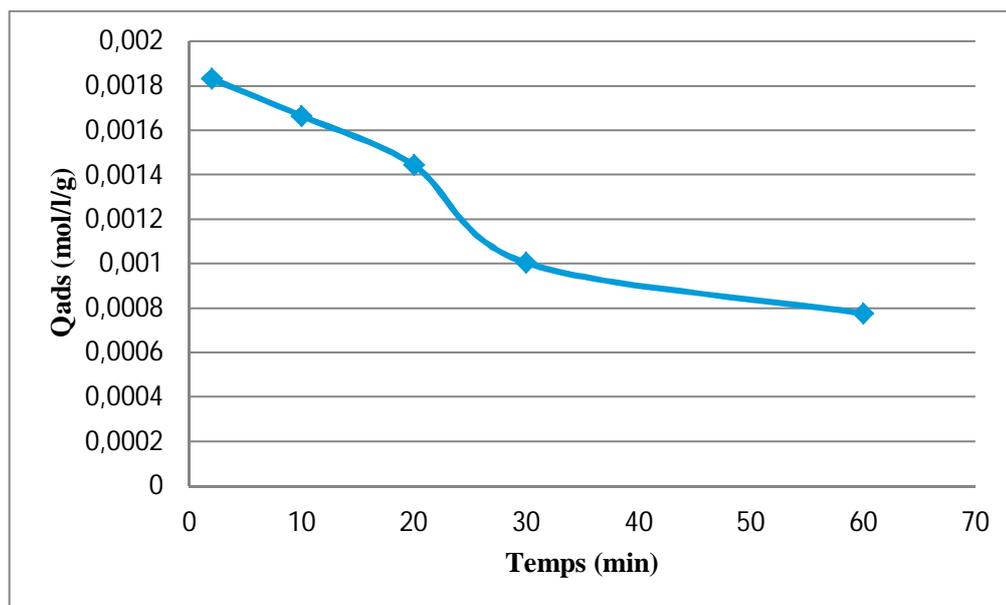
#### III.2.3. Influence du temps de contact sur l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif

Les cinétiques d'adsorption du bleu de méthylène en solution de l'eau distillée à pH égal à 6 et à deux concentrations différentes, à savoir  $10^{-4}\text{mol/l}$  et  $10^{-5}\text{mol/l}$ , pour une masse de charbon actif de 1g ont montré qu'une grande proportion du colorant est adsorbée dans les deux premières minutes. En effet, la quasi-totalité du colorant est éliminée. Ce phénomène constaté pendant les premières minutes de la réaction, peut être interprété 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. Dans tous les essais, le temps de contact a été maintenu à une heure comme maximum, temps nécessaire pour obtenir l'équilibre d'adsorption de ce colorant. (**Figure III.5**), (**Figure III.6**)



**Figure III.5 :** Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif :

$$C=10^{-4}\text{ mol/l, pH}=6, T=25^{\circ}\text{C.}$$



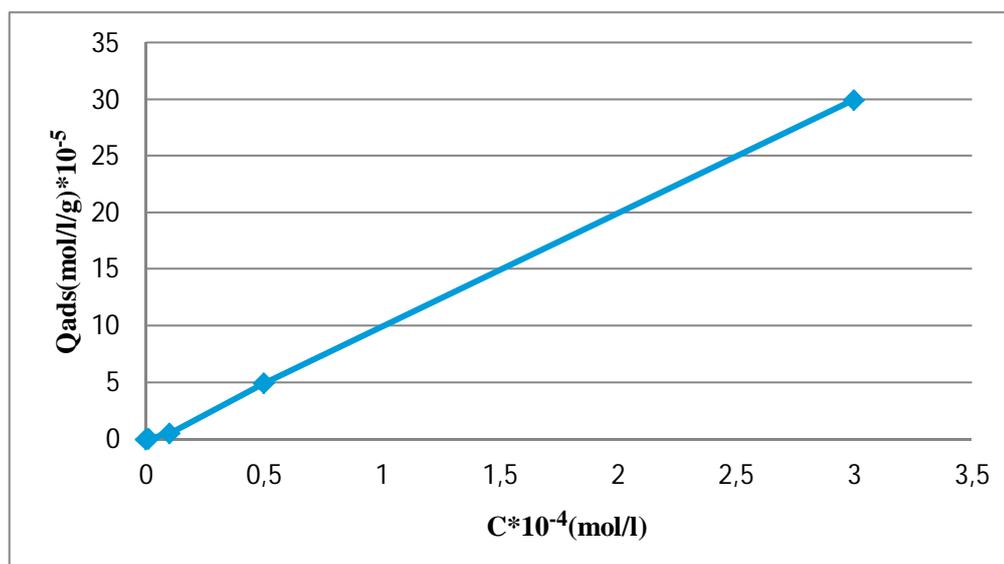
**Figure III.6 :** Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif :

$$C=10^{-5}\text{ mol/l, pH}=6, T=25^{\circ}\text{C}$$

### III.2.4. Influence de concentration initiale de colorant sur l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif

Pour étudier l'influence de la concentration du matériau adsorbant sur la fixation du colorant, des essais ont été menés avec des concentrations de  $10^{-6}\text{ mol/l}$  à  $3.10^{-3}\text{ mol/l}$ . Les autres paramètres sont maintenus constants. En représentant le pourcentage d'élimination du

colorant en fonction de la concentration en adsorbant (**Figure III.7**) nous avons constaté que l'accumulation du colorant croît avec la quantité d'adsorbant introduite, ce résultat s'explique par l'augmentation de la surface de contact offerte par l'adsorbant. (**Figure III.7**)

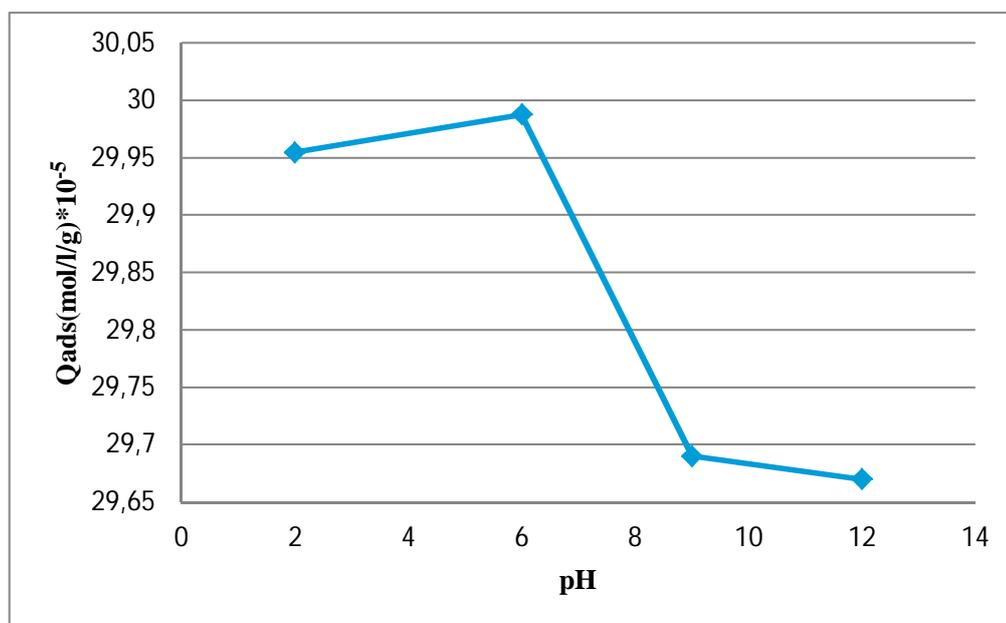


**Figure III.7** : Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif en fonction de concentration initiale.

$$C=10^{-5} \text{ mol/l, pH}=6, T=25^{\circ}\text{C.}$$

### III.2.5. Influence de pH sur l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif

Le pH est un paramètre essentiel à prendre en compte dans les processus d'adsorption des colorants puisqu'il agit sur l'état d'ionisation de la surface de l'adsorbant. Des échantillons ont été préparés dans les mêmes conditions opératoires citées auparavant et au temps d'équilibre. Le pH est ajusté à la valeur désirée par de l'acide sulfurique ou de la soude. Nous notons une hausse sensible du rendement d'adsorption dans la gamme de pH étudiée (2 à 6) respectivement de (99 %), (95,16 %) (**Figure III.8**). Nous déduisons donc que la disponibilité des sites destinés à fixer les colorants anioniques est dépendante du pH. En effet à pH acide, le nombre de sites actifs chargés négativement s'intensifie, ceci est due à l'attraction électrostatique entre le colorant chargé négativement et la surface de l'adsorbant chargée positivement pouvant être par exemple, sous forme qui présentent des sites actifs. La capacité de fixation d'un colorant par un adsorbant est tributaire de la charge surfacique de l'adsorbant. (**Figure III.8**)



**Figure III.8 :** Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif en fonction de pH.

$$C=10^{-5} \text{ mol/l, pH}=6.$$

### III.2.6. Influence de température sur l'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif

La **figure III.9** fait apparaître deux parties distinctes : 7°C au 25°C, l'adsorption évolue d'une façon remarquable ce qui laisse à supposer que la fixation de bleu de méthylène sur le charbon actif s'effectue endothermiquement.

De 25°C jusqu'à 80°C, on constate que la quantité adsorbée devient presque constante.

Pour bien confirmer ce résultat, on recourt à la notion de l'enthalpie ( $\Delta H$ ).

La valeur de l'enthalpie d'adsorption peut être calculée selon l'expression suivante :

$$\ln Q_{\text{ads}(T_1)} = \ln C - \frac{\Delta H}{RT_1} \quad , \quad \ln Q_{\text{ads}(T_2)} = \ln C - \frac{\Delta H}{RT_2}$$

$$\Delta H = R \ln [Q_{\text{ads}(T_2)} / Q_{\text{ads}(T_1)}] / (1/T_1 - 1/T_2)$$

Première partie :

$$T_1 = 7 + 273 = 280 \text{ K}, T_2 = 25 + 273 = 298 \text{ K}.$$

$$\text{Donc : } \Delta H = 8.31 \ln [29,955 \cdot 10^{-5} / 2,964 \cdot 10^{-5}] / (1/280 - 1/298)$$

$$\Delta H = 81,906 \text{ KJ/K.mol}$$

## Chapitre III : Etude qualitative et quantitative de l'adsorption

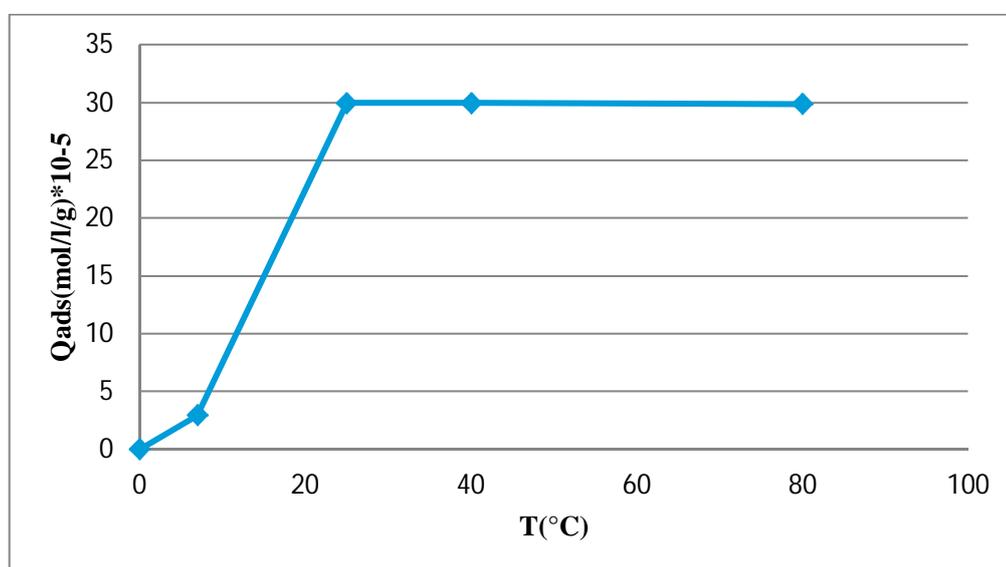
Deuxième partie :

$$T_1=25+273=298K. \quad , \quad T_2=80+273=353K.$$

$$\text{Donc : } \Delta H=8.31 \ln [29,90.10^{-5}/29,955.10^{-5}]/(1/298-1/353)$$

$$\Delta H=-0,0292\text{KJ/K.mol}$$

Température (°C)	7-25	25-80
Enthalpie (KJ/K.mol)	81,906KJ/K.mol>0	-0,0292KJ/K.mol< 0
Nature d'adsorption	endothermique	exothermique



**Figure III.9** : Cinétique d'adsorption de bleu de méthylène sur le charbon actif en fonction de température.

$$C=10^{-5}\text{mol/l, pH}=6.$$

### III.3.Modèles d'isothermes

Plusieurs lois ont été proposées pour l'étude de l'adsorption. Elles expriment la relation entre la quantité adsorbée et la concentration en soluté dans un solvant à une température donnée. Nous rappellerons ci-dessous les principales lois utilisées.

#### III.3.1.Isotherme de Langmuir

C'est le modèle le plus utilisé pour commenter les résultats trouvés au cours de l'adsorption des composés organiques en solution aqueuse. Nous résumons ci-dessous ses principales caractéristiques.

## Chapitre III : Etude qualitative et quantitative de l'adsorption

A une température constante, la quantité adsorbée  $Q_{ads}$  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 :

$$\frac{Q_{ads}}{Q_m} = \frac{KC_e}{1+KC_e} \quad (1)$$

La transformée linéaire de ce modèle a pour équation [45]:

$$\frac{1}{Q_{ads}} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{KQ_m} C_e \quad (2)$$

$$\frac{1}{Q_{ads}} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{KQ_m} C_e$$

En portant  $1/Q_{ads}$  en fonction de  $1/C_e$  on obtient une droite de pente  $1/KQ_m$  et d'ordonnée à l'origine  $1/Q_m$ , cela permet la détermination des deux paramètres d'équilibre de l'équation  $Q_m$  et  $K$ .

Parmi les caractéristiques de l'isotherme de LANGMUIR, on peut citer sa simplicité et le fait que les paramètres  $Q_m$  et  $K$  qu'il permet d'évaluer, ont un sens physique. La valeur de  $K$  est liée à la force d'interaction entre la molécule adsorbée et la surface du solide ; la valeur de  $Q_m$  exprime la quantité de soluté fixée par gramme de solide dont la surface est considérée comme totalement recouverte par une couche mono moléculaire. Cette simplicité est une conséquence des hypothèses restrictives qui permettent d'établir ce modèle [46].

### III.3.2. Isotherme de Freundlich

C'est une équation empirique largement utilisée pour la représentation pratique de l'équilibre d'adsorption. Elle ne repose sur aucune base théorique. Toutefois l'expérience montre qu'elle décrit bien les résultats d'adsorption des micropolluants par les solides tels que les charbons actifs, les sols et les argiles [47]. Elle se présente sous la forme:

$$Q_{ads} = K_f C_e^{1/n_f} \quad (3)$$

$Q_{ads}$ : Quantité adsorbée par gramme du solide.

$C_e$ : Concentration de l'adsorbât à l'équilibre d'adsorption.

$K_f$  et  $1/n_f$ : constantes de FREUNDLICH caractéristiques de l'efficacité d'un adsorbant donné vis-à-vis d'un soluté donné.

La transformée linéaire permettant de vérifier la validité de cette équation est obtenue par passage en échelle logarithmique [48]:

$$\ln Q_{ads} = \ln K_f + \frac{1}{n_f} \ln C_e \quad (4)$$

## Chapitre III : Etude qualitative et quantitative de l'adsorption

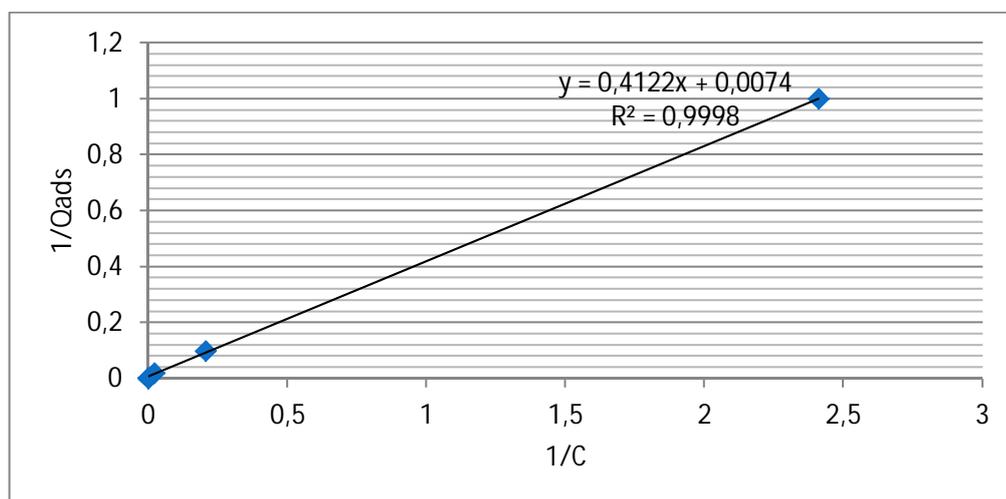
En traçant  $\ln Q_{ads}$  en fonction de  $\ln C_e$ , on obtient une droite de pente  $1/n_f$  et d'ordonnée à l'origine  $\ln K_f$ .

**Modèle de Langmuir :** Le tableau III.1 réunit les données permettant de tracer la courbe

$$1/Q_{ads} = f(1/C).$$

**Tableau III.1 :** données du modèle de Langmuir.

<b>C</b>	0	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$0.5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
<b><math>Q_{ads}</math></b>	0	$0,0415 \cdot 10^{-5}$	$0,488 \cdot 10^{-5}$	$4,93 \cdot 10^{-5}$	$29,96 \cdot 10^{-4}$
<b><math>1/C</math></b>	0	$10^6$	$10^5$	$2 \cdot 10^4$	$3,3333 \cdot 10^3$
<b><math>1/Q_{ads}</math></b>	0	$2,4096 \cdot 10^6$	$2,0491 \cdot 10^5$	$2,0283 \cdot 10^4$	$3,3377 \cdot 10^2$

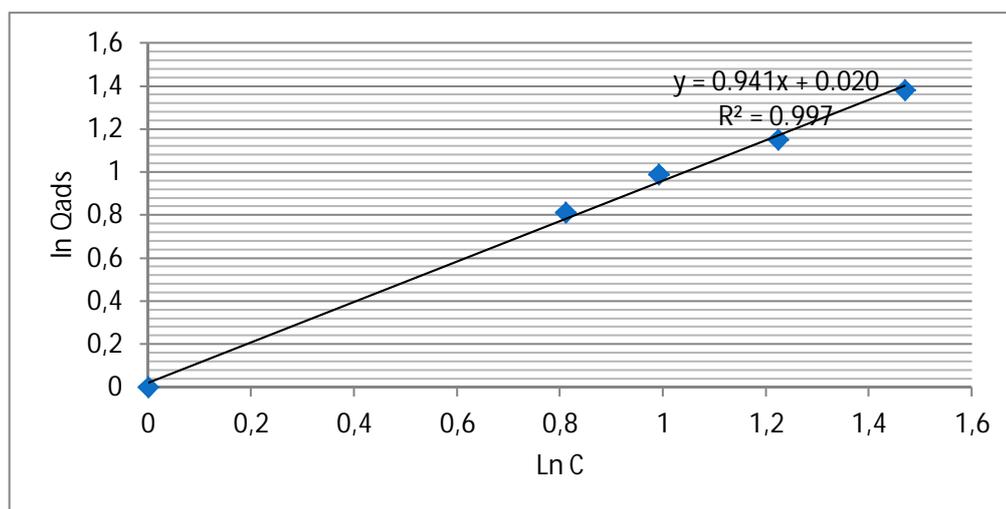


**Figure III.10 :** Isotherme de Langmuir.

**Modèle de Freundlich :** Le tableau III.2 réunit les données permettant de tracer la courbe  $\ln Q_{ads} = f(\ln C)$ .

**Tableau III.2 :** données du modèle de Freundlich.

<b>C</b>	0	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$0.5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
<b><math>Q_{ads}</math></b>	0	$0,0415 \cdot 10^{-5}$	$0,488 \cdot 10^{-5}$	$4,93 \cdot 10^{-5}$	$29,96 \cdot 10^{-4}$
<b><math>\ln Q_{ads}</math></b>	0	-14,6949	-12,2303	-9,9175	-8,1130
<b><math>\ln C</math></b>	0	-13,8155	-11,5129	-9,9034	-8,1117



**Figure III.11** : Isotherme de Freundlich.

Pour bien préciser le mécanisme d'adsorption, on a en recourt à établir deux fonctions dont la première est dite modèle de Langmuir reliant la valeur  $1/C$  avec  $1/Q_{ads}$ , alors que le deuxième modèle est la fonction  $\ln Q_{ads} = f(\ln C)$  appelé aussi modèle de Freundlich. On doit comparer ces deux modèles selon la linéarisation des fonctions qui correspondent. Autrement dit, on est ramené à comparer les coefficients de corrélation  $R^2$ . (**Tableau III.3**)

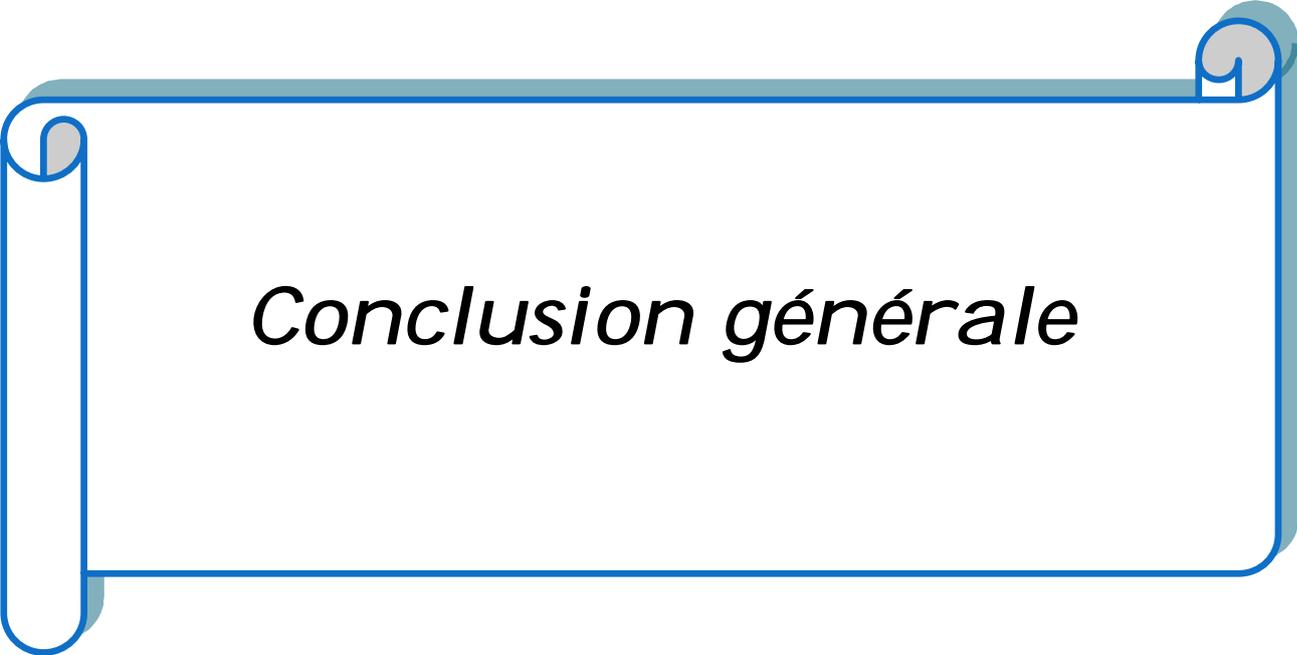
**Tableau III.3** : Comparaison entre les coefficients de corrélation  $R^2$  des deux modèles.

Typed'isotherme	Coefficient de corrélation $R^2$
Langmuir	0.999
Freundlich	0.997

A partir du **tableau III.3**, on remarque bien que l'adsorption du bleu de méthylène sur le charbon actif obéit à la loi de Langmuir.

Alors, le mécanisme d'adsorption de bleu de méthylène sur la surface de charbon actif en poudre selon Langmuir est caractérisé comme suit :

- a** -Seul une couche mono-moléculaire se forme sur le solide.
- b**-L'adsorption est localisée c'est-à dire que la molécule restera adsorbée sur son site définitivement.
- c**-La surface est énergiquement homogène.



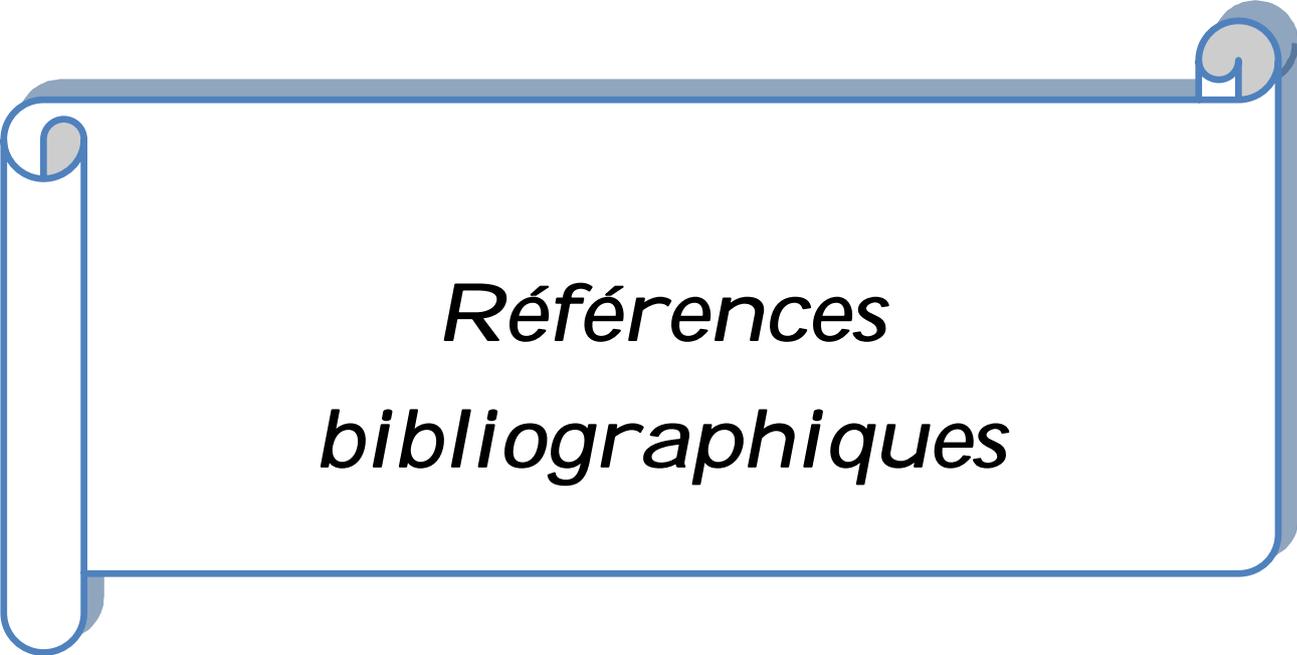
*Conclusion générale*

# Conclusion générale

Cette étude porte sur l'adsorption du colorant bleu de méthylène sur le charbon actif en poudre. Les résultats expérimentaux montrent que le processus d'adsorption dépend du pH de la solution et de la concentration initiale en colorant : la quantité de colorant adsorbée par gramme charbon actif en poudre augmente avec la concentration initiale en colorant et diminue dans des pH basiques. L'étude cinétique de l'adsorption du colorant sur le charbon actif montre que le processus d'adsorption est très rapide : presque 95 % de la quantité adsorbée du colorant est atteinte pendant les deux premières minutes.

Les isothermes d'adsorption du colorant bleu de méthylène sur le charbon actif en poudre sont décrites de manière satisfaisante par le modèle de Langmuir et les paramètres thermodynamiques obtenus indiquent que l'adsorption du colorant bleu de méthylène sur le charbon actif en poudre est un processus endothermique de 7°C et au de là de 25°C, l'adsorption devient presque athermique.

Les valeurs des quantités adsorbées montrent que le charbon actif en poudre présente une meilleure capacité d'adsorption du fait qu'il renferme des sites oxygénés très actif, c'est pour cette raison il est recommandé dans toute opération de décoloration des eaux, autrement dit dans la purification des eaux usées.



*Références  
bibliographiques*

## Références bibliographiques

---

- [1] Encyclopédie UNIVERSALIS, Les colorants, 2003.
- [2] M. Capon, V. Courilleu, C. Valette, Chimie des couleurs et des odeurs, Nantes, Culture et technique, (1999).
- [3] U. Pagga, D. Brown, Chemosphere 15(4) (1986) 479-491.
- [4] L.Zhenwang, L.Zhenluc, L.jranjan. The pt dye molecular structure and its Chromophori clumnescences mechanisme. 15th word conference on non-destructive testing 15-21 October 2000, rome.
- [5] R. Perrin., J.P. Scharef. *Chimie industrielle*. Tome 2. Edition Masson Paris, 1995.
- [6] DEPA (Danish Environmental Protection Agency), Survey of azo-colorants in Denmark, Toxicity and fate of azo dyes, (2000).
- [7] C. Bauer, P. Jacques, A. Kalt, J. Photochem. Photobiol. A: chem. 140(2001), 87 92.
- [8] S. Moncada, R.M. Palmer, E.A. Higgs, Pharmacol. Rev. 43(1991); 109–142.
- [9] A. Colin. *Chimie organique*. Tome 2 éditions paris. (1970).
- [10] E.R. Nestmann, G.R. Douglas, T.I. Matula, C.E. Grant, D.J. Kowbel, Cancer Res. 39(1979). 4412-4417.
- [11] M. Stolte, M. Vieth, ActaEndosc. 31 (2) (2001)125–130.
- [12] T.R. Wallace. Biological Treatment of a Synthetic Dye Water and an Industrial Textile Wastewater Containing Azo Dye Compounds. Thèse Master de génie des sciences de l'environnement, Faculté de Virginie, Institut Polytechnique Juin (2001).
- [13] N. Rosenberg, X. Rousselin. *Rhinite et asthme professionnels aux colorants réactifs*. Document pour le médecin de travail, vol 34, pp111-114. 1988
- [14] M. Hedyatullah. *Les colorants synthétiques*. 4ème trimestre, 1ère édition, 1976.
- [15] F.P. Vandeseer, Anaerobic azo dye reduction. Thèse de Doctorat. Wageningen University, Pays-Bas (2002).
- [16] Y.J.M. Montgomery, Consulting engineers, INS: Water traitement principales and designs, Ed. J. Wiley & Sons, New York. (1985).
- [17] W.J. Jr. Weber, P.M. McGinley, L.E. Katz, Water Res. 25 (1991), 499-528.
- [18] R. Calvet, M. Terce, J.C. Arvieu, Ann. Agron 31(1980), 385-427.
- [19] M.A. Ferro-Garcia, J. Rivera-Utrilla, I. Bantista-Toledd, A.C. Moreno-Castilla, Langmuir 14(1998), 1880-1886.
- [20] R. Calvet, M. Terce, J.C. Arvieu, Ann. Agron. 31 (1980) 33-62.112
- [21] W.J. Weber, B.M. Vanvliet, In: Activated carbon adsorption of organic from the aqueous phase, Ed. I.H. Suffet, M.J. Mc Guire1.

## Références bibliographiques

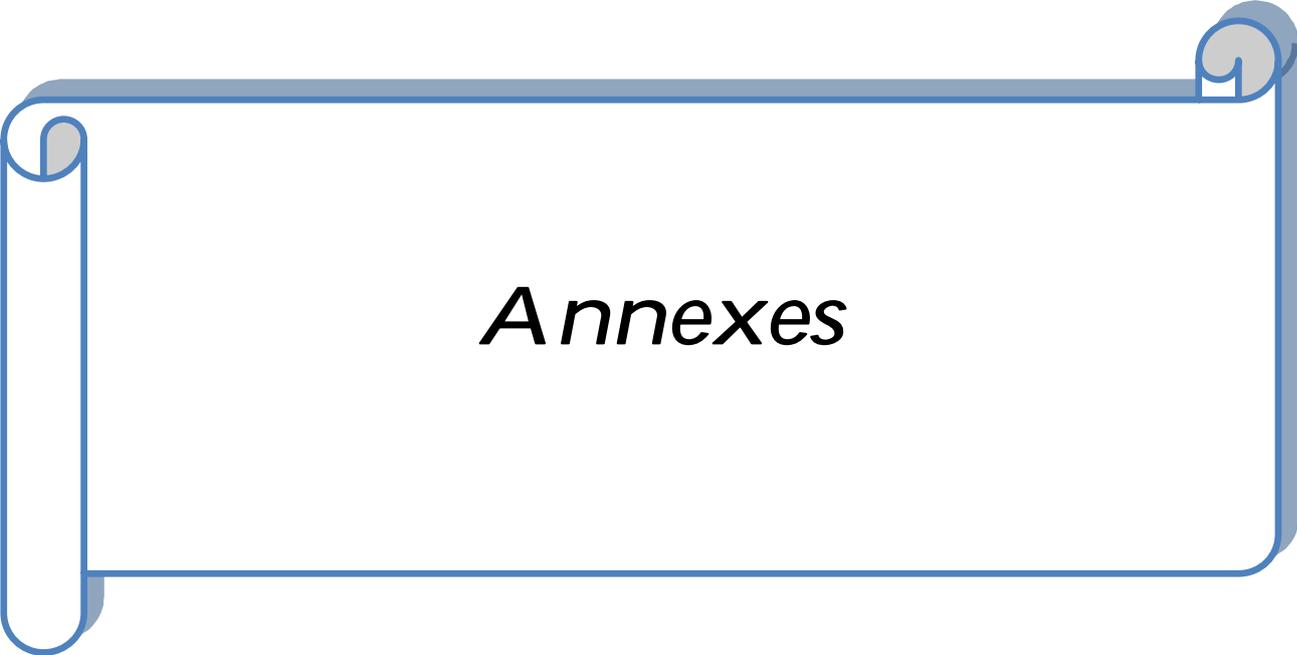
---

- [22] YAHIAOUI Nouara, Memoire de Magister : Etude de l'adsorption des composés phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium, hydroxapatite et charbon actif .Universite MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU.2012
- [23] Edeline, 1998.
- [24] Masschelein, 1996.
- [25] Ubago-Perez et *al.*, 2006.
- [26] Tchobanoglous et *al.*, 2002.
- [27] Adamson, 1960.
- [28] Naib, 2006.
- [29] C.H.Giles, D.Smith, J. Colloid Interf. Sci. 47(1974), 755-765. .
- [30] Griffiths, P.R.Haseth, J.A.Fourier transform infrared spectroscopy in raphs on analytical chemistry and its applications.1986; 38.
- [31] ALBRECHT Remy, Thèse : Co-Compostage de boues destation d'épuration et de déchets verts: Nouvelle méthodologie de suivi des transformations de la matière organique .Universite PAUL CEZANNE AIX-MARSILLE III.2007
- [32] Tahiri. S, Traitement et valorisation des déchets solides industriels, Thèse de Doctorat Faculté des Sciences Ain Choch, Casablanca.
- [33] Barton. S. S, The adsorption of methylene Blue by active carbon, Carbon, 25, pp 243-350, 1987.
- [34] Aerdizzone. S, Gabrielli. G, Lazzari. P, Adsorption of methylene blue at solid/liquid and water/air interfaces, Colloids Surface, 76, pp 149-157, 1993.
- [35] Kaewprasisit. C, Hequet. E, Abidi. N, Gourelot.J.P, Quality measurements. Application of methylene blue adsorption to cotton fiber specific surface area measurements. Part I. Methodology, The Journal of Cotton Sciences, 2, pp 164-173, 1998.
- [36] Thevenet F., Guaitella O., Herrmann J.-M., Rousseau A., Guillard C. Photocatalytic degradation of acetylene over various titanium dioxide-based photocatalysts *Appl. Catal.*
- [37] PDF created with FinePrintpdfFactory trial version <http://www.pdffactory.com>
- [38] Stoeckli H. F, Carbon, 28, pp 1-6, 1990.
- [39] Dubinin, 1955 ; Atkins, 1978 ; De Laat, 1988.
- [40] BANSAL *et al.*, 1988.
- [41] Cookson, 1978 ; De Laat, 1988.
- [42] Encyclopédie Wikipédia, "Applications du charbon actif", (16/11/2011).
- [43] J.L.Figueiredo, M.F.R.Pereira, M.M.A.Freitas, J.J.M.Orfao, *Carbon*, 1999, 37,1379.

## Références bibliographiques

---

- [44] M.A. Montes-Moran, D.Suarez, J.A.Meneudez, E.Fuente, *Carbon*, 2004, 42,1219.
- [45] T. Suziki, K. Ishigaki, *Chem. Eng. Commun.* 34(1985), 143.
- [46] P.C. Hiemenz, in: principales of colloid and surface chemistry, Ed., Marcel Dekker, New York, (1986) 353-419.
- [47] R. Calvet, M. Terce, J.C. Arvieu, *Ann. Argon* 31(1980), 239-257.
- [48] W. Stumm, J.J. Morgan, *Aquatic chemistry*, Ed.2, Wiley inter-science J., Wiley & sons (1981).



*Annexes*

## Annexes

### I-Etude qualitative (IR) :

#### Expérience 1 :

Essai	Concentration (mol /l)	Température (°C)	Temps d'agitation (min)
1	$3 \cdot 10^{-3}$	25	10
2	$3 \cdot 10^{-3}$	40	10
3	$3 \cdot 10^{-3}$	80	10
4	$3 \cdot 10^{-3}$	7	10

#### Expérience 2 :

Essai	Concentration (mol /l)	Température (°C)	Temps d'agitation (min)
1	$5 \cdot 10^{-6}$	25	30
2	$5 \cdot 10^{-6}$	40	30
3	$5 \cdot 10^{-6}$	80	30
4	$5 \cdot 10^{-6}$	7	30

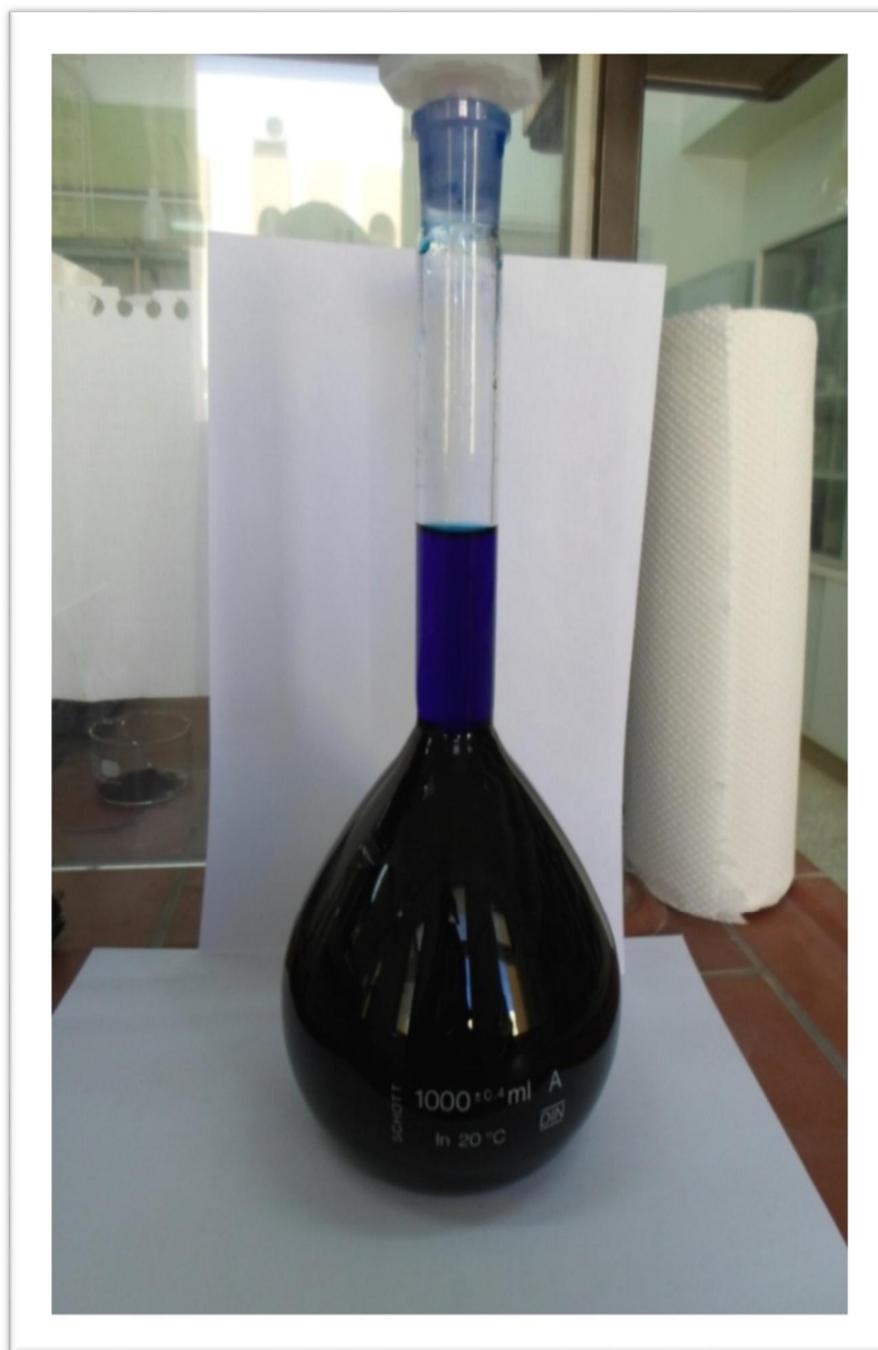
#### Expérience 3 :L'effet du temps de contact et la concentration

Essai	Concentration (mol /l)	Température (°C)	Temps d'agitation (min)
1	$10^{-4}$	25	2
2	$10^{-4}$	25	10
3	$10^{-4}$	25	20
4	$10^{-4}$	25	30
5	$10^{-4}$	25	60

Essai	Concentration (mol /l)	Température (°C)	Temps d'agitation (min)
1	$10^{-5}$	25	2
2	$10^{-5}$	25	10
3	$10^{-5}$	25	20
4	$10^{-5}$	25	30
5	$10^{-5}$	25	60

Essai	Concentration (mol /l)	Température (°C)	Temps d'agitation (min)
1	$10^{-6}$	25	2
2	$10^{-6}$	25	10
3	$10^{-6}$	25	20
4	$10^{-6}$	25	30
5	$10^{-6}$	25	60

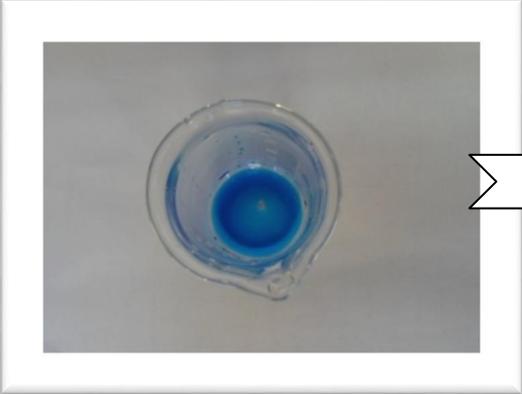
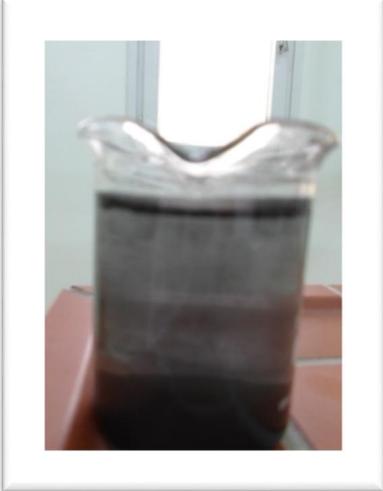
### Préparation des échantillons pour les étudier qualitativement



Solution mère du bleu de méthylène  $0,1 \text{ g/l} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ mol/l}$ .

---

## Annexes

	
<p><b>2ml de la solution mère</b></p>	<p><b>Dilution jusqu' à 100ml</b></p>
	
<p><b>On ajoute 1 g du charbon actif avec T=25°C</b></p>	<p><b>Agitation pendant 30 min</b></p>
	
<p><b>Après agitation</b></p>	<p><b>Après quelques minutes (Décoloration : Elimination quasi-totale du colorant bleu de méthylène)</b></p>

## Annexes

	
<p style="text-align: center;"><b>Filtration</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Produit final récupéré après filtration et prêt à être étudié qualitativement par IR</b></p>

### **II -Etude quantitative (UV-visible) :**

#### **Expérience 1 : préparation des solutions filles**

Essai	1	2	3	4	5	6	7
Concentration (mol/l)	$3 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-6}$



# Annexes

## Expérience 2 :

### 1-L'influence de concentration :

Essai	Concentration (mol /l)	Température (°C)	Temps d'agitation (min)
1	$3 \cdot 10^{-4}$	20	2
2	$5 \cdot 10^{-5}$	20	2
3	$10^{-5}$	20	2
4	$10^{-6}$	20	2

### 2-L'influence de température :

Essai	Concentration (mol /l)	Température (°C)	Temps d'agitation (min)
1	$3 \cdot 10^{-4}$	25	2
2	$3 \cdot 10^{-4}$	40	2
3	$3 \cdot 10^{-4}$	80	2
4	$3 \cdot 10^{-4}$	7	2

### 3-L'influence de pH :

Essai	Concentration (mol /l)	pH	Temps d'agitation (min)
1	$3 \cdot 10^{-4}$	6	2
2	$3 \cdot 10^{-4}$	2	2
3	$3 \cdot 10^{-4}$	9	2
4	$3 \cdot 10^{-4}$	12	2

## III- Généralités sur la pollution des eaux

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et /ou perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et/ou les eaux souterraines.

La pollution de l'eau provient de différentes sources :

- L'industrie chimique suite aux rejets volontaires ou accidentels, en rivière ou en mer, de produits chimique résiduels : métaux lourds, détergents, chlorure de sodium et de potassium (mines de potasse), etc.
- L'agriculture: pesticides, insecticides, engrais utilisées en en excès, déjections des animales (pollution fécale).
- Pollution microbiologique (bactéries, virus, champignons).
- Pollution thermique ou radioactives due aux rejets d'eau de refroidissement des centrales nucléaires dans les eaux naturelles.



### IV-L'eau potable

Une eau est dite **potable** quand elle satisfait à un certain nombre de caractéristiques la rendant propre à la consommation humaine.

Les standards de référence dans ce domaine diffèrent selon les époques et les pays (et selon l'autorité en charge de cette définition dans certains pays). Le concept de « potabilité » varie à travers le monde, fruit d'un contexte historique, scientifique et culturel local. Il détermine la question de l'accès à l'eau, puisqu'une eau de bonne qualité est essentielle au développement économique et humain.

Par exemple, les paramètres pouvant être réglementés sont :

- la qualité organoleptique (couleur, turbidité, odeur, saveur).
- certains paramètres physico-chimiques naturels (température, pH, chlorures : 200 mg/l, sulfates : 250 mg/l, etc.).
- des substances dites indésirables (nitrates : 50 mg/l, nitrites, pesticides, etc.).
- des substances toxiques (arsenic, cadmium, plomb, hydrocarbures, etc.).
- des paramètres microbiologiques (l'eau ne doit pas contenir d'organismes pathogènes, dont coliformes fécaux).

## Annexes

---

Ces paramètres peuvent avoir à être assurés par traitement spécifique de l'eau; dans certains cas il pourra s'agir d'un simple stockage en milieu hermétique (Citerne souple) ou autre, permettant la stabilisation biologique.

### **Origine des eaux potables**

#### **Eaux de source, eaux minérales**

Les eaux dites « de source » sont des eaux naturellement propres à la consommation humaine ; on parle alors d'eau potable. En Europe, les seuls traitements qu'il est permis de leur appliquer sont l'aération, la décantation et la filtration. Aux États-Unis, les traitements sont acceptés. Les eaux naturellement gazeuses, qui contiennent du dioxyde de carbone dissous, peuvent également être regazéifiées avant d'être embouteillées.

Les eaux minérales naturelles, elles, possèdent des propriétés particulières : elles ont des teneurs en minéraux et en oligo-éléments qui peuvent leur donner des vertus thérapeutiques. Comme les eaux de source, elles ne peuvent être traitées. Une eau ne peut être qualifiée en France de minérale que si elle a été reconnue comme bénéfique pour la santé par l'Académie de médecine et le Ministère de la Santé .En ce sens, c'est un aliment. Elle est d'origine profonde et de composition physico-chimique constante dans le temps, et satisfait à des exigences microbiologiques plus strictes que les autres eaux destinées à la consommation humaine (à l'émergence).

Certaines eaux très fortement minéralisées dépassent les critères législatifs de minéralisation tolérées pour les eaux brutes. Par extension, et certains composants tels que le fluor et les sulfates n'étant bénéfiques pour la santé qu'à faibles doses, il arrive qu'elles soient qualifiées de « non-potable ».

#### **Eaux brutes**

De la qualité des eaux brutes (ressource en eau avant tout traitement de potabilisation) va dépendre :

- l'autorisation de prélever cette eau pour la rendre potable.
- la filière de potabilisation appropriée.

En application du droit communautaire, les eaux superficielles destinées à la production alimentaire doivent répondre à des exigences de qualité très précises et fixés par des organismes spécialisés.

---

## Annexes

---

Le système de classification actuel s'articule autour de deux éléments :

- les paramètres de qualité auxquels doivent en tout état de cause répondre les eaux brutes.
- le procédé-type de traitement utilisé pour la potabilisation. Les eaux brutes sont classées en trois catégories, selon l'intensité du procédé :
  - # A1 : Qualité bonne, traitement physique simple et désinfection (dans une « chambre de contact »)
  - # A2 : Qualité moyenne, traitement normal physique, chimique et désinfection
  - # A3 : Qualité médiocre, traitement physique, chimique poussé, affinage et désinfection.

Paramètres à ne pas dépasser pour une eau brute destinée à la production d'eau potable

### Paramètres organoleptiques

Coloration après filtration dépassant 200 mg/l de platine en référence à l'échelle platine/cobalt.

### Paramètres en relation avec la structure naturelle des eaux

- température de l'eau inférieure à 25 °C (cette valeur ne s'applique pas dans les départements d'outre-mer).
- pour les substances suivantes, les valeurs limites sont :
  - Chlorures : 200 mg/l (Cl).
  - Sulfates : 250 mg/l (SO<sub>4</sub>).
  - Sodium : 200 mg/l (Na).
- pour les eaux superficielles, pourcentage d'oxygène dissous inférieur à 30 % de la valeur de saturation.

### Paramètres concernant des substances indésirables

Pour les substances suivantes, les valeurs limites sont :

- nitrates : 50 mg/l (NO<sub>3</sub>) pour les eaux superficielles, 100 mg/l (NO<sub>3</sub>) pour les autres eaux.
-

## Annexes

---

- ammonium : 0,1 mg/l (NH<sub>4</sub>).
- oxydabilité (KMnO<sub>4</sub>) en milieu acide : 10 mg/l (O<sub>2</sub>).
- phénols (indice phénol) para-nitraniline et 4-amino-antipyrine : 0,1 mg/l (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH).
- agents de surface (réagissant au bleu de méthylène) : 0,5 mg/l (lauryl-sulfate).
- hydrocarbures dissous émulsionnés après extraction : 1 mg/l.
- zinc : 5 mg/l (Zn).
- baryum : 1 mg/l (Ba) pour les eaux superficielles.

### Paramètres concernant des substances toxiques

- Pour les substances suivantes, les valeurs limites sont :
  - arsenic : 10 micros g/l (As).
  - cadmium : 5 micros g/l (Cd).
  - cyanures : 50 micros g/l (CN).
  - chrome total: 50 micros g/l (Cr).
  - mercure : 1 micro g/l (Hg).
  - plomb : 50 micros g/l (Pb).
  - sélénium : 10 micros g/l (Se).
  - pesticides 5 micro g/l (par substance individualisée : 2 micro g/l).
  - hydrocarbures aromatiques polycycliques :
- Pour le total des six substances suivantes : 1 micro g/l :fluoranthène ; benzo (3,4) fluoranthène ; benzo (11,12) fluoranthène ; benzo (3,4) pyrène ; benzo (1,12) pérylène ; indéno (1, 2, 3-cd) pyrène.

### Paramètres microbiologiques

Eau contenant plus de 20 000 Escherichia coli et plus de 10 000 entérocoques par 100 millilitres d'eau prélevée.

---

## Résumé

L'objectif de notre travail est l'étude qualitative et quantitative de l'adsorption d'un colorant organique (Bleu de méthylène) sur la surface de charbon actif.

L'étude qualitative, réalisée à l'aide de spectroscopie FTIR, a montré une bonne superposition du bleu de méthylène sur l'adsorbant en question. Cette adsorption est traduite, bien entendu, par l'apparition des bandes caractéristiques de l'adsorbat.

En ce qui concerne l'étude quantitative, on a focalisé notre intérêt en premier lieu sur la cinétique d'adsorption en fonction des facteurs influençant le phénomène. En deuxième lieu, on a testé deux modèles à savoir le modèle de Langmuir et celui de Freundlich et on a abouti au fait que le mécanisme d'adsorption suit le modèle de Langmuir.

**Mots clés :** charbon actif, bleu de méthylène, adsorption, cinétique.

## ملخص

الهدف من عملنا هو الدراسة الكيفية و الكمية لامتصاص صبغ عضوي ألو هو أزرق المثلين على سطح الكربون النشط.

الدراسة الكيفية تمت باستعمال مطيافية ما تحت الأحمر و أكدت توضعاً جيداً لأزرق المثلين على الكربون النشط وهذا الامتصاص ترجم بظهور عصابات الامتصاص الخاصة بالصبغ العضوي.

أما فيما يخص الدراسة الكمية، فقد ركزنا اهتمامنا في بادئ الأمر على العوامل المؤثرة على الامتصاص ثم قمنا بتجربة نموذجين لتفسير آلية توضع الصبغ العضوي على الكربون النشط فوجدنا نموذج لونغمير هو الأصلح.

## الكلمات المفتاحية

الكربون النشط، أزرق المثلين، الامتصاص، الحركية.