

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE:DES SCIENCES

DEPARTEMENT :DEPARTEMENT
DES SCIENCES DE LA NATURE ET
DE LA VIE

N° :.....



DOMAINE :SCIENCES DE LA
NATURE ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCE BIOLOGIQUE

OPTION:ECOLOGIE DES MILIEUX

NATURELS

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme deMaster Académique**

Par: Zaki jamal et N eghbil Amina

Intitulé

Méthodes de traitement des eaux polluée par les colorants

Soutenu devant le jury composé de :

Rabah Bounar

Université de M'sila

Président

Smail Terchi

Université de M'sila

Rapporteur

Yacine Nwidjem

Université de M'sila

Examineur

Année universitaire : 2019 /2020

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents qui m'ont fortement soutenu tout au long de ma vie et de tout projet que je souhaitais mettre en œuvre. Tous mes sentiments de gratitude et de fierté envers eux. Dieu Tout-Puissant. Je leur donne de la santé et du bonheur tout au long de leur vie, à tous mes frères et amis qui ne se sont pas arrêtés un instant pour me soutenir et m'encourager afin que je puisse avancer, et enfin à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce projet.

Remerciement

Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant, qui m'a doté d'une santé morale et physique ainsi que du courage et de la force pour pouvoir accomplir ce travail. Assi bien notre encadreur Mr Terchi Smail pour sa formation, ces précieux conseils, sa patience et sa générosité, et je remercie tous ceux qui m'ont enseigné dans mon parcours académique. Bien sûr, je n'oublie pas tous ceux qui m'ont aidé directement ou indirectement à faire ce travail, et enfin un merci spécial à tous les membres de ma famille, ainsi qu'à mes amis et collègues pour leur soutien et leurs encouragements.

INTRODUCTION GENERALE:	1
CHAPITRE1: POLLUTION:	3
1.1 SITUATION ENVIRONNEMENTALE DANS LE MONDE:	4
1.1.1 3,4 MILLIARDS DE TONNES DE DECHETS PAR AN EN 2050:	4
1.1.2 44 % DE DECHETS ORGANIQUES:	5
1.1.3 5 % DES GAZ A EFFET DE SERRE:.....	6
1.1.4 18 FOIS PLUS DE DECHETS INDUSTRIELS QUE DE DECHETS MENAGERS:	7
1.2 POLLUTION:.....	7
1.2.1 DEFINITION DE POLLUTION:	7
1.2.1.1 Définition de la pollution donnée par la Directive européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000: .	8
1.2.2 LES PRINCIPALES CAUSES DE POLLUTION:	8
1.2.3 TYPES DE POLLUTION:	9
1.2.3.1 Pollution de sol:.....	9
1.2.3.1.1 contexte du colloque international sur la pollution du sol:.....	9
1.2.3.1.2 Définition de la pollution des sols:	9
1.2.3.1.3 Les causes possibles:	9
1.2.3.2 Pollution de l'air:	10
1.2.3.2.1 Définition Pollution des air:	11
1.2.3.3 Pollution de l'eau :.....	12
1.2.3.3.1 Définition Pollution des l'eau:.....	12
1.2.3.3.1.1 L'eau :.....	12
1.2.3.3.1.2 Caractéristiques physiques de l'eau:.....	13
1.2.3.3.1.3 Propriétés chimiques:	13
1.2.3.3.1.4 La Pollution:	14
1.2.3.3.2 les origines de la pollution de l'eau:.....	14
1.2.3.3.3 les différents types de pollution:.....	14
1.2.3.3.4 Infographie (la pollution de l'eau dans le monde):	15
1.2.3.3.4.1 Dans afrique :	16
1.2.3.3.5 Que pouvons nous faire :	16
CHAPITRE 2: LES COLORANTS:	18
2.1 HISTORIQUE DES COLORANTS:.....	18
2.2 GENERALITE DES COLORANTS:.....	18
2.3 L'ORIGINE DES COLORANTS:	19
2.4 DEFENITION ET NATURE DES COLORANTS:.....	19
2.4.1 NATURE DES PRINCIPAUX COLORANTS:.....	20
2.5 STRUCTURE CHIMIQUE DES COLORANTS:	20
2.5.1 LE GROUPEMENT CHROMOPHORE :	20
2.5.2 LE GROUPEMENT AUXOCROME :	21
2.5.3 LE GROUPE SOLUBILISANT :	22
2.6 LES SUBSTANCES COLORANTES LE PHENOMENE DE COLORATION:	22
2.7 LES COLORANTS ET LEUR IMPECTES ENVIRONNEMENTAUX:	23
2.7.1 BIO-ACCUMULATION:	23
2.7.2 TOXICITE DES COLORANTS:	24

2.8 NORMES ALGERIENNES:.....	24
2.9 UTILISATION DES COLORANTS:	25
2.10 IMPACT DES REJETS DE COLORANTS:	26
2.11 CLASSIFICATION DAS COLORANTS:.....	26
2.11.1 CLASSIFICATION CHIMIQUE:	26
2.11.2 CLASSIFICATION TINCTORIALE:	27
CHAPITRE 3 : METHODE DE TRAITEMENT DES COLORANTS:.....	31
3.1 METHODE BIOLOGIQUES:.....	31
3.1.1 DECOLORATION PAR LES CHAMPIGNONS:	31
3.1.2 LES BACTERIES:	32
3.1.3 LES ALGUES:	37
3.1.4 LES DEFERENTES TYPE DE TRAITEMENT BIOLOGIQUES:	38
3.1.4.1 Aérobic:	38
3.1.4.2 Anaérobic:	38
3.2 METHODE CHIMIQUE:	39
3.3 METHODE PHYSIQUE:.....	39
3.3.1TRAITEMENT DE PRECIPITATION:	39
3.3.2 FILTRATION SUR MEMBRANE:.....	41
3.3.3 ADSOEPTION:	42
3.3.3.1 Héstorique d'adsorption:	42
3.3.3.2 Généralité sur le phénomène d'adsorption:.....	42
3.3.3.3 Types d'adsorption:.....	42
3.3.3.4 Le mécanisme d'adsorption:	43
3.3.3.5 Les grands types d'adsorbants:	43
3.3.3.6 Les propriétés des adsorbants:	44
3.3.3.7 La nature des adsorbants:	46
3.3.3.7.1 les charbons actifs.....	46
3.3.3.7.2 les alumines, Al ₂ O ₃ n(H ₂ O):.....	48
3.3.3.7.3 les sillces,(SiO ₂ , n H ₂ O):.....	49
3.3.3.7.4 les zéolithes:	49
3.3.3.7.5 Les argiles:.....	49
3.3.3.8 Etude de l'influence de quelques paramètres sur l'adsorptlon de colorant:.....	54
3.3.3.9 Nature de liaison adsorbât-adsorbant:	55
3.3.3.9.1 Nature de l'adsorbant:	55
3.3.3.9.2 Nature du solvant:.....	56
3.3.3.9.3 Nature de l'adsorbât:	56
3.3.3.10 Capacité d'adsorption:	56
LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:	58
RESUME:.....	67

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: LA PRODUCTION DE DECHETS MUNICIPAUX PAR REGION EN 2016, 2030 ET 2050. CELINE DELUZARCHE, D'APRES BANQUE MONDIALE	5
FIGURE 2: LA COMPOSITION DES DECHETS MUNICIPAUX. CELINE DELUZARCHE, D'APRES LA BANQUE MONDIALE.....	6
FIGURE 3: LA COLLECTE ET LE TRAITEMENT DES DECHETS EMETTENT 1,6 MILLIARD DE TONNES EQUIVALENT CARBONE PAR AN. JULIZA09, FOTOLIA.....	6
FIGURE 4: LA PRODUCTION DE DECHETS SPECIAUX DANS LE MODE	7
FIGURE 5: POLLUTION DE SOL	10
FIGURE 6: POLLUTION DES AIR.....	11
FIGURE 7: LA FORMULE DE LEWIS	13
FIGURE 8: POLLUTION DE L'EAU PHOTO DE YOGENDRA SINGH PROVENANT DE PEXELS	15
FIGURE 9: LE GROUPEMENT CHROMOPHORE.....	21
FIGURE 10: LE GROUPEMENT AUXOCHROME	21
FIGURE 11: PRINCIPAUX GROUPES CHROMOPHORES ET AUXOCHROMES, CLASSES PAR INTENSITE CROISSANTE (ZILLE, 2005)	22
FIGURE 12: LE GROUPE SOLUBILISANT	22
FIGURE 13: CONSEQUENCES DE LA BIOACCUMULATION APRES DEVERSEMENT DE SUBSTANCES TOXIQUES (INSECTICIDES) DANS UN COURS D'EAU	23
FIGURE 14: TYPES DE REJET TEXTILES	26
FIGURE 15: CINETIQUE DES COLORANTS ALIMENTAIRES.....	30
FIGURE 16: REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES DIFFERENTS TYPES DE PORES.....	45
FIGURE 17: REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA SURFACE INTERNE ET EXTERNE D'UN ADSORBANT.	46

LISTE DES TABLEAUX :

TABLEAU 1: VALEURS LIMITES DES PARAMETRES DE REJETS D'EFFLUENTS TEXTILES	25
TABLEAU 2: CLASSIFICATION DES COLORANTS	27
TABLEAU 3: PRINCIPAUX TRAVAUX PORTANT SUR LA BIODEGRADATION DES COLORANTS AZOIQUES DANS DES CONDITIONS OXYGENEES.....	33
TABLEAU 4: QUELQUES ETUDES SUR LA REDUCTION DE COLORANTS AZOIQUES PAR DES BACTERIES AEROBIE INCUBEES DANS DES CONDITIONS LIMITEES EN AXYGENE	36
TABLEAU 5: CARACTERISTIQUES DES PRINCIPAUX ADSORBANTS INDUSTRIELS.....	44

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La protection de l'environnement est devenue une préoccupation majeure de notre société et motivée, à côté d'études sur la réduction des facteurs créateurs de pollution, le développement croissant de recherches pour l'amélioration des méthodes de dépollution.

Les sociétés occidentales consomment des quantités d'eau très importantes, pour un usage domestique ou industriel et l'utilisation de cette eau entraîne sa contamination par divers éléments (particules solides, bactéries, molécules organiques et minérales...). Une fois utilisée, l'eau est encore souvent rejetée dans le milieu naturel, malgré le développement de la pratique de la réutilisation. Cependant, le rejet direct dans l'environnement est exclu du fait de l'impact de la pollution contenue dans les eaux sur le milieu récepteur (faune et flore) et la santé humaine avant d'être rejetée, l'eau doit donc être traitée afin de minimiser son impact sur le milieu naturel.

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'Union Européenne, quant à elles, ne fixent pas de lois mais donnent des orientations pour la fixation des concentrations maximales admissibles (CMA). Elles donnent des recommandations qui tiennent compte de risques et fixent un seuil de tolérance et une CMA.

L'organisation mondiale de la santé (OMS) considère que 80 % des maladies qui affectent la population mondiale sont directement véhiculées par l'eau : 400 millions de personnes sont atteintes en permanence de gastro-entérites, 160 millions de paludisme et 30 millions d'onchocercose. Malgré les apparences, la transmission des maladies par une eau polluée n'est pas l'apanage des pays en voie de développement et l'élaboration de normes sur les eaux de consommation vise à fournir aux consommateurs une eau qui ne constitue pas un risque pour la santé.

Actuellement, les rejets de l'industrie du textile sont lourdement chargés en colorants. Ces derniers sont souvent utilisés en excès pour améliorer la teinture ; de ce fait les eaux de rejet se trouvent fortement concentrées en colorants dont la faible biodégradabilité rend les traitements biologiques difficilement applicables, ce qui constitue une source de dégradation de l'environnement.

Plusieurs techniques ont été employées pour l'élimination des polluants des effluents industriels.

Ce mémoire comprend trois chapitres

Le premier chapitre est une recherche bibliographique contenant des rappels sur des différents types de pollution (air, sol et spécialement des eaux).

Le deuxième chapitre sera consacré au les colorants ; définitions, classifications, utilisations et ses impact sur l'être humain et l'environnement

Dans le troisième chapitre, nous avons étudié les méthodes de traitement des eaux polluées par les colorants et ce travail termine par une conclusion générale.

CHAPTER1: POLLUTION

1.1 Situation environnementale dans le monde:

En 1950, soit cinq ans après la création de l'Organisation des Nations Unies, la population mondiale était estimée à près de 2,6 milliards de personnes. Elle a ensuite atteint 5 milliards d'individus en 1987, puis 6 milliards en 1999.

En octobre 2011, le chiffre de 7 milliards de personnes sur notre planète avait été franchi. Ce moment unique dans l'histoire de l'humanité a représenté à la fois un accomplissement et un défi. En tant qu'institution des Nations Unies chargée de marquer ce tournant, le Fonds des Nations Unies pour la population (FNUAP) a piloté une campagne innovante intitulée « 7 Milliards d'Actions », qui mettait l'accent sur les défis, les possibilités et les actions nécessaires à notre avenir commun sur la Terre.

Selon les projections, la population mondiale devrait augmenter de 2 milliards de personnes au cours des trente prochaines années, passant de 7,7 milliards actuellement à 9,7 milliards en 2050. Elle pourrait atteindre un nombre proche de 11 milliards d'individus vers l'an 2100.[01]

Cette forte croissance du nombre de personnes dans le monde nécessite une consommation importante de ressources naturelles, qui augmente chaque année, ce qui conduit à un déséquilibre de l'équilibre naturel

L'exploitation des ressources naturelles a atteint un stade alarmant conduisant à une surexploitation qui tend à se généraliser. Annuellement il est retiré de l'espace naturel:

- 3 milliards de mètre cube de bois,
- 12 milliards de tonnes de pétrole,
- 10000 m³ d'eau sont consommées par un hectare de céréales
- 1,2 millions d'arbres sont transformés en papier toilette uniquement

Cette croissance démographique entraîne une augmentation de la quantité de pollution Dans le monde 70 % de déchets en plus d'ici 30 ans ,Cette hausse est d'autant plus alarmante qu'elle se produira en grande partie dans les pays en développement, où les déchets sont souvent mal pris en charge et sources de pollution .[02]

1.1.1 3,4 milliards de tonnes de déchets par an en 2050:

La production annuelle de déchets municipaux (déchets ménagers et autres déchets pris en charge par une commune ou une collectivité territoriale) dépasse déjà les 2 milliards de tonnes par an. En raison de l'urbanisation rapide, de l'augmentation du niveau de vie et de la croissance démographique, ce

volume risque d'augmenter de 70 % pour atteindre les 3,4 milliards de tonnes en 2050, d'après la Banque mondiale. En Afrique subsaharienne, les pays devront même faire face à un triplement de la masse des déchets, avec plus de 516 millions de tonnes contre 174 aujourd'hui. Une catastrophe, d'autant plus que ces pays disposent de peu d'infrastructures pour gérer cet afflux.

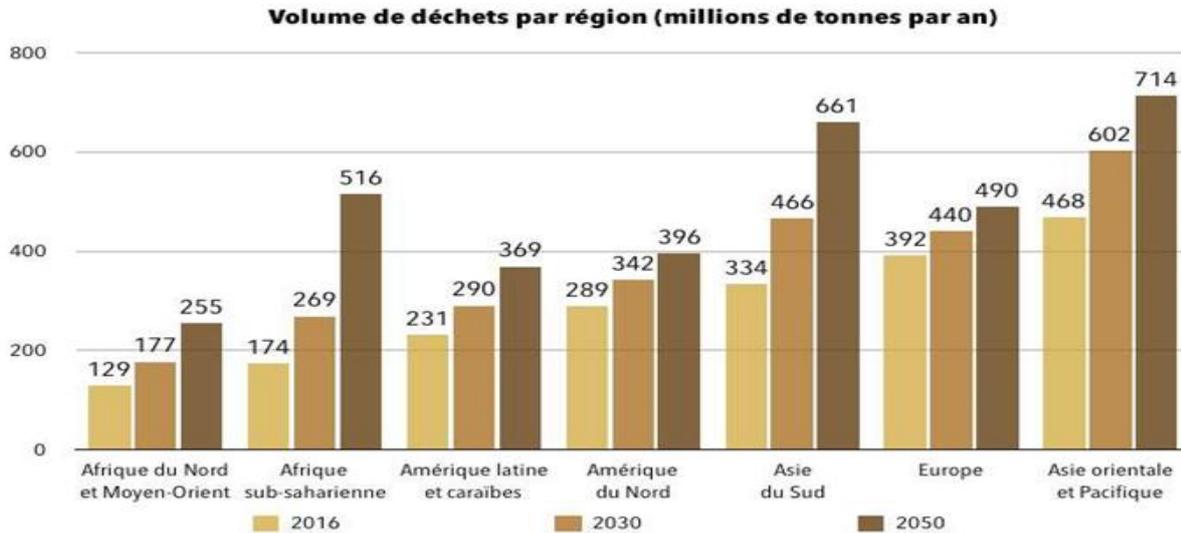


Figure 1: La production de déchets municipaux par région en 2016, 2030 et 2050. Céline Deluzarche, d'après Banque Mondiale

1.1.2 44 % de déchets organiques:

Les déchets alimentaires ou végétaux représentent la plus grosse partie (44 %) du volume total. Le plastique arrive deuxième, avec 17 % du volume de déchets. Là encore, de fortes disparités sont observables en fonction du niveau de développement. Les pays à faible revenu produisent davantage de déchets alimentaires, tandis que les pays développés produisent davantage de déchets « secs » (plastique, papier, métal, ou verre), issus notamment de l'industrie et des produits de consommation.

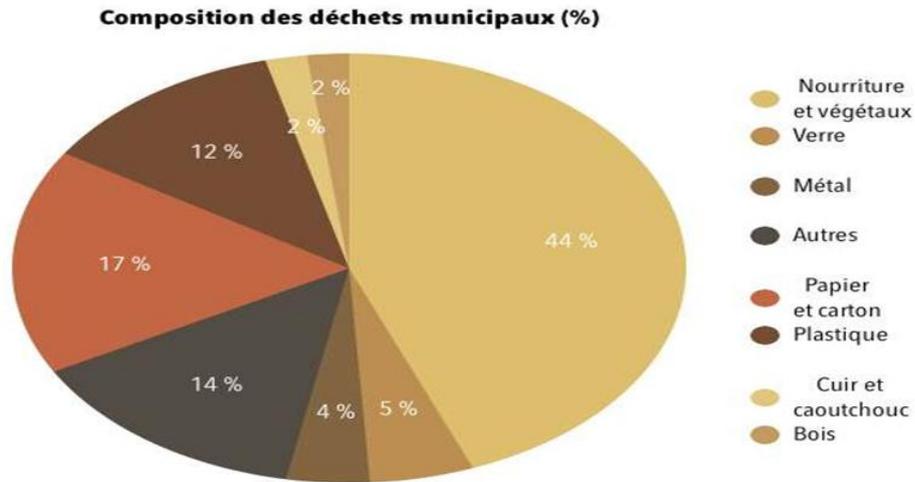


Figure 2: La composition des déchets municipaux. Céline Deluzarche, d'après la Banque mondiale

1.1.3 5 % des gaz à effet de serre:

La collecte et le traitement des déchets génèrent 1,6 milliard de tonnes d'équivalent carbone par an, soit 5 % des émissions totales de gaz à effet de serre. Si rien n'est fait, ce chiffre pourrait atteindre 2,6 milliards de tonnes en 2050, aggravant d'autant le réchauffement climatique, prévient en substance la Banque mondiale. Ces émissions proviennent en grande partie du méthane dégagé par la décomposition des ordures dans les décharges. Un gaspillage d'autant plus révoltant que ce méthane pourrait être récupéré comme ressource énergétique pour le chauffage des bâtiments.



Figure 3: La collecte et le traitement des déchets émettent 1,6 milliard de tonnes équivalent carbone par an. juliza09, Fotolia

1.1.4 18 fois plus de déchets industriels que de déchets ménagers:

Les ménages ne sont pas, de loin, la première source de déchets. L'industrie en génère ainsi 18 fois plus, soit 12,7 kg de déchets par jour et par habitant. Ces déchets non dangereux (ferraille, papier-carton, verre, textile, bois, plastique...) peuvent être valorisés, par exemple comme combustible en remplacement du pétrole. Le problème provient surtout des déchets dangereux (matériaux contenant de l'amiante, déchets médicaux, appareils contenant des PCB et PCT...), particulièrement difficiles à traiter et qui présentent un haut niveau de toxicité pour l'environnement. L'agriculture est également une importante productrice de déchets, mais il s'agit souvent de débris organiques faisant l'objet d'une collecte séparée et pouvant être réutilisés comme engrais ou pour la nourriture du bétail.

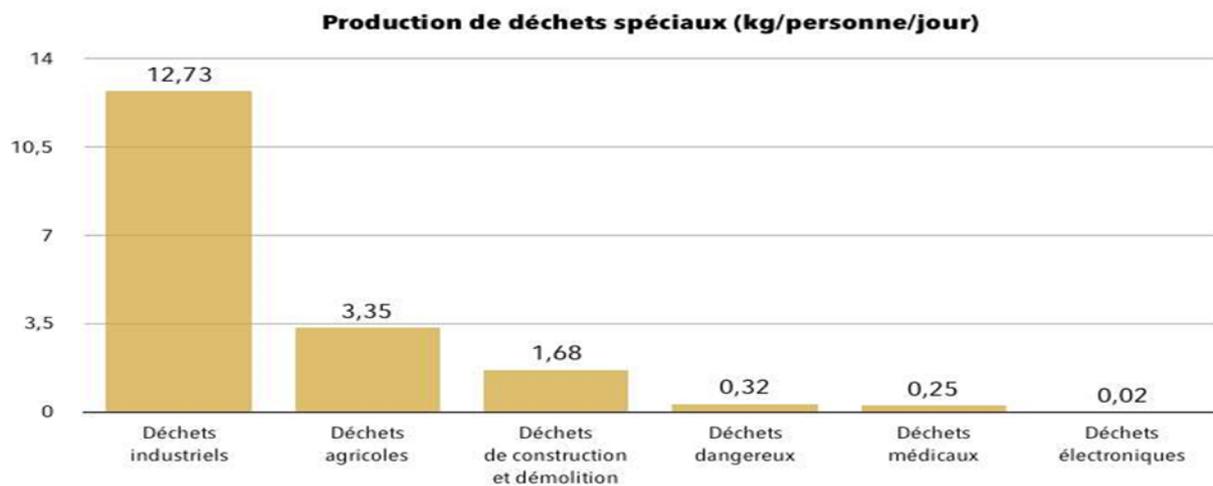


Figure 4: La production de déchets spéciaux dans le monde

Et dans un autre aspect La consommation d'eau sur la planète atteint 4 milliards de m³, soit 1,3 million de litres d'eau chaque seconde (127 m³ par seconde), ce qui est supérieur aux capacités de renouvellement des réserves. Chaque habitant dispose, en moyenne, de 2.000 litres pour vivre [03] En plus de cela, les chiffres effrayants qui indiquent la pollution de l'eau dans le monde

Les grands défis du 21eme siècle sont le développement, la démographie et l'environnement

1.2 pollution:

1.2.1 Définition de pollution:

On appelle pollution une dégradation ou une altération de l'environnement, en général liée à l'activité humaine par diffusion directe ou indirecte de substances chimiques, physiques ou biologiques qui

sont potentiellement toxiques pour les organismes vivants ou qui perturbent de manière plus ou moins importante le fonctionnement naturel des écosystèmes. Outre ses effets sur la santé humaine et animale, elle peut avoir pour conséquences la migration ou l'extinction de certaines espèces qui sont incapables de s'adapter à l'évolution de leur milieu naturel.[04]

1.2.1.1 Définition de la pollution donnée par la Directive européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000:

Introduction directe ou indirecte, par suite de l'activité humaine, de substances ou de chaleur dans l'air, l'eau ou le sol, susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité des écosystèmes aquatiques ou des écosystèmes terrestres, qui entraînent des détériorations aux biens matériels, une détérioration ou une entrave à l'agrément de l'environnement ou à d'autres utilisations légitimes de ce dernier".[04]

La pollution est en général un sous-produit de l'activité humaine qui peut toucher l'atmosphère, le sol ou les eaux. Elle peut affecter la santé humaine, l'eau de consommation, l'eau de baignade, la production agricole, les espèces animales ou végétales, la beauté des paysages, etc.

1.2.2 les principales causes de pollution:

les principales causes de pollution de l'environnement proviennent en premier lieu de la production et de l'utilisation des diverses sources d'énergie, puis des activités industrielles et de l'agriculture. Ces sources de pollution peuvent toucher différents milieux : le sol, l'eau, l'air.

L'homme est la principale cause de pollution dans divers domaines:

1-L'aspect industriel non amélioré

2-Les déchets domestiques et industriels ne sont pas recyclables par les écosystèmes.

Qui contribuent beaucoup à la pollution

3-Le côté agricole: l'utilisation de pesticides et de produits chimiques qui contribuent à tuer le sol

Outre les transports, l'urbanisation et la déforestation...ect

1.2.3 Types de pollution:

1.2.3.1 Pollution de sol:

1.2.3.1.1 contexte du colloque international sur la pollution du sol:

Les sols sont l'écosystème le plus précieux au monde [05].Le rôle des sols dans la production et la qualité des aliments, dans la régulation du climat et dans la fourniture de matières premières et de services, tels que les fibres et les antibiotiques naturels, est largement reconnu. Malgré les énormes progrès scientifiques réalisés à ce jour, la protection et la surveillance de l'état des sols aux niveaux national et mondial restent confrontées à des défis complexes qui entravent l'élaboration de politiques et la prise de décisions efficaces sur le terrain. Le rapport sur l'État des ressources en sols dans le monde[06] a identifié la contamination et la pollution des sols comme l'une des principales menaces qui pèsent sur les sols dans le monde et les services écosystémiques qu'ils fournissent. La pollution du sol pose un risque grave pour la santé humaine par contact direct (exposition cutanée ou inhalation de particules polluées provenant du sol) ou indirectement, par la consommation de plantes ou d'animaux qui ont accumulé de grandes quantités de polluants du sol. Les activités humaines des derniers millénaires ont laissé un legs de sols pollués un peu partout dans le monde[07] . Malgré des efforts d'identification menés dans de nombreuses régions du monde pour estimer l'ampleur de la pollution des sols, l'absence d'une évaluation globale constitue un obstacle à la mobilisation des ressources économiques pour minimiser la pollution des sols et pour inciter l'engagement public et privé à lutter contre la pollution des sols. Des preuves scientifiques plus solides sont nécessaires pour appuyer les mesures de prévention, de contrôle et d'assainissement de la pollution des sols. Au cours de la troisième session de l'Assemblée des Nations Unies pour l'environnement (UNEA3), qui s'est tenue en décembre 2017, les pays ont adopté une résolution appelant à l'accélération des actions et de la collaboration pour traiter et gérer la pollution des sols (Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2017a)[08]

1.2.3.1.2 Définition de la pollution des sols:

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

1.2.3.1.3 Les causes possibles:

Ce sont la plupart du temps les activités humaines qui sont à l'origine des pollutions des sols:

- Les installations industrielles peuvent, dans le cas d'une fuite, d'un accident, ou encore dans l'abandon d'une usine, provoquer une pollution du site.
- L'épandage des produits phytosanitaires et les rejets des bâtiments d'élevage, des exploitations agricoles sont également à l'origine de nombreuses pollutions des sols (notamment par l'azote et les phosphates), qui vont à leur tour amener la contamination des eaux de ruissellement, et par la suite les cours d'eaux.
- Les actions des collectivités territoriales peuvent également être à l'origine d'une pollution des sols : gestion des décharges et des stations d'épuration, utilisation de produits phytosanitaires par les services des espaces verts, gestion de jardins partagés, etc.

Des évènements géographiquement éloignés peuvent également produire des pollutions de sols, qu'il s'agisse d'évènements naturels (les retombées des cendres d'un volcan suite à une forte éruption par exemple), ou technologiques (retombées radioactives suite à un essai nucléaire ou une catastrophe, comme lors de l'accident de Tchernobyl.[09])



Figure 5: Pollution de sol

1.2.3.2 Pollution de l'air:

Cet air est composé d'environ 78 % d'azote, 21 % d'oxygène et 1 % de gaz divers dont des composés émis par l'Homme. Les polluants représentent moins de 0,05 % de la composition de l'air, mais cette fraction, si faible puisse-t-elle paraître, peut avoir un impact important sur la santé et les écosystèmes. Voies respiratoires, bronches, cœur : les polluants franchissent les barrières de défenses naturelles avec de multiples conséquences sur la santé

1.2.3.2.1 Définition Pollution des air:

- D'après la définition du Conseil de l'Europe:

« Il y a pollution de l'air lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante de la proportion de ses constituants est susceptible de provoquer un effet nuisible, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer une gêne. »[10]

- La définition la plus courante de la pollution atmosphérique est celle proposée par la loi sur l'air (30/12/1996-Livre II, Titre II du code de l'environnement)

« L'introduction par l'Homme directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives. »

Si la définition de la pollution atmosphérique réserve cette notion aux émissions des activités humaines, d'autres composés considérés comme polluants peuvent être émis par certaines mécanismes naturels, catastrophiques ou non : volcanisme, incendies, marécages, physiologie des organismes vivants... Il s'agit de composés comme le dioxyde de carbone, le méthane, les particules en suspension...

Dans ce cas, les activités humaines n'ajoutent pas un nouveau composé à la composition de l'air, mais augmentent artificiellement les concentrations présentes naturellement.[10]



Figure 6:Pollution des air

1.2.3.3 Pollution de l'eau :

L'eau est la chose la plus nécessaire à l'entretien de la vie, mais il est aisé de la corrompre... Car pour la terre, le soleil, les vents, ils ne sont point sujets à être empoisonnés, ni détournés, ni dérobés, tandis que tout cela peut arriver à l'eau, qui, pour cette raison, a besoin que la loi vienne à son secours. Platon - Les Lois - Livre VIII

Charte de Stockholm 1972: Art. 1: "Tout Homme a droit à un environnement de qualité et il a le devoir de le protéger pour les générations futures"[11]

Le changement de forme de vie ces derniers temps a conduit à l'émergence d'un déséquilibre de l'équilibre naturel,

Les problèmes d'environnement liés à la concentration des populations et aux activités humaines, que ce soit au niveau urbain, agricole ou industriel, deviennent de plus en plus importants. La pollution générée par l'homme affecte de plus en plus le cycle de l'eau et des traitements artificiels doivent souvent être appliqués pour compléter les cycles naturels d'autoépuration. Ces traitements sont en place à l'heure actuelle sur les stations d'épuration et sur les stations des traitements.

1.2.3.3.1 Définition Pollution des l'eau:

1.2.3.3.1.1 L'eau :

L'eau liquide (H₂O) est souvent perçue comme une substance assez ordinaire car elle est transparente, inodore, insipide et se présente sur terre en grande quantité. Cependant, c'est un composé chimique remarquable. Bien que nous la buvions et que nous l'utilisons pour laver, pêcher ou cuisiner, nous oublions presque toujours la relation spéciale qu'elle a avec nos vies[12] . L'eau comme ressource naturelle est indispensable à la vie, qu'elle soit d'origine souterraine ou superficielle, les eaux utilisées pour l'alimentation humaine sont rarement consommables telles quelles. Il est nécessaire de leur appliquer un traitement, ne serait-ce qu'une désinfection dans le cas des eaux souterraines. L'eau que nous utilisons couramment est celle des lacs et des rivières, elle constitue seulement 1% de l'eau disponible sur terre. [13], [14]. L'eau naturelle filtrée est en général une solution ou on peut trouver :

- Des sels minéraux
- Des gaz en solution (O₂/ N₂, CO₂...)
- Des substances organiques

1.2.3.3.1.2 Caractéristiques physiques de l'eau:

L'eau semble, à première vue, être une molécule très simple, se composant de justes deux atomes d'hydrogène liés à un atome d'oxygène. En effet, il y a très peu des molécules qui sont plus petites ou plus légères qu'elle. La taille de la molécule d'eau, cependant, montre la complexité de ses actions ainsi que ses capacités uniques et ses propriétés anormales semblent s'adapter idéalement pour créer les conditions de la vie. La glace est de l'eau à l'état solide, cristallisée, gelée. C'est l'un des trois états naturels de l'eau. L'eau pure gèle à 0°C. Les deux autres états sont l'état liquide et l'état gazeux (au-delà de 100°C). Ces deux valeurs sont valables uniquement à pression atmosphérique (environ $1,013 \times 10^5$ Pa).[12]

$M=18.01528$ g/mol.

Température de fusion : 0 c (273,015k) .

Masse volumique de l'eau liquide $\rho=1.000\text{kg/l}$ (4°C) Température d'ébullition : $T_{eb} =100^\circ\text{C}$ (375.15°k)

Masse volumique de l'eau solide : $\rho = 00.9166\text{Kg/l}$ (0°C, 1 atm) [15]

1.2.3.3.1.3 Propriétés chimiques:

L'eau correspond à la formule de LEWIS:

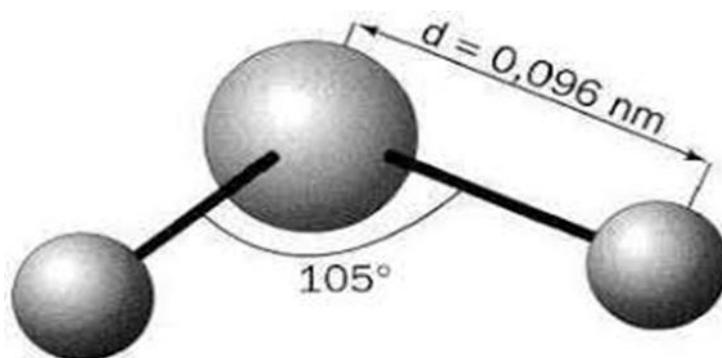


Figure 7: la formule de LEWIS

La molécule est triangulaire, sa géométrie est indiquée ci-contre. La distance entre l'atome d'oxygène et les atomes d'hydrogènes est $d = 0,096$ nm, l'angle entre les atomes d'hydrogènes est $B=105^\circ$ [15]

1.2.3.3.1.4 La Pollution:

La pollution est définie comme l'introduction dans un milieu naturel de substances provoquant sa dégradation. La pollution des ressources en eau au niveau des stations d'épuration provient de diverses sources, notamment les formes relatives aux activités humaines [16][17][18]:

1.2.3.3.2 les origines de la pollution de l'eau:

La pollution de la ressource en eau se caractérise par la présence de micro-organismes, de substances chimiques ou encore de déchets industriels. Elle peut concerner les cours d'eau, les nappes d'eau, les eaux saumâtres mais également l'eau de pluie, la rosée, la neige et la glace polaire.

Cette pollution peut avoir des origines diverses:

- La pollution industrielle : avec les rejets de produits chimiques comme les hydrocarbures ou le PCB rejetés par les industries ainsi que les eaux évacuées par les usines
- La pollution agricole: avec les déjections animales mais aussi les produits phytosanitaires/pesticides (herbicides, insecticides, fongicides) contenus dans les engrais et utilisés dans l'agriculture. Ils pénètrent alors dans les sols jusqu'à atteindre les eaux souterraines.
- La pollution domestique : avec les eaux usées provenant des toilettes, les produits d'entretien ou cosmétiques (savons de lessives, détergents), les peintures, solvants, huiles de vidanges, hydrocarbures...
- La pollution accidentelle : avec le déversement accidentel de produits toxiques dans le milieu naturel et qui viennent perturber l'écosystème.[19]

1.2.3.3.3 les différents types de pollution:

- La pollution organique:

Elle concerne les microorganismes pathogènes présents dans l'eau comme les bactéries et les virus. Cette pollution bactériologique se caractérise par un taux élevé de coliformes fécaux.

La pollution organique provient principalement des excréments, des ordures ménagères et des déchets végétaux

- La pollution chimique:

Elle concerne les nitrates et les phosphates contenus dans les pesticides, les médicaments humains et vétérinaires, les produits ménagers, la peinture, les métaux lourds (mercure, cadmium, plomb, arsenic...), les acides, ainsi que les hydrocarbures utilisés dans l'industrie.

- Zoom sur les micropolluants d'origine médicamenteuse:

Les progrès de la médecine permettent sans cesse d'améliorer la santé humaine (et animale) et de sauver des vies. Revers de la médaille, des résidus de substances médicamenteuses sont parfois retrouvés à très faibles doses dans le milieu naturel (fleuves ou rivières) ou dans les eaux usées des industries chimiques et pharmaceutiques, avec pour conséquence un déséquilibre de l'écosystème aquatique (flore et faune)[19]



Figure 8: Pollution de l'eau Photo de Yogendra Singh provenant de Pexels

1.2.3.3.4 Infographie (la pollution de l'eau dans le monde):

Selon les estimations, la population mondiale devrait atteindre 10 milliards d'individus d'ici à 2050. Cette croissance s'accompagne d'une augmentation globale des besoins en ressources et notamment des besoins en eau, ce qui cause de nombreux problèmes environnementaux. Ainsi, l'eau de notre belle planète n'a jamais été aussi polluée, comme le montrent les faits inquiétants de ci-dessous

[20]:

- 1,5 milliards de personnes: dans le monde n'ont pas accès à un système d'épuration des eaux approprié

- Des maladies graves: L'absence d'eau potable et d'installations sanitaires peut causer de graves maladies, telles que le choléra, la malaria et la diarrhée.
- 2 millions de tonnes: Chaque jour, plus de 2 millions de tonnes d'eaux usées et de déchets industriels et agricoles sont déversées dans l'eau dans le monde.
- 18 % de la population mondiale: n'a pas accès à des toilettes et doit déféquer dans la nature, ce qui peut contaminer les sources d'eau potable à proximité et présenter un risque grave pour la santé humaine.
- 3 % des décès : dans le monde sont liés à un manque d'eau potable, d'installations sanitaires appropriées et d'hygiène 15 millions d'enfants de moins de cinq ans sont concernés.
- 3,5 milliards d'individus en pénurie d'eau potable en 2025: Selon une enquête de Food & Water Watch, près de 3,5 milliards d'individus seront affectés par une pénurie d'eau potable d'ici 2025. en partie à cause de la pollution de l'eau.

1.2.3.3.4.1 Dans Afrique :

- déchets industriels 70 % : des déchets industriels sont déversés directement dans l'eau et polluent par conséquent, le réseau d'eau potable.
- infrastructures sanitaires: L'Afrique Subsaharienne est la zone géographique où l'implémentation d'infrastructures sanitaires appropriées est la plus lente.
- pollution organique: Près de 15 % des rivières africaines sont touchées par une pollution organique grave, due en majorité aux eaux usées et aux déchets agricoles non-traités.
- pertes économiques: Le manque d'infrastructures hydrauliques et sanitaires est la cause principale de mortalité et de morbidité en Afrique et représente une perte économique de 28 milliards de dollars, soit 5% du PIB total du continent.

1.2.3.3.5 Que pouvons nous faire :

- investir dans des infrastructures hydrauliques : Selon les meilleures estimations, rénover les infrastructures hydrauliques dans le monde coûterait un minimum de 65 € par personne par jour pendant dix ans.
- la responsabilité des entreprises: Les déchets industriels déversés illégalement (ou légalement dans certains pays) dans les rivières sont l'une des raisons principales de la pollution de l'eau dans le monde, notamment en Afrique et en Asie où des réglementations strictes manquent. Les entreprises doivent prendre leurs responsabilités et cesser de polluer les sources d'eau dans leur course au profit.

- la responsabilité des individus: En tant qu'individus, nous pouvons faire la différence en faisant l'effort de recycler nos déchets toxiques et polluants. Les déchets non biodégradables, tels que les peintures et les solvants, ne doivent pas être déversés dans l'évier ou les toilettes. [20]

CHAPITR 2: LES COLORANTS

2.1 Historique des colorants:

Depuis le début de l'humanité, les colorants ont fait l'objet de plusieurs travaux liés à notre vie journalière à savoir la peinture et la teinture du papier, de la peau et des vêtements, etc. Jusqu'à la moitié du 19^{ème} 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, tels que l'alizarine et l'indigo. L'industrie des colorants synthétiques est née en 1856 quand le chimiste anglais W. H. 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 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 du 20^{ème} siècle les colorants synthétiques ont presque complètement supplantés les colorants naturels. La production mondiale des colorants synthétiques est estimée à 700 000 tonnes/an en 1991 (données récentes sur la production actuelle). La consommation de colorants et de pigments dans le secteur textile en Tunisie s'élève à 2 646 t/an; la consommation de produits chimiques auxiliaires atteint 1622 t/an. Quant à la consommation de l'eau dans ce secteur, il semble que le secteur de l'ennoblissement consomme 11 418 m³ /jour et celui du lavage du jean, 10 029 m³ /jour. On dénombre environ 8000 colorants synthétiques chimiquement différents, répertoriés dans le Colour Index sous 40000 dénominations commerciales. Chaque colorant y est classé sous un nom de code indiquant sa classe, sa nuance ainsi qu'un numéro d'ordre [21].

2.2 Généralité des colorants:

Les premières substances colorées ont été utilisées par l'homme dans les grottes décorées (Lascaux ou Altamira) vers 12000 ans avant J-C. Elles étaient constituées de charbon de bois ou d'argiles. Les teintures les plus anciennes proviennent de textiles chinois datant de 3000 ans avant J-C. Vers 2000 ans avant J-C, on utilisait la garance et l'indigo; en Inde, en Palestine et en Egypte. Jusqu'au XIX^{ème} siècle, les colorants utilisés ne sont qu'une quinzaine. Ils sont tous extraits de produits naturels et souvent d'origine végétale. Il y a plus 4000 ans, les colorants sont apparus afin de teindre des pièces d'art confectionnées à cette époque. Très tôt, les colorants naturels sont obtenus à partir d'extraits de plantes ou d'animaux, par exemple, de fruits, de mûres, de racines et bien d'autres. Les colorants

organiques naturels ont aussi connus plusieurs applications dans l'histoire, spécialement comme colorants textiles. Une des premières teintures qui fut utilisées est l'indigo. Curieusement, elle est encore utilisée de nos jours pour teindre le «bleu jeans». Une découverte importante est survenue en 1856, alors qu'un jeune chimiste anglais William Perkin réalisa la première synthèse d'un colorant sous l'appellation de mauvéine et la quinine (un dérivé des hydrocarbures aromatique contenu dans le goudron de la houille obtenue à partir de l'aniline. Aujourd'hui, plus de 10000 colorants synthétiques ont été créés donnant aussi naissance à une industrie de plusieurs milliards de dollars. Les colorants synthétiques sont plus populaires que les colorants naturels, car les premiers ont une plus grande durabilité et une plus grande brillance et de leur bon marché. Ils sont utilisés intensivement dans de nombreux secteurs industriels (automobiles, chimique, papeterie et textile). Il est estimé qu'environ 20% de la production totale des colorants dans le monde est perdue au cours des différentes étapes d'application et de confection et évacuée sans traitement préalable dans l'environnement. La plupart des colorants synthétiques sont reconnus comme étant génotoxiques pour les organismes vivants (bactériens et mammifères), par leurs métabolites (amine cancérigène pour les azoïques et leuco dérivé pour les triphenylméthanes). La mise en évidence de risques cancérigènes a nécessité une réglementation stricte utilisée dans des produits de consommation courante[22] .

2.3 L'origine des colorants:

L'origine d'un colorant peut être naturelle (organique ou minérale) ou de synthèse. C'est un produit capable par définition de teindre une substance ou un ensemble de substances d'une manière durable. Un colorant est appelé « teinture » s'il est complètement soluble dans le milieu qu'il colore ou « pigment » s'il est insoluble et se disperse seulement dans la matière. Les pigments sont donc des particules utilisées pour leurs propriétés de coloration qui généralement sont broyées très finement avant d'être mises en suspension dans un liant liquide, plus ou moins fluide ou visqueux, pour obtenir des peintures, enduits, ou encres..

2.4 Définition et nature des colorants:

On désigne par le terme de colorant toute substance colorée utilisée pour changer la couleur d'un support (textile, papier, aliment.). Un colorant peut être une teinture s'il est soluble dans le milieu qu'il colore ou un pigment s'il est insoluble dans ce milieu. Un colorant est une substance qui possède deux propriétés spécifiques, indépendantes l'une de l'autre, la couleur et l'aptitude à être fixée sur un support tel qu'une fibre. Cette dernière propriété est à l'origine résulte de l'interaction entre la molécule du colorant et le substrat à teindre. Ainsi, cette interaction se forme entre la partie réactive

de la molécule colorante et la molécule à teindre par formation d'une liaison sélective. Cependant, les colorants se distinguent des pigments : les premiers sont solubles dans le bain de teinture (aqueux) tandis que les derniers sont insolubles, ils sont mis en suspension dans un liant organique. Les deux groupes se regroupent dans la famille des matières colorantes[23] .

On distingue deux grandes familles de colorants: naturels et ceux issus de la synthèse chimique

2.4.1 Nature des principaux colorants:

- Les colorants naturels: Les colorants naturels sont extraits des plantes, des fruits, des arbres, des lichens, des insectes ou des mollusques par des procédés simples comme le chauffage ou le broyage. Le jaune est le colorant naturel le plus répandu, mais l'indigo et le pourpre sont aussi présents en grande quantité dans le règne végétal.
- D'origine végétale:L'alizarine et la purpurine sont des substances colorantes rouges extraites des racines de *Rubia tinctorum* plus connue sous le nom de garance qui est une plante herbacée des régions chaudes et tempérées. D'autres colorants rouges sont tirés de plantes comme la betterave, certains arbres ou lichens.
- D'origine animale:La pourpre de Tyr, qui ornait les vêtements des hauts dignitaires du monde oriental et romain, provient d'un mollusque de la Méditerranée, le murex.une cochenille du Mexique, *Coccus cacti* (car on la trouve sur les cactus), fournit un rouge écarlate, le carmin, utilisé pour la teinture de la laine et de la soie et maintenant utilisé dans l'industrie agroalimentaire (E120) et dans la fabrication des cosmétiques, enfin, Kermès ilicis (appelée kermès ou «cochenille des teinturiers ») a servi à teindre des textiles en écarlate[24].

2.5 Structure chimique des colorants:

La structure chimique joue un rôle important dans la détermination des propriétés colorantes des composés organiques. En général, ce sont des composés organiques insaturés et aromatiques qui sont utilisés comme colorants. Une molécule type de colorant est constituée de trois parties, c'est-à-dire un chromophore, un auxochrome et un groupe solubilisant.

2.5.1 Le groupement chromophore :

Il permet une absorption importante de lumière dans le domaine du visible ou de l'ultraviolet. Il représente, par conséquent, la portion responsable de la couleur du composé. Pour les colorants organiques, les trois chromophores les plus importants sont l'azobenzène, le triphénylméthane et l'antraquinone.

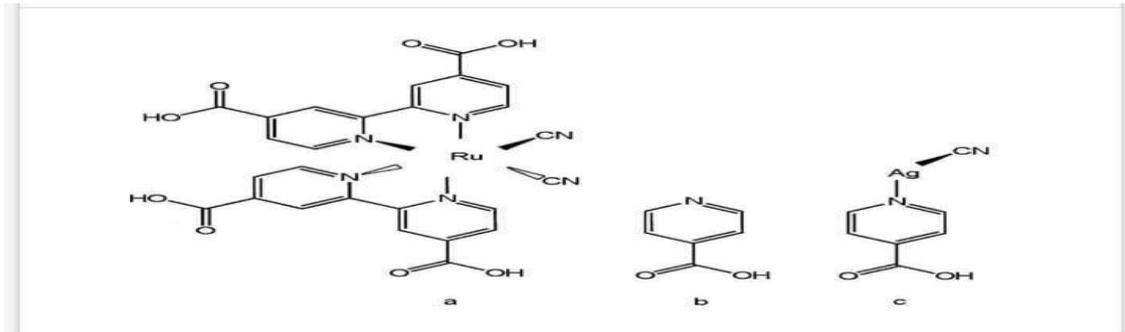


Figure 9: Le groupement chromophore

2.5.2 Le groupement auxochrome :

Le déplacement de l'absorption vers les plus grandes longueurs d'onde, dans le domaine du visible, est dû, dans la molécule de colorant, à la présence de groupements auxochromes couplés aux groupements chromophores. L'auxochrome est donc la partie influençant l'intensité de la coloration et il fixe avec efficacité le colorant sur le support. Si la fréquence d'absorption est diminuée, l'effet est dit bathochrome. L'absorption se déplace alors vers les grandes longueurs d'onde (vers l'infra-rouge). Cependant, l'effet est dit hypsochrome, si la fréquence d'absorption est augmentée et l'absorption se déplace alors vers les petites longueurs d'onde (vers l'ultra-violet). L'association, dans une molécule de colorant organique, entre des chromophores et des auxochromes donne un chromogène.

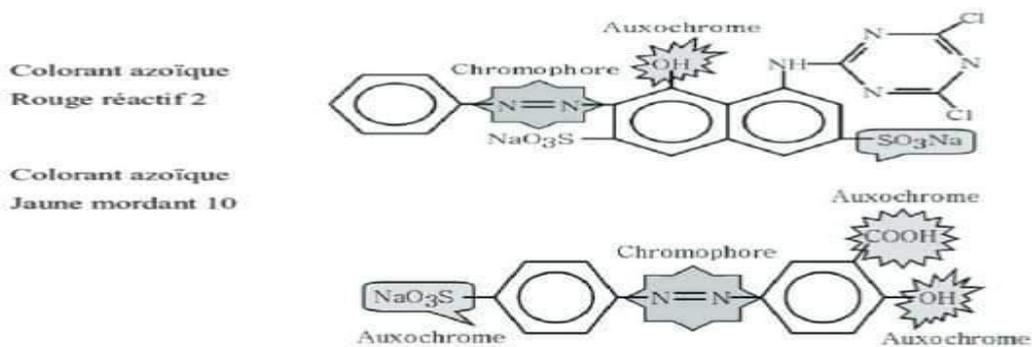


Figure 10: Le groupement auxochrome

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

Figure 11: Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité Croissante (Zille, 2005).

2.5.3 Le groupe solubilisant :

Il améliore la solubilité du colorant et ainsi, il peut être appliqué en milieu aqueux [25].

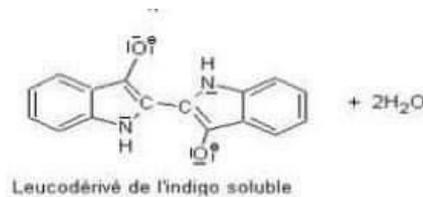


Figure 12: Le groupe solubilisant

2.6 Les substances colorantes le phénomène de coloration:

Parmi ces substances, il n'y a lieu de distinguer entre les colorants proprement dits, les pigments et les pigments pour laque.

- Les colorants : sont des substances solubles dans les solutions pour donner leurs couleurs.
- Les pigments : sont des corps insolubles, utilisés dans l'industrie pour obtenir des couleurs.
- Les pigments laqués: sont des pigments solubles que l'on fixe sur un support minéral. [26] ont observé que la substance de coloration organique peut être réduite à une substance non colorante

et lorsque les atomes d'hydrogène (ajoutés par la réduction) sont éliminés par oxydation, la couleur originale est régénérée[24].

2.7 Les colorants et leur impacts Environnementaux:

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

2.7.1 Bio-accumulation:

Si un organisme ne dispose pas de mécanismes spécifiques, soit pour empêcher la résorption d'une substance, soit pour l'éliminer une fois qu'elle est absorbée, alors cette substance s'accumule. Les espèces qui se trouvent à l'extrémité supérieure de la chaîne alimentaire, y compris l'homme, se retrouvent exposées à des teneurs en substances toxiques pouvant aller jusqu'à cent mille fois plus élevées que les concentrations initiales dans l'eau (illustration du phénomène de bioaccumulation de pesticides (Figure 13)).[27].

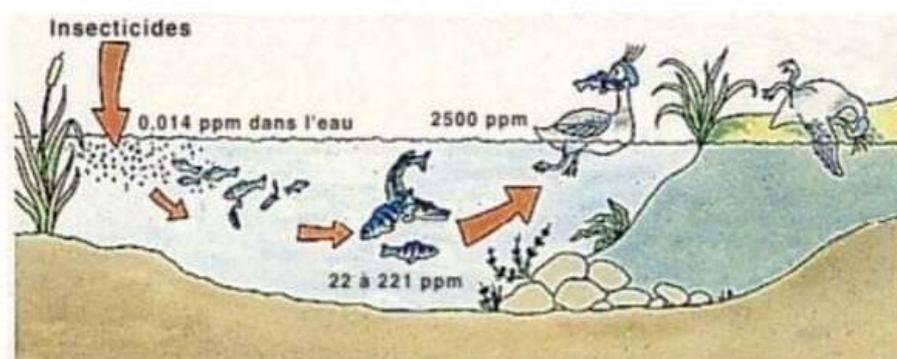


Figure 13: Conséquences de la bioaccumulation après déversement de substances toxiques (insecticides) dans un cours d'eau

2.7.2 Toxicité des colorants:

Les colorants, qui ont pour but d'améliorer l'aspect de notre vie quotidienne, présentent, cependant, pour la plupart, des dangers pour l'organisme humain, en cas de dosage excessif. Ils sont soumis à des contrôles toxicologiques rigoureux. Actuellement, de nombreuses stations d'épuration des industries textiles rejettent des quantités importantes d'eau et de boues colorées dans la nature. Ces rejets peuvent se transmettre à l'être humain: actions de vent ou par infiltration des colorants dans les nappes phréatiques. La plupart des colorants sont azoïques et certains d'entre eux sont reconnus dangereux pour la santé publique. La présence des colorants dans l'eau, même à de basses concentrations peut être à l'origine d'une importante pollution visuelle, donc la couleur est le premier paramètre contaminant que l'on observe, ce qui pousse certains pays à établir une réglementation environnementale accordant la priorité à la décoloration.

- Les eaux résiduaires des effluents peuvent causer la formation des produits toxiques cancérogènes.
- L'interception par la substance colorée du rayonnement solaire au travers des couches d'eau affectées, a une incidence sur la photosynthèse chlorophyllienne.
- Ces rejets rendent plus difficile la production d'eau potable. En effet, l'eau délivrée par les usines d'eau potable est soumise à une norme sur la couleur.

2.8 Normes algériennes:

La législation sur les rejets d'eaux résiduaires devient de plus en plus stricte. L'Algérie est dotée d'une réglementation 06-141 sur les rejets d'effluents textiles dans le milieu hydrique [28]. Le (Tableau 1) précise les limites algériennes de ces rejets.

Paramètre	Unité	Valeurs limites	Tolérance aux valeurs limites anciennes installations
Température	°C	30	35
pH	-	6,5-8,5	6-9
DBO ₅	mg.L ⁻¹	150	200
DCO	-	250	300
Matière décantable	-	0,4	0,5
Matière non dissoute	-	30	40
Oxydabilité	-	100	120
Permanganate	-	20	25

Tableau 1: Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents textiles

2.9 Utilisation des colorants:

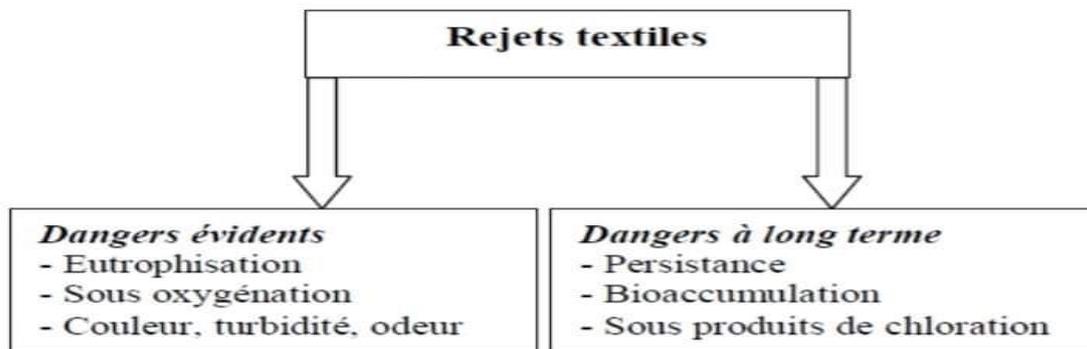
L'industrie des colorants constitue un marché économique considérable car de nombreux produits industriels peuvent être colorés, principalement:

- pigments (industrie des matières plastiques).
- encre, papier (imprimerie).
- colorants alimentaires (industrie agro-alimentaire).
- pigments des peintures, matériaux de construction, céramiques (industrie du bâtiment).
- colorants capillaires (industrie des cosmétiques).
- colorants et conservateurs (industrie pharmaceutique).
- carburants et huiles (industrie automobile etc.,).

colorants textiles à usage vestimentaire, de décoration, du bâtiment, du transport, colorants textiles à usage médical etc[29] .

2.10 Impact des rejets de colorants:

Pour une meilleure qualité de coloration des textiles, généralement les colorants sont utilisés en excès ce qui induit de grand rejet, et les eaux deviennent fortement contaminées à des concentrations très élevées, Ces rejets sont toxiques pour la majorité des organismes vivants. L'augmentation de la couleur rend l'eau impropre aux usages domestiques ou industriels. Ceci limite la croissance des plantes aquatiques, et entraîne des effets nuisibles sur le pouvoir d'autoépuration. Plusieurs phénomènes induits par les rejets teinturiers représentent des dangers pour l'environnement. On en distingue deux catégories (figure 14: Types de rejet textiles). [30]



Types de rejet textiles

Figure 14: Types de rejet textiles

2.11 Classification des colorants:

Les colorants peuvent être classés selon une classification chimique ou une classification tinctoriale. La classification chimique est fonction de la structure chimique du colorant, plus précisément de la nature de son groupe chromophore [31].

La classification tinctoriale est basée sur le mode d'utilisation et d'application de la couleur qui dépend à son tour du groupe auxochrome [32].

2.11.1 Classification chimique:

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

2.11.2 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.

Classification chimique	classification tinctoriale
Les colorants anthraquinoniques	Les colorants acides ou anioniques.
Les colorants indigoïdes	Les colorants basiques ou cationiques
Les colorants xanthène	Les colorants de cuve
Les phtalocyanines	Les colorants directs
Les colorants nitrés et nitrosés	Les colorants à mordants
	Les colorants réactifs
	Les colorants ou azoïques insolubles
	Les colorants dispersés

Tableau 1: Classification des colorants

1. 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 triacétate de cellulose.
2. 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 hypochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise. Les colorants indigoïdes sont utilisés comme colorant en textile, comme additifs en produits pharmaceutiques, la confiserie, ainsi que dans des diagnostics médicaux [33].
3. Les colorants xanthène: Les colorants xanthines sont des composés qui constituent les dérivés de la fluorescéine halogénée. Ils sont dotés d'une intense fluorescence. Leur propriété de marqueurs

lors d'accident maritime ou de traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines est malgré tout bien établie. Ils sont aussi utilisés comme colorant en alimentaire, cosmétique, textile et impression [34].

4. Les phtalocyanines: Les phtalocyanines ont une structure complexe possédant un atome métallique central. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.).
5. Les colorants nitrés et nitrosés: Les colorants nitrés et nitrosés 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 (-NO₂) en position ortho d'un groupement électro donneur (hydroxyle ou groupes aminés).
6. 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.
7. 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 disparaitre 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.
8. Les colorants de cuve: Les colorants de cuve sont insolubles et doivent être transformés en leucodérivés par réduction alcaline. La teinture se termine par la réoxydation in situ du colorant sous sa forme insoluble initiale. Réputés pour leur bonne résistance aux agents de dégradation, les colorants de cuve sont encore utilisés, à l'image de l'indigo pour la teinture des articles jean ou denim.
9. Les colorants directs: Les colorants directs contiennent ou sont capables de former des charges positives ou négatives électrostatiquement attirées par les charges des fibres. Ils se distinguent par leur affinité pour les fibres cellulosiques sans application de mordant, liée à la structure plane de leur molécule.
10. 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.

11. Les colorants réactifs: Les colorants réactifs contiennent des groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïques, anthraquinonique et phtalocyanine. Leur appellation est liée à la présence d'une fonction chimique réactive, de type triazinique ou vinyisulfone assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres, Solubles dans l'eau, ils entrent dans la teinture du coton et éventuellement dans celle de la laine et des polyamides.
12. Les colorants développés ou azoïques insolubles: Les colorants développés ou azoïques insolubles sont formés directement sur la fibre. Au cours d'une première étape, le support textile est imprégné d'une solution de naphthol (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. 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 colorant est actuellement la plus répandue sur le plan de l'application, puisqu'ils représentent plus de 50% de la production mondiale de matières colorantes basiques, acides, directs et réactifs solubles dans l'eau, et les azoïques dispersés et à mordant non-ioniques insolubles dans l'eau. Il est estimé que 10-15 % des quantités initiales sont perdues durant les procédures de teinture et sont évacués sans traitement préalable dans les effluents [34] .Or ces composés organiques cancérigènes sont réfractaires aux procédés de traitements habituellement mis en œuvre et sont très résistants à la biodégradation .
13. Les colorants dispersés: Les colorants dispersés sont très peu solubles dans l'eau et sont appliqués sous forme d'une fine poudre dispersée dans le bain de teinture. Ils sont en mesure, lors d'une teinture à haute température, de diffuser dans les fibres synthétiques puis de s'y fixer.
14. Les colorantes alimentaires: Les hommes donnent une grande importance aux colorants alimentaires. Ainsi l'aspect esthétique des aliments affecte, dans une certaine mesure, la vente des produits. Des enquêtes ont montré que la couleur de l'aliment influe fortement sur le goût que perçoit le consommateur [35]. En effet, ceux-ci préféreront acheter une tomate bien rouge plutôt que légèrement tachetée de vert. Ce qui est vrai même si le goût n'est pas modifié par la couleur des aliments. D'un point de vue nutritionnel, l'usage des colorants alimentaires n'est généralement pas nécessaire.

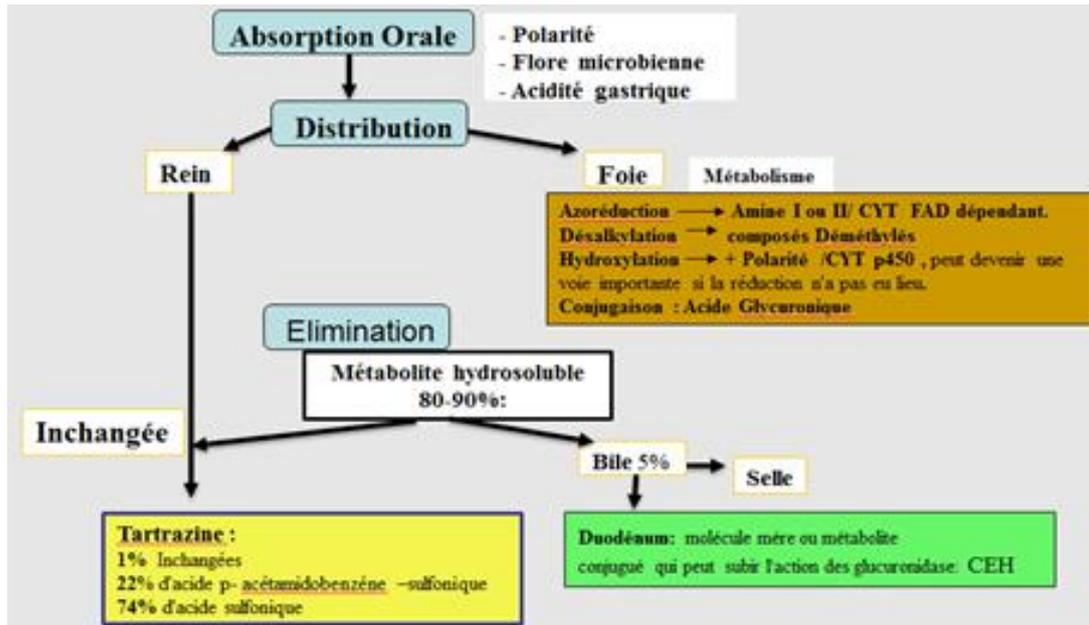


Figure 11: Cinétique des colorants alimentaires

CHAPITRE 3 : METHODE DE TRAITEMENT DES COLORANTS

3.1 Méthode biologiques:

3.1.1 Décoloration par les champignons:

Les champignons blancs de putréfaction (white-rot fungi) sont capables de dégrader la lignine, structure polymère des plantes. *Phanerochaete chrysosporium* est le champignon le plus étudié en regard de la dégradation des xénobiotiques tels que les dioxines, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et autres composés organiques chlorés [36]. La dégradation des colorants par « White-rot fungi a été rapportée pour la première fois par [37]. Ces auteurs ont étudié l'activité ligninolytique de *P. chrysosporium* vis-à-vis un certain nombre de colorants polymériques sulfonés. Une étude réalisée par [38] a montré que *P. chrysosporium* est capable de dégrader les colorants azoïques sulfonés. Les études menées sur ce type de champignons se sont par la suite multipliées sur une gamme plus étendue et plus diversifiée de colorants synthétiques, notamment azoïques [39]. A côté de *P. chrysosporium*, d'autres champignons de types « White rot fungi » ont été testés récemment et se sont révélés capables de simplifier les molécules colorantes [40], en testant un ensemble de 30 souches, ont observé l'efficacité de ces microorganismes vis-à-vis des colorants synthétiques, en particulier celle des souches *Dichomitus squalens*, *Ischnoderma resinatum* et *Pleurotus calyptratus* identifiées très actives vis-à-vis de l'orange G et du bleu de rémazole brillant (RBBR). [41] ont montré que la souche *Phanerochaete sordida* est capable de décolorer un mélange de quatre colorants réactifs : bleu 5, orange 14, rouge 120 et vert 5 avec un pourcentage de décoloration de 90 % après 48 h d'incubation. L'oxydation des colorants synthétiques (notamment azoïques) par les champignons de putréfaction blanche impliquerait l'expression d'enzymes lignolytiques extracellulaires non spécifiques : les peroxydases telles que la lignine peroxydase (LiP) et la manganèse peroxydase (MnP) ou les phénoloxydases tels que la laccase. Contrairement aux bactéries, la dégradation des colorants par les champignons est extracellulaire. Le mécanisme d'action des deux enzymes LiP et MnP est similaire : le mécanisme commence par l'oxydation de ces enzymes durant leur cycle catalytique par H_2O_2 la forme oxydée ainsi formée serait immédiatement réduite à sa forme d'origine par un substrat qui est le colorant azoïque. La différence entre ces deux enzymes est que la LiP oxyde les composés aromatiques phénoliques et non phénoliques, alors que le MnP oxyde le Mn^{2+} en Mn^{3+} , ce dernier étant responsable de l'oxydation des composés phénoliques uniquement [40][39]. Les phénoloxydases, divisés en tyrosinases et laccases, sont des oxydoréductases qui peuvent catalyser l'oxydation des composés phénoliques et d'autres composés aromatiques, tels que les colorants, sans utilisation des cofacteurs [42]. ont étudié et comparé l'efficacité de la dégradation de certains colorants azoïques sulfonés par *P. chrysosporium* avec des

souches d'actinomycètes³; ils ont observé que la cinétique de décoloration est beaucoup plus rapide en présence de *P. chrysosporium* et que les substituants sulfones limitent la performance des actinomycètes. Ce comportement a été observé également avec des bactéries. En effet [43],ant constaté que les substituants sulfonés (SO₃ H) inhibent fortement la biodégradation des colorants azoïques. Bien que les champignons soient les premiers microorganismes identifiés capables de dégrader les colorants synthétiques et qu'ils se soient montrés efficaces dans certains cas comparés aux autres microorganismes, le traitement des rejets textiles chargés en colorants par les champignons pose beaucoup de problèmes. En effet, l'effluent textile n'est pas l'environnement adéquat pour la croissance et la conservation de la biomasse fongique [44], car le traitement des colorants dans un volume d'eau important (unité de traitement biologique) étant très difficile, il est nécessaire de concentrer les colorants en réduisant la quantité d'eau [45], En outre, l'activité de la lignine peroxydase, meilleure à un pH acide (pH = 4,5 à 5), exige une acidification de l'eau usée qui est généralement très alcaline. Outre un coût d'acidification élevé, cela inhibe la croissance des autres microorganismes utiles, tels que les bactéries, surtout si le traitement est réalisé avec un consortium de microorganismes [46]. Par ailleurs, d'autres polluants de l'eau usée, particulièrement les composés aromatiques, peuvent interférer avec la dégradation fongique des colorants.) Ces multiples espèces peuvent varier en fonction des effluents traités, des conditions climatiques, de la charge organique, de la profondeur d'eau. Les principaux groupes sont les bactéries, les algues et le zooplancton.

3.1.2 Les bactéries:

De nombreuses études ont montré la capacité des bactéries à dégrader les colorants. Contrairement aux champignons et aux actinomycètes, qui dégradent les colorants par voie extracellulaire (implication des LIP, MnP, laccases, etc.), les bactéries agiraient plutôt par voie intracellulaire. L'action décolorante dépendrait alors non seulement de l'activité enzymatique cytoplasmique mais aussi de la filtration des molécules à travers la membrane cellulaire. Dans la littérature, la dégradation complète ou « minéralisation de colorants azoïques par les bactéries est décrite par la succession de deux étapes essentielles une azoréduction anaérobie suivie d'une oxydation aérobie des amines aromatiques formées lors de l'étape précédente. L'azoréduction est décrite comme l'étape clé de la minéralisation des colorants, notamment cette étape est suffisante pour la décoloration des molécules. Certaines souches échappent cependant à cette condition d'anaérobiose et sont capables de réduire les colorants azoïques en présence d'oxygène. On distingue alors deux catégories de bactéries décolorantes selon leur comportement vis-à-vis de l'oxygène: aérobie et anaérobie. Dans les paragraphes qui suivent nous allons porter une attention plus particulière sur les travaux effectués avec des bactéries du genre *Pseudomonas*. [47] Ce sont des micro-organismes qui peuvent dégrader

et assimiler une grande partie de la matière organique contenue dans les eaux usées. Ces bactéries rejettent dans le milieu des produits de dégradation qui sont les matières minérales solubles et les gaz dissous. En fonction de l'équilibre du milieu et en particulier des taux d'azote et de phosphore, les bactéries les mieux adaptées se développent rapidement et dominent les autres espèces. On constate une régulation naturelle du taux bactérien en fonction de la matière organique présente dans le milieu et des autres conditions de développement (température, ensoleillement, pH, oxygène dissous...). Quelque soit le processus biologique considéré, on trouve: Les bactéries aérobies qui transforment en présence d'oxygène dissous, la charge organique dissoute en matières minérales (nutriments) et gaz. Les bactéries du cycle de l'azote assurent la nitrification (formation de nitrites) et la nitrification (formation de nitrates). Si la biodégradation des colorants dans des conditions anaérobies a été très largement étudiée, la bio-décoloration en culture aérée (bien oxygénée) reste encore peu étudiée et limitée à certaines espèces de bactéries. Ces dernières échappent aux conditions générales d'azoréduction en anaérobiose (Tableau3).

Bactérie	Colorant	Niveau de dégradation	Références
<i>Hydrogenophaga palleronii</i>	4-carboxy-4'-sulfoazobenzène	minéralisation	BLÜMEL <i>et al.</i> (1998)
<i>Klebsiella pneumoniae</i> RS-13	Rouge de méthyle	minéralisation	WONG et YUEN (1998)
<i>Acetobacter liquefaciens</i> S-1	Rouge de méthyle	minéralisation	WONG et YUEN (1998)
<i>Enterobacter agglomerans</i>	Rouge de méthyle	azoréduction	MOUTAOUAKKIL <i>et al.</i> (2003) MOUTAOUAKKIL <i>et al.</i> (2004)
<i>P. fluorescens</i> NCIM 2100	Acide jaune 9	azoréduction	PANDEY et UPADHYAY (2006)
<i>Pseudomonas</i> sp. KF46	Orange I; Orange II	minéralisation	ZIMMERMANN <i>et al.</i> (1982); KULLA <i>et al.</i> (1983)
<i>Pseudomonas</i> sp. K22	Orange I; Orange 2	minéralisation	KULLA <i>et al.</i> (1983)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Bleu rapide de navitan	minéralisation	NACHIYAR et RAJAKUMAR (2004) ; LIN et LAI (2006); LIN <i>et al.</i> (2008)
<i>P. fluorescens</i> NCIM 2100	Acide jaune 9	azoréduction	PANDEY et UPADHYAY (2006)
<i>Pseudomonas nitroreducens</i>	Rouge de méthyle	minéralisation	ADEDAYO <i>et al.</i> (2004)
<i>Pseudomonas putida</i> mt-2	Acide orange 52 Acide violet 7	minéralisation	BEN MANSOUR <i>et al.</i> (2009a,b)

Tableau 2: Principaux travaux portant sur la biodégradation des colorants azoïques dans des conditions oxygénées.

Certaines de ces bactéries, telles que *Enterobacter agglomerans* [48] ; [49] et [50] se limitent à l'azoréduction, première étape de la biodégradation D'autres sont capables d'utiliser les amines aromatiques formées comme sources uniques de carbone, aboutissant ainsi à une dégradation complète ou minéralisation » des colorants azoïques. Ces bactéries dégradent les molécules

colorantes par la succession de deux étapes enzymatiques: une azoréduction, non sensible à l'oxygène, suivie d'une métabolisation à oxygène dépendant [51]; [52]. Les *Pseudomonas* sont les plus citées et ont montré une grande aptitude à la conversion aérobie de colorants azoïques, Ces bactéries expriment des azoréductases non sensibles à la présence de l'oxygène. En effet, l'orange azoréductase (NADH(P)H:1 (4-sulfophenylazo)-4-naphtol oxydoréductase] et l'orange II azoréductase (NADH(P)H:1- (4 sulfophenylazo)-2-naphtol oxydoréductase), azoréductases non sensibles à l'effet de l'oxygène, ont été purifiées et caractérisées chez la souche *Pseudomonas* KF46 [53] [54] . En 2002, une équipe allemande a identifié la séquence des acides aminés de l'orange II azoréductase de *Pseudomonas* KF46 dont la structure était complètement différente de celle de *Bacillus* sp. OY12. Il a été montré par ailleurs que l'activité de cette azoréductase dépend fortement de la structure des colorants azoïques. En effet, ont établi une corrélation entre l'activité de l'azoréductase et la structure chimique du colorant et ont souligné le rôle de certains groupements électrophiles dans la résistance du colorant à l'attaque enzymatique. Ils ont étudié, notamment, les effets des colorants, d'une part en tant qu'inducteur, et, d'autre part, en tant que substrat sur respectivement l'expression et l'activité de l'azoréductase. Après l'azoréduction vient l'oxydation : les amines aromatiques issues de l'azoréduction sont directement prises en charge par un système de cascade enzymatique impliquant des oxygénases et aboutissant à leur dégradation totale (minéralisation). Des amines aromatiques sulfoniques, connues comme étant très résistantes à l'attaque bactérienne à cause de leur faible transfert à travers la membrane cellulaire [55], ont été facilement biodégradables par des bactéries de genre *Pseudomonas*.

-Les bactéries anaérobies qui sont essentiellement méthanogènes (formation de méthane) réalisent la transformation de la matière organique au niveau des sédiments. La dégradation des colorants par les bactéries, dans des conditions anaérobies, a été très largement étudiée on y distingue des bactéries, strictement anaérobies (*Bacteroides* sp *Eubacterium* sp., *Clostridium* sp, *Fusobacterium* sp, etc.), anaérobies/aérobies facultatives (*Proteus vulgaris*, *Streptococcus faecalis*, etc.) et aérobies (*Bacillus* sp., *Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas* sp, etc.). Les conditions de dégradation dans la digestion anaérobie sont adaptées à la réduction des colorants azoïques par clivage de la double liaison N = N, appelée azoréduction, entraînant une destruction subséquente des groupes chromophores (celle du système d'électrons n largement délocalisé) mais pas une minéralisation complète. Les amines aromatiques résultantes étant généralement incolores, la réduction azoïque du colorant est aussi désignée dans ce cas par décoloration. [56] ont isolé, dès 1937, la première souche bactérienne lactique intestinale capable de réduire les colorants azoïques alimentaires. Comme la formation des amines aromatiques toxiques chez l'homme est un problème majeur, la recherche sur une réduction

bactérienne des colorants azoïques a été la plupart du temps concentrée sur l'activité des bactéries anaérobies (facultatives) des intestins des mammifères [57] [58] ont isolé de la boue activée, *Bacillus subtilis*, la première bactérie non intestinale capable de dégrader les colorants azoïques. Le genre *Bacillus* a été, par la suite, très largement étudié, à savoir : *Bacillus cereus* [59], *Bacillus subtilis* [60], *Bacillus* sp. OY1-2[61], *Bacillus* sp. souche SF[62]. Les études ont aussi concerné d'autres bactéries[63] ont montré en particulier que la souche *Aeromonas hydrophila* var 24B était capable de dégrader les colorants azoïques. D'autres souches d'*Aeromonas hydrophila* ont été par la suite testées sur une gamme plus étendue de colorants [64] Les *Pseudomonas* ont enfin fait l'objet d'un nombre important d'études et ont révélé une grande capacité à simplifier les molécules colorantes (Tableau4)

Bactérie	Colorants	% de décoloration (temps d'action)	Référence
<i>Bacillus subtilis</i> IFO 3002	p-aminoazobenzene	80-90	HORITSU <i>et al.</i> (1977)
<i>Bacillus subtilis</i> IFO 13719	2-carboxy-4' diméthyl-aminobenzène	100	YATOME <i>et al.</i> (1991)
<i>Aeromonas hydrophila</i> var 24B	Plusieurs colorants azoïques	50-90	IDAKA <i>et al.</i> (1978)
<i>Aeromonas hydrophila</i> var 24B	Plusieurs colorants azoïques	40-100	YATOME <i>et al.</i> (1987)
<i>Sphingomonas xenophoga</i> BNG	Acide rouge 27; Acide orange 20; Acide orange 7; Acide rouge 14; Acide jaune 23; Acide noire 1	-	RAU <i>et al.</i> (2002) ; RUSS <i>et al.</i> (2000)
<i>Pseudomonas putida</i> mt-2	Acide violet 7 ; Acide orange 52 et acide jaune 17	100	BEN MANSOUR <i>et al.</i> (2007) ; BEN MANSOUR <i>et al.</i> (2009a,b,c,d,e,f)
<i>Enterococcus faecalis</i>	Orange II;	99,4	CHEN <i>et al.</i> (2004)
	Orange G;	95,1	
	Amarante	99,5	
	Acide jaune 23	4,0	
<i>Pseudomonas luteola</i>	Réactive rouge G	37,4	HU (1994)
	Réactive RBB	93,2	
	Réactive RP ₂ B	92,4	
	Réactive V ₂ RP	88	
<i>Pseudomonas luteola</i>	Réactive rouge 22	90-99	CHANG <i>et al.</i> (2001)
<i>Pseudomonas</i> GM3 <i>Pseudomonas</i> Q3 <i>Pseudomonas</i> Z1	Acide violet 7 Acide rouge 151 Réactive noire 5 Acide jaune 34	97,4; 94,2; 99,6 90,3; 91,4; 98,9 91,1; 87,5; 94,6 91,9; 90,0; 89,5	YU <i>et al.</i> (2001)
<i>Pseudomonas pseudomallei</i> 13NA	Bleue directe 6	100	YATOME <i>et al.</i> (1981)
<i>Pseudomonas putida</i>	Acide orange 63	-	GHORPADE et SPENCER (1993)
	Acide rouge 114		
	Acide orange 51		
<i>Pseudomonas</i> sp. PR41-1	Rouge de méthyle	-	SUGUIRA <i>et al.</i> (1999)
	Rouge de Congo		
	Azobenzène		
	p-aminoazobenzène p-diméthylaminoazobenzène		

Tableau 3: Quelques études sur la réduction de colorants azoïques par des bactéries aérobie incubées dans des conditions limitées en oxygène

comme *Pseudomonas pseudomallei* 13NA [65], *Pseudomonas luteola*[66] [67] , *Pseudomonas putida* [68] [69], *Pseudomonas desmolyticum* NCIM 2112 [70]; *Pseudomonas* GM3; *Pseudomonas*

Q3 et *Pseudomonas* Z1 [71] . Dix souches de *Pseudomonas* ont aussi été testées séparément puis en mélange et se sont révélées très actives sur la réduction des colorants azoïques [72].

--Dégradation des colorants par la succession anaérobie/ aérobie La dégradation des colorants azoïques par des bactéries dans des conditions limitées ou dépourvues en oxygène présente l'inconvénient d'accumuler des azo-produits (amines) qui sont la plupart du temps très toxiques, voire carcinogènes [73]. L'oxydation des ces amines aromatiques par les bactéries nécessite la présence d'oxygène, qui est, comme on l'a vu, un facteur limitant de l'azoréduction. Les chercheurs ont tenté de résoudre ce problème en combinant la biodégradation anaérobie et aérobie de manière à minéraliser complètement les colorants azoïques.

3.1.3 Les algues:

L'action décolorante des algues a fait l'objet d'un nombre très limité de travaux. Une étude réalisée par [74] a montré que les espèces *Chlorella*, *Oscillatoria* et *Spirogyra* étaient capables de dégrader les colorants azoïques. Leur action décolorante dérive de l'expression d'une azoréductase (enzyme responsable de la fission de la liaison azote azote) aboutissant à la production des amines aromatiques correspondantes qui sont par la suite complètement oxydées Ce sont des plantes microscopiques planctoniques

Elles sont représentées dans les lagunes principalement par les espèces suivantes:

- algues bleues (cyanophycées) proches des bactéries.
- algues vertes (chlorophycées).
- algues brunes (chrysophycées).
- Eugléniens.

Dans le cas d'un bon fonctionnement, les bassins de lagunage (surtout ceux en fin de filière) ont une couleur verte plus ou moins prononcée. La chlorophylle contenue dans les micro-algues leur permet d'utiliser la lumière du soleil comme source d'énergie : c'est la base du processus de la photosynthèse. Les algues se développent à la lumière en prélevant dans l'eau du gaz carbonique et des sels minéraux et en y rejetant de l'oxygène. Les algues sont ainsi les principaux producteurs d'oxygène des lagunes. Cette production s'effectue essentiellement dans la couche d'eau superficielle (jusqu'à 40-50 cm). Dans les bassins de lagunage les microalgues se succèdent au cours du temps. Cela constitue une pollution apparemment négligeable car l'épaisseur des sédiments dans les derniers bassins de lagunage ne dépasse pas les 5 à 10 centimètres. L'effluent rejeté dans le milieu récepteur contient donc des microalgues en suspension représentant indirectement une pollution particulière

organique importante (leur teneur en matières en suspension pouvant atteindre 0.2 kg/m³). Les bassins de lagunage sont classés parmi les procédés moyennement performants permettant un rejet de niveau d (120 mg/l de MES). Il n'existe pas de station de lagunage naturel qui possède une unité de récupération et de valorisation des microalgues rejetées Le zooplancton La faune a une importance essentielle dans le fonctionnement des lagunes et de nombreux organismes participent activement à l'épuration du milieu (prédation, filtration) On trouve:

- Les protozoaires, qui sont des organismes unicellulaires prédateurs des bactéries. Ils constituent le seul zooplancton hivernal réellement abondant dans les derniers bassins de lagunage.

- Les rotifères, sont des vermiens microscopiques, ils filtrent activement le phytoplancton et sont capable de s'accommoder à des taux d'oxygène dissous très faibles .

- Les copépodes, sont des crustacés de petites tailles qui nagent à la surface de l'eau et ont un développement limité dans l'espace et le temps. Leur spectre alimentaire est pourtant très étendu: microalgues, proies vivantes..

- Les cladocères, sont également de petits crustacés. Les daphnies sont les plus répandues et les plus caractéristiques. Leur rôle est intéressant car elles favorisent l'abattement du taux des matières en suspension. Elles permettent ainsi un éclaircissement du milieu et la pénétration de la lumière. Par contre elles provoquent une diminution du taux d'oxygène dissous à cause de leur respiration et de l'élimination des microalgues.

3.1.4 Les différents type de traitement biologiques:

3.1.4.1 Aérobie:

Le rayonnement solaire est la source d'énergie qui permet la production de matière vivante par les chaînes alimentaires aquatiques (chaînes trophiques). L'épuration des effluents est réalisée essentiellement par des bactéries aérobies dont l'oxygénation est assurée par l'action chlorophyllienne de végétaux qui participent aussi à la synthèse directe de la matière organique

3.1.4.2 Anaérobie:

le rendement d'épuration escompté dépend essentiellement du développement d'une fermentation méthanique. Il n'est de ce fait applicable que sur des effluents à fortes concentrations et, le plus souvent, à titre de pré-traitement avant un deuxième stade d'épuration de type aérobie. Les principes fondamentaux de ce système d'épuration sont surtout utilisés en climat tropical

3.2 Méthode chimique:

Dans la littérature, les techniques chimiques d'oxydation sont généralement appliquées pour le traitement des composés organiques dangereux présents en faibles concentrations, en prétraitement avant des procédés biologiques, pour le traitement d'eaux usées chargées de constituants résistants aux méthodes de biodégradation et enfin en post traitement pour réduire la toxicité aquatique. Parmi les méthodes de traitement chimique, les procédés d'oxydation avancée (AOP) restent les plus fréquemment utilisés, ceux-ci sont fondés sur la formation d'une entité radicalaire extrêmement réactive: le radical hydroxyle a un potentiel d'oxydation élevé et une forte réactivité vis-à-vis de nombreux composés organiques. Les principaux procédés de production du radical hydroxyle sont présentés [75] .

Les techniques d'oxydation chimiques sont généralement appliquées quand les procédés biologiques sont inefficaces. Elles peuvent être ainsi utilisées pour les procédés biologiques en étapes de prétraitement afin de diminuer la charge polluante. L'oxydation chimique est également appliquée pour le traitement des organiques dangereux présents en faibles concentrations et des effluents chargés de constituants résistants aux méthodes de biodegradation. Le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), le Cl₂ et O₃ sont les réactifs les plus souvent utilisés pour ce type de traitement. Le H₂O₂ est un oxydant moyennement fort et son application pour le traitement des polluants organiques et inorganiques est bien établie [76]. Mais l'oxydation par H₂O₂ n'est pas suffisamment efficace pour de fortes concentrations en colorant. On propose de traiter les colorants azoïques par hypochlorure de sodium. Cependant, si la molécule initiale est détoxique, les halogènes sont susceptibles de former des trihalométhanes comme sous-produits de dégradation lesquels sont cancérigènes pour l'Homme. D'où la nécessité d'utiliser des produits d'oxydation encore plus performants comme les procédés d'oxydation avancés.

3.3 Méthode physique:

3.3.1 Traitement de précipitation:

Le but de la précipitation est de transformer les métaux/métalloïdes dissous en précipités. La coagulation-floculation consiste à agglomérer les colloïdes en floccs afin de les rendre plus décantables. Elles s'appliquent sur des matières en suspension de faibles tailles (non aisément décantables). La décantation consiste à séparer les eaux des matières décantables.

- Coagulation- floculation:

Sous le terme de coagulation - floculation, on entend tous les processus physico-chimiques par lesquels des particules colloïdales ou des solides en suspension fines sont transformés par des flocculants chimiques en espèces plus visibles et séparables (les floccs). Les floccs formés sont séparés par décantation et filtration puis évacués. Les coagulants inorganiques tels que l'alun sont les plus satisfaisants pour la décoloration des effluents textiles contenant des colorants de cuve et au soufre, mais sont totalement inefficaces pour les colorants réactifs, azoïques, acides et basiques [77]. ailleurs, la coagulation être utilisée pour les colorants fortement solubles dans l'eau Enfin, d'importantes quantités de boue sont formées avec ce procédé leur réutilisation reste la seule issue mais demande des Investissements supplémentaires pour les régénérer. La coagulation permet de favoriser l'agglomération des colloïdes en diminuant les forces de répulsion électrostatique (liées aux charges superficielles). La floculation consiste à agglomérer ces particules en microfloccs puis en floccs plus volumineux décantables.

Les substances les plus couramment utilisées sont:

- pour la coagulation : la chaux, l'alun, le sulfate ferrique et le chlorure ferrique,
- pour la floculation: les polymères organiques à longues chaînes de masse molaire élevée.

▪ Variantes

Les variantes reposent sur le type d'additifs et le type d'ouvrage. Les différents additifs utilisés sont:

- Coagulation:
 1. Coagulants minéraux:
 - a) sels d'aluminium : sulfate d'aluminium, chlorure d'aluminium, aluminat de sodium, sulfate d'aluminium+chaux, sulfate d'aluminium+carbonate de sodium.
 - b) polymère d'aluminium : polychlorure basique d'aluminium.
 - c) sels de fer: chlorure ferrique, chlorure ferrique + chaux, sulfate ferrique, sulfate ferrique + chaux, chlorosulfate ferrique, sulfate ferreux, sulfate ferreux + chlore, sulfate ferreux + chaux.
 - d) autres coagulants minéraux : produits mixtes Al^{3+}/Fe^{3+} , sulfate de cuivre, ozone, chlore..),
 2. Coagulants organiques de synthèse: mélamineformaldéhyde (ou mélamineformol), épichlorhydrine diméthylamine, polychlorure de diallyldiméthylammonium).
- Floculation:
 1. flocculants naturels:

2. flocculants minéraux : silice activée, silico-aluminate, certaines argiles, carbonate de calcium précipité, diatomées, sable fin, flocculants organiques: alginates, amidons, pectines, xanthanes,
3. flocculants organiques de synthèse: anioniques (copolymères de l'acrylamide et de l'acide acryllque), neutres (polyacrylamides), cationiques (méthacrylate de diméthylamino-éthyle, acrylate de diméthylamino-éthyle),

Les variantes concernant le type d'ouvrages utilisés:

- a) coagulation : mélangeurs rapides à hélice, mélangeurs statiques.
- b) flocculateurs : flocculateurs agités (à barrières, à hélices), flocculateurs statiques.
- c) décantation : décanteurs statiques (simples, à succion de boues.), décanteurs à contact de boues, décanteurs lamellaires.

Des systèmes de décantation moins intensifs proches du lagunage permettent de traiter les matières en suspension et les métaux /métalloïdes. Ainsi, la précipitation de certains métaux/métalloïdes peut être aussi réalisée par décantation/lagunage enaturelle »[78] .

3.3.2 Filtration sur membrane:

La filtration sur membrane pilotée par pression hydraulique se décline en microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration et osmose inverse. L'effluent passe à travers une membrane semi-perméable qui retient en amont les contaminants de taille supérieure au diamètre des pores, pour produire un perméat purifié et un concentré qui reçoit les impuretés organiques Parmi les quatre types de procédés, la nanofiltration et l'osmose inverse sont les plus adaptés à la rétention partielle de la couleur et des petites molécules organiques[79] et l'osmose inverse reste la plus répandue [80]. La nanofiltration s'applique surtout au traitement des bains de teinture de colorants réactifs en agissant comme un filtre moléculaire tandis que la microfiltration retient les matériaux colloïdaux tels que les colorants dispersés ou de cuve grâce à une membrane écran [81]. L'ultrafiltration ne s'applique qu'à la réduction de DCO et des solides en suspension [82] et ne se montre réellement efficace qu'en combinaison avec la coagulation/floculation. Ces procédés, limités dans leurs applications, nécessitent des investissements importants [81]et le retraitement du concentré est jusqu'à six fois plus cher que celui de l'effluent originel.

3.3.3 Adsorption:

3.3.3.1 Historique d'adsorption:

Le terme adsorption a été proposé pour la première fois par Kayser en 1881 pour différencier entre la condensation du gaz à la surface, et une absorption du gaz, processus dans lequel les molécules de gaz pénètrent dans la masse. 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. Ce phénomène dépend à la fois de cette interface et des propriétés physico-chimiques de l'adsorbât [83].

3.3.3.2 Généralité sur le phénomène d'adsorption:

L'adsorption est un phénomène physico-chimique se traduisant en particulier par une modification de concentration à l'interface de deux phases non miscibles. L'adsorption phénomène de surface, est donc profonde. L'adsorption est un phénomène d'interface (phénomène physique de fixation des molécules sur la surface d'un solide). Il s'agit d'un processus de la plus grande importance en ce qui concerne le comportement des substances tant inorganiques qu'organiques dans les eaux naturelles car il influe autant sur la distribution des substances dissoutes et particulaires que sur les propriétés des particules en suspension [84] .

Ce phénomène peut se manifester entre un solide et un gaz, ou entre un solide et un liquide. La fixation provient de l'établissement (entre le solide et les molécules), de liaison de VANDER WAALS liaison du type électrostatique de faible intensité, avec des énergies d'interaction entre 5 et 40 KJ/mole». D'après [85] «tout solide est un adsorbant potentiel », mais on cherche à l'exploiter en le magnifiant par l'emploi de solide de porosités élevées.

3.3.3.3 Types d'adsorption:

Selon les énergies de liaison mises en jeu, l'adsorption est divisée en deux types :

a) l'Adsorption chimique(ou chimisorption):

La chimisorption est un phénomène d'adsorption qui 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. Par ce type d'adsorption, les molécules directement liées au solide [86] .La chaleur d'adsorption, relativement élevée est comprise entre 20 et 200 Kcal/mol [87].

Elle met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbât 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 [88] Seules sont concernées par ce type d'adsorption, les molécules directement liées au solide. Elle genere de fortes énergies d'adsorption et est favorisée par les températures élevées[89] . La distance entre la surface et la moleculle adsorbée est plus courte que dans le cas de la physisorption .

b) l'Adsorption physique (ou physisorption):

L'adsorption physique se produit à des températures basses. Les molécules s'adsorbent sur plusieurs couches (multicouches) avec des chaleurs d'adsorption souvent inférieures à 20 kcal/mol[90].Les interactions entre les molécules du soluté (adsorbat) et la surface du solide (adsorbant) sont assurées par des forces électrostatiques type dipôles, liaison hydrogène ou Van der Waals (La liaison physique est plus faible)[91] .La physisorption.est rapide et réversible. Contrairement à la chimisorption, l'adsorption physique se produit à des températures basses et est caractérisée par une énergie d'adsorption faible (la molécule adsorbée n'est pas donc fortement liée); elle résulte des forces de Van Der Waals .La molécule adsorbée est fixée sur un site spécifique et peut se déplacer librement à l'interface. La physisorption est rapide, réversible et n'entraîne pas de modification des molécules adsorbées .

3.3.3.4 Le mécanisme d'adsorption:

L'adsorption est un processus, largement répondu pour l'élimination d'un colorant a également une applicabilité large dans le traitement des eaux résiduaires [92] [93] .La séparation par adsorption est basée sur une adsorption sélective (thermodynamique et /ou cinétique) des polluants (appelés adsorbat) par un adsorbant, grâce à des interactions spécifiques entre la surface du materiau et les produits adsorbés c'est un simple transfert de masse à partir de la phase liquide vers la surface du solide, ce processus s'opère en plusieurs étapes. Diffusion externe : correspond au transfert du soluté (un colorant) du sein de la solution à la surface externe des grains Le transfert de la matière externe dépend des conditions hydrodynamiques de l'écoulement d'un fluide dans un lit adsorbant. Diffusion interne les particules de fluide pénètrent à l'intérieur des pores. Elle dépend de gradient de concentration du soluté. Diffusion de la surface au contact des sites actifs, elle correspond à la fixation des molécules sur la surface des pores.

3.3.3.5 Les grands types d'adsorbants:

Les principaux adsorbants employés dans l'industrie sont les charbons actifs, les zéolithes, les gels de silices, les alumines activées dont les caractéristiques sont récapitulées dans le (tableau 5).

adsorbant	Surface spécifique ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	Taille des pores (nm)	Porosité interne
Charbon actif	400 à 2000	1.0 à 4.0	0.4 à 0.8
Zéolithes	500 à 800	0.3 à 0.8	0.3 à 0.4
Gels de silice	600 à 800	2.0 à 5.0	0.4 à 0.5
Alumines activées	200 à 400	1.0 à 6.0	0.3 à 0.6

Tableau 4: Caractéristiques des principaux adsorbants industriels

3.3.3.6 Les propriétés des adsorbants:

1- Structure poreuse:

Un solide poreux peut être défini à partir du volume de substance adsorbée nécessaire pour saturer tous les pores ouverts d'un gramme de ce solide. Un pore ouvert est un pore dont l'accès se situe à la surface du grain, il est donc accessible au fluide. Ce volume poreux, en $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$, est donc uniquement caractéristique de la porosité ouverte (Figure 16).

Selon la classification I.U.P.A.C. (Union internationale de chimie pure et appliquée), les tailles de pores sont réparties en 3 groupes:

- les micropores de diamètre inférieur à 2 nm.
- mésopores de diamètre compris entre 2 et 50 nm.
- macropores de diamètre supérieur à 50 nm.

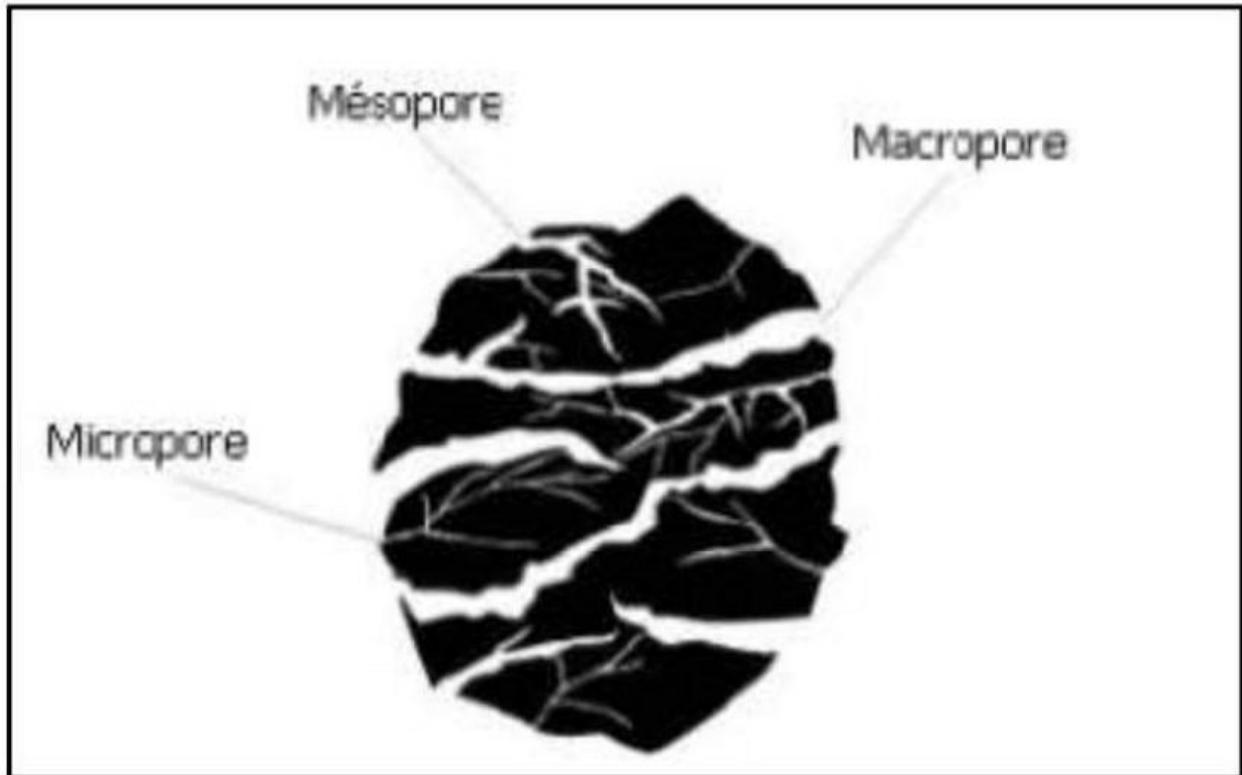


Figure12: Représentation schématique des différents types de pores.

Chaque type de pore Joue un rôle particulier dans le phénomène d'adsorption Les macropores permettent au fluide utilisé à la surface interne du charbon actif. Les mesopores favorisent le transport de ce fluide et les micropores sont les sites de l'adsorption. Les micropores déterminent pratiquement à eux seuls la capacité d'adsorption d'un charbon actif ils représentent presque la totalité de la surface offerte à l'adsorption[94] .

2- La surface spécifique

La surface spécifique ou aire massique (en $m^2 g^{-1}$) est la surface totale par unité de masse d'adsorbant accessible aux molécules. Toute la surface des particules de l'adsorbant est considérée, porosité ouverte comprise, pour le calcul de la surface spécifique qui cumule donc la surface intérieure de tous les pores constituant le grain d'adsorbant. La surface spécifique comprend la surface externe et la surface Interne d'un adsorbant (Figure 17).

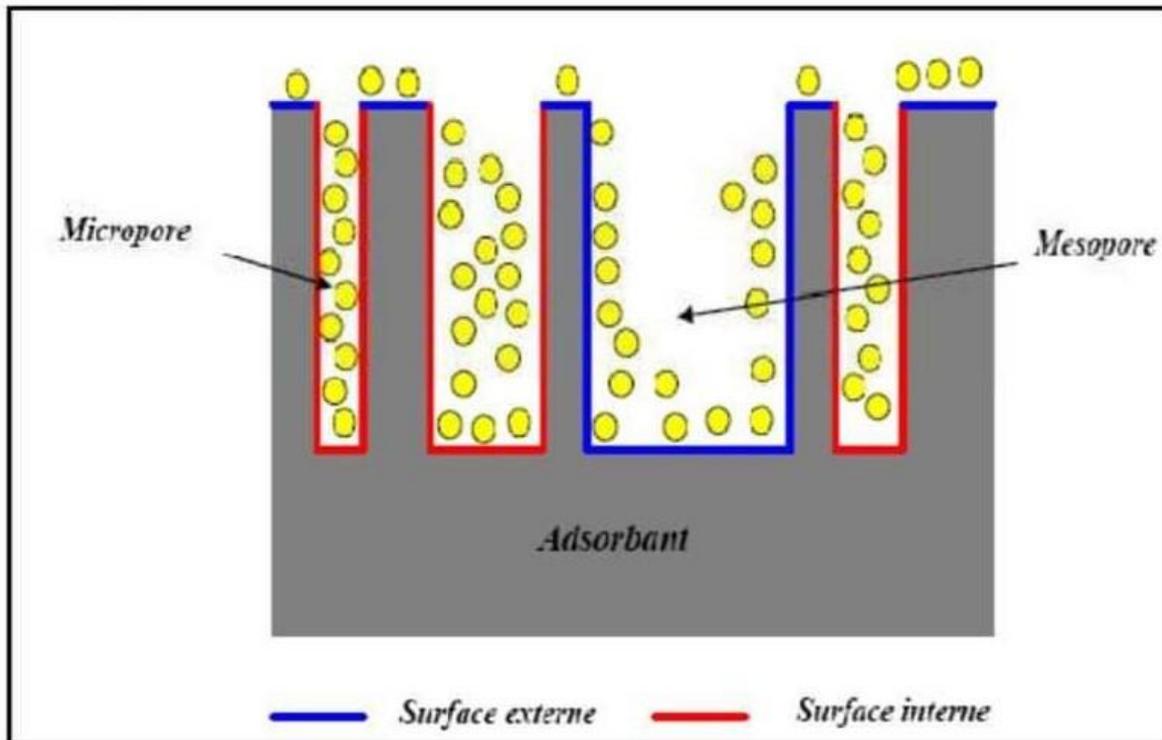


Figure 13: Représentation schématique de la surface Interne et externe d'un adsorbant.

La surface interne est la surface microporeuse représentée par les parois des micropores. La surface externe est la surface non-microporeuse qui comprend les parois des mésopores et des macropores, ainsi que la surface non poreuse de l'échantillon. D'un point de vue physique, la différence entre la surface interne et la surface externe est que la valeur de l'énergie d'adsorption peut être jusqu'à deux fois plus grande sur les parois des micropores que sur la surface externe. Ce phénomène s'explique par la présence de deux parois opposées proches créant une double interaction pour une molécule adsorbée dans un micropore [95].

3.3.3.7 La nature des adsorbants:

3.3.3.7.1 les charbons actifs:

à base de carbone, préparés à haute température sont utilisés pour la régénération des solvants, la purification de CO₂ et des gaz industriels et le fractionnement des hydrocarbures. Le charbon actif est un squelette carboné qui, par oxydation ménagée, a acquis une intense porosité. Sa structure est voisine de celle du graphite. Elle se présente sous la forme d'un empilement de couches successives planes d'atomes de carbone ordonnés en hexagones réguliers. Le charbon actif peut être produit à partir de nombreux matériaux contenant du carbone. Le plus souvent, on utilise la houille, le bois, la

noix de coco, ou la lignite pour des raisons économiques. On distingue le charbon actif végétal et le charbon actif minéral en fonction du matériau d'origine.

1. L'utilisation du charbon actif:

Il est actuellement principalement utilisé pour:

- le traitement de l'eau: On utilise le charbon actif pour traiter les eaux potables, les eaux usées les eaux résidu atres) ndustrielles,a inssi que les eaux de piscine,ect...
- la purification de l'air:Aujourd'hui, la réglementation environnementale devient de plus en plus stricte sur la qualité de l'air émis par les industries. Elles utilisent dona le charbon actif pour récupérer les solvants et les hydrocarbures volatils dans l'air. Le charbon actif est également utilisé pour la désodorisation de l'air.
- la pharmacie.
- l'exploitation minière etc.
- Agro-alimentair: Dans le secteur agro-alimentaire, le charbon actif est principalement utilisé pour décolorer et purifier des sirops de sucre et de glucose, des acides (citrique, tartrique et lactique), des huiles de table, des aromates alimentaires, des vins et vermouths etc..
- Chimie,pétrochimie:Le charbon actif est utilisé pour la purification de produits (chimiques, organiques et minéraux_), la désulfuration du gaz naturel et des hydrocarbures. Le charbon actif utilisé comme support de catalyseur devient de plus en plus répandu dans ce domaine, Pour ce type d'application, le charbon actif doit avoir une forte resistance mécanique [96].

2. Propriétés des charbants actifs:

Un certain nombre de paramètres permettent de caractériser un charbon actif et de déterminer ses conditions d'utilisation.il est ci-dessous: Le volume poreux total des charbons actifs est de 0,5 à 1cm³ .g⁻¹ (50 à 70% en volume).

- La surface spécifique :Elle correspond a la surface des pores. Le volume poreux étant important, la surface développée est énorme de 500 à 1500 m² g⁻¹ Ce sont essentiellement les micropores et mésopores qui créent de la surface La capacité d'adsorption est proportionnelle à la surface.
- La taille des grains: Elle conditionne la vitesse d'adsorption (plus le grain est petit, plus le transfert vers le centre est rapide) et la perte de charge à travers le lit.
- La dureté : Elle représente la résistance au tassement, à la friction et aux vibrations pendant la phase de lavage.
- La densité: Plus le charbon est activé, plus il eat léger. La densité indique le niveau d'activation du charbon actif. Elle conditionne l'efficacité des traitements et c'est également un élément

déterminant de son prix. La densité du charbon actif utilisé pour le traitement de l'eau est en général comprise entre 0.20 et 0.55 g/cm. L'expérience montre que quand la densité est supérieure à 0.35 g/cm³, le lit du charbon actif fonctionne mieux [97] .

- Indice d'iode: La performance du charbon actif est évaluée par sa capacité d'adsorption de l'iode, prise comme substance de référence. L'indice est proportionnel au nombre de micropores. Plus il est grand, meilleur est le niveau d'activation et donc meilleure sera la capacité d'adsorption.
- La teneur en cendres: Elle est importante car elle peut gêner la mise en place du charbon. La teneur en cendres du charbon actif appliqué au traitement de l'eau devra être la plus basse possible, surtout si l'eau est dure, et en aucun cas, dépasser 10% [97]

3. Fonctionnement de charbons actifs:

Le mécanisme principal de fonctionnement est l'adsorption engendrée par des forces dites « London Dispersion Forces » [98]. Ce mécanisme est également appelé physico-sorption. Le principe de l'adsorption repose sur l'accumulation à la surface ou à l'intérieur du charbon (dans les pores) des molécules contenues dans l'eau ou dans l'air à traiter. Ceci est possible grâce aux interactions physiques et chimiques entre la surface du charbon et les molécules à adsorber. L'adsorption peut être décomposée en quatre étapes [99] :

- a- Transfert de la particule (phénomène très rapide).
- b- Déplacement de l'eau jusqu'à être au contact du charbon (rapide).
- c- Diffusion à l'intérieur du charbon sous l'influence du gradient de concentration (étape assez lente).
- d- Adsorption dans un micropore (très rapide).

La capacité d'adsorption d'un matériau dépend, entre autres, de sa surface interne. Celle du charbon actif est très grande (entre 500 et 1500 m²/g) ce qui le rend idéal pour cet usage. Le niveau d'activité de l'adsorption dépend également de la concentration et la polarité des polluants à traiter dans l'eau, de la température [99] et du type de charbon utilisé [100] .

3.3.3.7.2 les alumines, Al₂O₃ n(H₂O):

fabriquées à partir de bauxite par traitement thermique. Ce sont des corps extrêmement poreux et partiellement hydratés. Elles sont couramment employées pour le séchage des gaz et l'élimination de l'eau dans les liquides. L'alumine ou oxyde d'aluminium, de formule chimique Al₂O₃, est un composé chimique qui existe à l'état naturel dans la bauxite, sous forme d'alumine hydratée mélangée avec de l'oxyde de fer.

L'alumine a été isolée en 1754 par le chimiste allemand Marggraf à partir de l'alun. C'est Louis Guyton de Morveau (1737-1816), collaborateur de Lavoisier, qui baptisa alumine l'un des sulfates contenu dans l'alun. L'extraction de l'alumine de la bauxite est réallisée suivant un procédé chimique appelé procédé Bayer inventé par l'Autrichien Karl Josef Bayer. La bauxite y est attaquée par la soude à haute température et sous pression. La première usine à exploiter ce procédé est l'usine de Gardanne anciennement Pechiney en 1894 . Cette usine produit toujours à ce jour des aluminés hydratés et calcinés suivant ce procédé. L'alumine est exploitée industriellement pour obtenir de l'aluminium par le procédé électrolytique Héroult-Hall. Elle est aussi utilisée comme matériau réfractaire (résistant aux très fortes températures) et comme céramique, et peut être également utilisée sous forme de corindon pour fabriquer des abrasifs[101].

3.3.3.7.3 les sillces,(SiO_2 , n H_2O):

fabriquées à partir de solutions colloïdales d'acide silicique et employées pour le séchage des gaz et la séparation des hydrocarbures. La silice, de formule chimique SiO_2 , peut être d'origine naturelle (composé répandu de l'écorce terrestre) ou synthétique. Il existe un grand nombre de silices synthétiques décrites en détails par Il er[102] .Nous en présentons deux grands types la silice colloïdale, et les gels et poudres de silice. Ils sont formés par agrégation des particules colloïdales formant les sols. Dans le cas des gels : ces particules sont agrégées de telle sorte qu'elles constituent un réseau tridimensionnel cohérent, rigide. La taille des agrégats peut atteindre quelques dizaines de microns.

3.3.3.7.4 les zéolithes:

(tamis moléculaires) ce sont des alumino-silicates de sodium ou de calcium qui ont subi un traitement thermique pour éliminer l'eau d'hydratation. Elles diffèrent des autres adsorbants par leur structure cristalline et par l'ouverture fixe et uniforme de leurs pores. Elles sont utilisées pour le traitement des gaz ou la déshumidification des liquides organiques.

3.3.3.7.5 Les argiles:

- Historique:

L'argile a été utilisée comme matière première depuis la plus haute antiquité par toutes les civilisations. En Extrême Orient (Japon), des figurines en argiles datées de X 10000 ans avant JC ont été retrouvées. Au début de l'ère chrétienne, l'argile a commencé à apparaître comme un secteur important dans l'industrie mais son utilisation est restée limitée jusqu'au début du XIX^{ème} siècle du fait de leur faible compatibilité avec les procédés industriels. Une série d'analyses chimiques des différentes Kaolin a été testée par A. Brangniart, Directeur de la Manufacture Nationale de Sevres à

cette époque. En 1862 G. Delafosse a proposé une méthode de purification par lévigation qui consiste à séparer, en passant dans un courant d'eau, des constituants d'un mélange ayant des densités différentes. [103]

- Origine:

Les minéraux argileux proviennent de l'érosion de roches silicatées en particulier de la désagrégation des minéraux composants du granite mica et feldspath. Les minéraux argileux les plus communs : la kaolinite, halloysite, la montmorillonite l'illite la vermiculite sont de très fines particules, elles peuvent soit rester sur place (argiles résiduelles, ex : argiles à silex, argiles de décalcification) soit être transportés sur de longues distances par les cours d'eau Jusqu'au fond de la mer (ex argiles des fonds océaniques)

- Propriété des argiles:

Traditionnellement utilisées comme matière première par les potiers, les argiles ont de nombreux débouchés dans l'industrie grâce à leurs caractéristiques chimiques (adsorption et absorption des molécules. composition) et physiques (taille des particules)[104]. Les argiles sont constituées de minéraux dont les particules sont essentiellement des phyllosilicates : empilements des feuillets bidimensionnels[105] . En milieu aqueux, les minéraux argileux développent une charge de surface induisant des propriétés superficielles particulières Il s agit principalement de leur capacité d'échange ionique et de leurs propriétés acido-basiques auxquelles s'ajoutent leurs propriétés texturales (surface spécifique et porosité).

a) La capacité d'échange ionique:

Le phénomène d'échange d'ions peut être invoqué pour tout système constitué d'au moins deux phases non miscibles . La phase solide, imprégnée de liquide, développe à sa surface des charges positives ou négatives qui sont alors exactement compensées par des charges de signe opposé apportées par les ions de la solution. Les charges portées par le solide sont soit localisées ou niveau de groupements fonctionnels ionisés (par exemple les groupes silanol ou aluminol en bordure des feuillets d'argile), soit délocalisées (par exemple la charge permanente résultant de substitutions au sein du cristal argileux). On considère alors que les zones de surface où sont concentrées les charges électrostatiques constituent des sites d'échange d'ions [106] .

b) Surface spécifique:

La surface spécifique d'un matériau est la surface totale accessible aux molécules d'adsorbant par unité de masse d'adsorbant, elle comprend la surface externe et constituée par les parois des mésopores et des macropores ainsi que par la surface non poreuse. La surface interne correspond uniquement à la surface des parois des micropores.

c) Phénomène de gonflement:

L'espace interfoliaire des argiles est occupé par des cations qui compensent le déficit de charge des feuillets d'argile. Lorsque le matériau est hydraté, ces cations ont la capacité de s'entourer de molécules d'eau. Dans le cas de la montmorillonite, les forces d'attraction électrostatiques entre les feuillets (force de Van der Waals) n'étant pas suffisantes pour s'opposer à la pénétration de l'eau dans les espaces interfoliaires, l'interaction de molécules d'eau dans les espaces interfoliaires conduit à un écartement des feuillets.

d) Classification des argiles:

Il existe différentes classifications des argiles. La plus classique est basée sur l'épaisseur la structure du feuillet. On distingue ainsi quatre groupes :

Minéraux de type 1:1 ou (T-O): Ils sont constitués d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. La distance inter feuillets est de l'ordre de 7Å.

Minéraux de type 2:1 (ou T-O-T): Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques de silice et d'une couche octaédrique alumineuse. L'équidistance caractéristique varie de 9,4 à 15Å selon le contenu de l'inter feuillet. A ce type correspondent les groupes du talc, des smectites, des vermiculites et des micas.

Minéraux de type 2:1:1 (ou T-O-T-O): Le feuillet est constitué par l'alternance de feuillet T-O-T et de couche octaédrique inters folloire. L'équidistance caractéristique est alors d'environ 14 Å. A ce type correspond le groupe du chlorite.

e) Activation des argiles:

L'activation est un procédé qui consiste à améliorer les propriétés d'adsorption de l'argile en lui faisant subir un traitement physique (thermique) ou chimique. Afin d'améliorer leur capacité à adsorber des matières colorées et d'autres impuretés présentes dans les solutions et des huiles [106].

- Les principaux adsorbants argileux:

a-La montmorillonite:

elle se caractérise par d'importants phénomènes de dilatations et de substitutions isomorphes et est très répandue dans les sols [107] La montmorillonite est une smectite dioctaédrique où l'ion Na^+ Joue le rôle de cation neutralisant de la charge induite par les phénomènes de substitution partielle soit de l' Al^{3+} octaédrique par Mg^{2+} ou Fe^{2+} soit du Si^{4+} tétraédrique par Al^{3+} [107].

-Les propriétés particulières de ce type d'argile sont les suivantes: [108]

Les cohésions entre les feuillets sont faibles Le clivage est aisé et spontané dans l'eau et par conséquent, il se produit une grande dispersion.

Quand il n'y a pas de clivage, l'eau et ses électrolytes se placent entre les feuillets et les éloignent les uns des autres en causant le gonflement des argiles.

La surface spécifique de la montmorillonite peut aller jusqu'à 800 m²/g, ce qui explique sa tendance à fixer des cations échangeables.

La surface de la montmorillonite présente une grande dispersion et une importante réactivité, notamment vis-à-vis de l'ion OH^-

b-La kaolinite :

Le feuillet de kaolinite résulte de la liaison d'une couche tétraédrique avec une couche octaédrique, la liaison se faisant par les atomes d'oxygène.

La particule de kaolinite est formée d'un empilement de ces feuillets, de l'ordre d'une centaine Les feuillets sont liés les uns aux autres par des liaisons hydrogène relativement fortes qui empêchent le phénomène de dilatation et font de sorte que la distance de base ait une valeur faible de l'ordre de 7,2 Å. Par conséquent il en résulte que: l'empilement est difficile à dissocier Le minéral est stable et l'eau ne peut ni circuler entre les feuillets ni provoquer un gonflement ou un retrait des particules.

Cette argile est particulièrement répandue dans les sols provenant de régions à climat chaud et humide. [107]

c-L'illite:

C'est un matériau de transition entre les micas muscovitiques et la montmorillonite. L'illite est une argile très répandue dans les sols et est un précurseur des minéraux tel que la vermiculite et les smectites. Elle se transforme dans la couche intermédiaire par substitution des cations non échangeables avec des cations hydratés échangeables .[107]

d-La bentonite:

C'est une argile en partie amorphe avec une composition variable. Elle contient plus de 75 % de montmorillonite, mais d'autres minerais d'argile telles que l'illite et la kaolinite peuvent être présents, aussi bien qu'une quantité variable de minerais détritiques non-argileux. Bien que certaines bentonites semblent relativement pures, la teneur des minerais non argileux est très rarement en dessous de dix pour cent. La cristobalite est fréquemment présente en bentonite. La composition de la montmorillonite elle-même change d'une bentonite à l'autre, dans son treillis ou en forme d'ions échangeables. En conséquence, les caractéristiques de la bentonite peuvent changer d'un produit à l'autre [107] Les bentonites comme l'argile ont la propriété d'adsorber certains cations et anions leurs surfaces et de la maintenir à un état échangeable (20), la réaction d'échange étant stoechiométrique.

- Les procédés des argiles:

L'argile s'applique dans divers domaines de notre vie de tous les jours et nombreux sont ceux qui l'ignorent encore. Ce sont sur les premières tablettes d'argiles qu'on a retrouvé les premières traces d'écriture. Les Egyptiens connaissaient et utilisaient les vertus de l'argile dans leur vie quotidienne (soins, hygiène, cuisine, poterie, -). À l'époque de la Rome antique, dans les célèbres thermes, ancêtres de nos balnéothérapies, l'argile était abondamment utilisée sous forme de bains et d'enveloppements. Les Chinois, également, connaissaient l'argile et l'employaient comme dégraissant alimentaire. Dans tous les peuples qui sont très en contact avec la nature, l'argile est, et reste, présente et utilisée quotidiennement. L'argile est aussi largement employée en médecine vétérinaire. L'argile joue également un grand rôle dans différents secteurs de l'industrie à savoir:

a-L'industrie du papier : le papier est fabriqué à partir de fibres de bois réduites en pâte, de poudre, de pigments et d'additifs. Des charges (ou poudres) telles que l'argile ou la craie sont ajoutées pour rendre le papier opaque.

b-L'industrie de la céramique : par sa remarquable plasticité, l'argile est employée depuis toujours pour les poteries, les porcelaines. Sa technologie est en évolution constante.

c-L'industrie du bâtiment: l'argile est aussi un excellent minéral et mélangé à d'autres matériaux comme le calcaire, par exemple, Il permet d'obtenir du ciment. Briques et tuiles peuvent en effet être fabriquées à partir d'un mélange d'argile et d'eau moulé sous pression, et cuit à une température suffisamment élevée (1200°C) .

d-L'industrie minière: dans le cadre de l'épuration des eaux usées, l'argile peut être employée comme dépolluant, en raison de son grand pouvoir d'adsorption. En effet, elle donne d'excellents résultats en

ce qui concerne l'adsorption des métaux lourds tel que le zinc contenu dans les eaux usées et polluées. Son utilisation pour l'épuration des eaux chargées en métaux lourds provenant de l'industrie minière est en train d'être étudiée.

e-L'industrie pétrolière : l'argile est fréquemment utilisée dans ce secteur comme boue de forage mais intervient également comme catalyseur dans le raffinage du pétrole.

f-L'élevage et l'industrie agricole: dans l'élevage des bovins, l'argile bentonite (argile colloïdale) est utilisée pour soigner et guérir les animaux souffrant de graves maladies comme l'infestation de parasites Internes et toute autre forme d'intoxication Importante.

L'argile, grâce à son exceptionnel pouvoir absorbant, permet de retenir l'eau dans la terre et sert ainsi, tout naturellement, de réservoir d'eau et d'engrais aux plantes. Certes, l'argile a aussi un pouvoir adsorbant (retenant les ions positifs) et constitue un véritable réservoir d'éléments nutritifs car il échange en permanence des ions avec la solution du sol environnante. La présence de ces ions échangeables entre les feuillets d'argile est importante car elle permet la nutrition des plantes. Elle cède en effet les cations retenus et les végétaux peuvent donc puiser l'eau contenue dans les pores. De plus, les processus d'échange ionique permettent de réaliser la fixation d'ions indésirables tels que des pesticides ou des déchets toxiques ou radioactifs.

3.3.3.8 Etude de l'influence de quelques paramètres sur l'adsorption de colorant:

Le procédé d'adsorption peut être influencé par divers paramètres à savoir; le pH, la température, la vitesse d'agitation, la concentration de l'adsorbât et la masse de l'adsorbant.

Ces paramètres peuvent influencer le processus d'adsorption et notamment la capacité et la cinétique de rétention. Ainsi que la capacité d'adsorption d'un matériau est influencée par les propriétés physicochimiques de l'adsorbant (surface spécifique, granulométrie, fonctions de surface, porosité,..), de l'adsorbât (concentration dans la solution, solubilité, taille, fonctions chimiques présentes, compétition entre les différentes molécules..) et celles du milieu (force ionique, pH, température, agitation, caractéristiques hydrodynamiques...). [109]

Dans ce qui suit, nous citons les plus importants. surface spécifique du matériau [110]. Les solides dans les milieux naturels (argiles, silice..) possèdent des surfaces spécifiques variables avec l'état physico-chimique du milieu. Aussi certaines argiles comme les bentonites (montmorillonites par exemple) ont une surface accessible à la plupart des molécules, variant de 40 à 800m² /g.

Leur capacité d'adsorption est très variable mais constitue le paramètre essentiel de la régulation des échanges et de la mobilité des éléments dans le milieu naturel. Les adsorbants industriels (les

charbons actifs) développent des surfaces spécifiques énormes (600 à 1200m² /g) caractéristiques d'une très forte microporosité.

D'autres adsorbants comme les hydroxydes métalliques formés au cours de la coagulation-floculation développent eux aussi de très grandes surfaces dont l'extension est étroitement dépendante du pH.

3.3.3.9 Nature de liaison adsorbât-adsorbant:

La nature de liaison est définie par l'énergie libre d'interaction « G » entre les sites d'adsorption et la partie de la molécule en contact avec la surface. Cette énergie est directement mesurable dans le cas de l'adsorption des gaz. Par contre, en milieu aqueux, les techniques calorimétriques n'enregistrent que l'enthalpie différentielle d'adsorption correspondant à la différence des énergies d'adsorption des molécules adsorbées et de désorption de l'eau à l'interface .[111]

- Temps de contact entre le solide et le soluté A l'équilibre, il y a échange dynamique entre les molécules de la phase adsorbée et celles restantes en solution. Affinité du solide pour la substance en solution [112]. La compétition entre soluté lorsque la substance étudiée est dans un mélange. Pour l'essentiel, les forces attractives de VANDER WAALS et les forces attractives électrostatiques (coulomb) sont à l'origine de l'adsorption. Par exemple on observe une forte affinité des molécules aromatiques pour la structure graphitique du charbon, et une répulsion des molécules polaires non aromatiques.

- Vitesse d'adsorption : alors que l'adsorption physique des gaz ou des vapeurs sur les adsorbants solides est extrêmement rapide, l'adsorption en phase liquide est beaucoup moins rapide. La viscosité de la solution doit être un facteur agissant sur la vitesse d'adsorption et il est vraisemblable qu'en diminuant la viscosité par chauffage, on augmente la vitesse. C'est une des raisons pour lesquelles on effectue à température élevée, la décoloration des solutions par adsorbants solides.

3.3.3.9.1 Nature de l'adsorbant:

Étant donné que la substance à adsorber doit se mouvoir dans un solvant plus ou moins visqueux, l'adsorbant travaillant en phase liquide a en général des caractéristiques différentes de celles des adsorbants utilisés en phase gazeuse. Les adsorbants en milieu liquide agissent tout d'abord par leur surface externe. Quand à leur surface interne, elle doit être accessible par des pores ou des capillaires d'un diamètre plus élevé que celui nécessaire pour une adsorption rapide de gaz. La diffusion du corps adsorbé vers la surface interne s'opère lentement dans le solvant et devient encore plus lente dans les petits capillaires. De ce fait, l'énergie d'adsorption de l'adsorbant est moins importante pour

le travail en phase liquide que pour celui en-phase gazeuse. Certains adsorbants ont une action spécifique caractérisée[112]

3.3.3.9.2 Nature du solvant:

Puisque la fonction principale de l'adsorbant est de créer une interface liquide-solide importante, l'influence de la nature de solvant sur l'adsorption devient très marquée. Le taux d'adsorption est déterminé principalement par la tension interfaciale solide-liquide. L'adsorption par les solides sera plus importante en milieu aqueux qu'en solution organique. L'éluion ou désorption de l'adsorbât opération inverse de l'adsorption sera au contraire plus aisée avec un solvant organique qu'avec l'eau

3.3.3.9.3 Nature de l'adsorbât:

Le taux d'adsorption d'une substance par un adsorbant donné restera sensiblement le même, à partir de ses solutions dans différents solvants, si le rapport de la concentration de cette substance, dans un solvant donné, à sa solubilité dans le même solvant reste le même d'un solvant à l'autre. Plus une substance est polaire, grande est son adsorption sur une surface polaire, à toutes choses égales. De même moins une substance est polaire, plus grande est son adsorption sur une surface non polaire.

En résumé, la capacité d'adsorption augmente lorsque : [113]

- La concentration du soluté adsorbable augmente
- La surface spécifique de l'adsorbant augmente.
- Le poids moléculaire du soluté augmente.
- Le pH diminue, pour autant que cette diminution de pH s'accompagne d'une diminution de la solubilité des solutés.

3.3.3.10 Capacité d'adsorption:

La capacité d'adsorption est la courbe liant, à une température fixée, la quantité de produit adsorbée par masse initiale d'adsorbant à la concentration restant en phase fluide après équilibre d'adsorption, Elle nécessite la prise en compte de nombreux paramètres qui concernent l'adsorbât (taille des molécules, solubilité dans l'eau, etc.) et l'adsorbant (surface spécifique, structure et type de particules, .. etc. [114].

CONCLUSION GENERALE

Les industries du textile rejettent de grandes quantités d'eaux usées présentant un risque de toxicité. Ces rejets colorés posent un problème esthétique, mais également sanitaire car un grand nombre de ces colorants est toxique. Comme tous les composés organiques dangereux pour l'homme, les colorants synthétiques réclament des traitements spécifiques.

Dans cette étude nous avons réalisé une étude bibliographique sur la pollution des eaux par les colorants et les méthodes de traitement largement utilisés.

Cette étude montrent que les colorants affectent l'environnement surtout le milieu aquatique. A ce raison plusieurs méthodes d'élimination de ces colorants en milieu aquatique ont été adoptés.

Cependant la majorité des procédés classiques utilisés par les usines de traitements des eaux usées sont mal et parfois même pas adaptés à la dépollution de ces polluants biocides et avec des couts très élevés.

Dans L'adsorption est considérée comme la méthode la plus alternatives et efficace pour le traitement des effluents colorés, même lorsque les eaux en contiennent de très petite quantité.

LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] **FNUAP**: le Fonds des Nations Unies pour la population
- [02] **Céline Deluzarche 2018**: 01/11/2018, Diplômée de l'Institut Français de Presse en 2004, Céline a créé et alimenté la rubrique Science sur le site L'Internaute jusqu'en 2007 avant de travailler pour la rubrique Business du Journal du Net.
- [03] **Jean-Marie 2016** : le 22 May 2016 Boucher est le fondateur de consoGlobe en 2005 avec le service de troc entre particuliers digitroc. Rapidement, il convertit ses proches et sa
- [04] **Pierre Tourev 2006**: Pierre Tourev , France , le site a été créé en 2006 <http://www.toupie.org>
- [05] **Pepper, I.L., Gerba, C.P., Newby, D.T. & Rice, C.W. 2009. Soil: A Public Health Threat or Savior? Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 39(5): 416–432.**
<https://doi.org/10.1080/10643380701664748>
- [06] **FAO & ITPS. 2015.** Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. (also available at <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>).
- [07] **Swartjes, F.A., ed. 2011.** Dealing with Contaminated Sites. Dordrecht, Springer Netherlands. (also available at [http:// link.springer.com/10.1007/978-90-481-9757-6](http://link.springer.com/10.1007/978-90-481-9757-6)).
- [08] **UNEP United Nations Environment Programme. 2017a.** Resolution UNEP/EA.3/Res.6 Managing soil pollution to achieve sustainable development. United Nations Environment Programme. [Cited 28 June 2018]. <https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/k1800204.english.pdf>
- [09] **AFES, Orceo, ICPE** L'association française d'étude des sols (AFES) .Orceo, société de traitement écologique des pollutions L'association française d'étude des sols (AFES) .Orceo, société de traitement écologique des pollutions
- Les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)
[localeshttp://risquesenvironnementaux-collectivites.oree.org/le-guide/risques-mon-territoire/sante-environnement/pollution-du-sol.html](http://risquesenvironnementaux-collectivites.oree.org/le-guide/risques-mon-territoire/sante-environnement/pollution-du-sol.html)
- [10] **Atmosud** : Votre observatoire de la qualité de l'air
en Région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur
<https://www.atmosud.org/article/lair-et-ses-pollutions-0>
- [11] **KERMARREC (A.), 1980.-** Niveau actuel de la contamination des chaînes biologiques en Guadeloupe: pesticides et métaux lourds. Rapp. INRA. Min. Environnement, Petit Bourg, Guadeloupe, multig.,
- [12] **[Rodriguez, 2004], A. RODRIGUEZ GARCIA,** étude de la congélation comme technique de traitement des eaux : Applications spécifiques Thèse Doctorat. 2004
- [13] **[Valentin 2000] , N.VALENTIN,** Construction d'un capteur logiciel pour le contrôle automatique du procédé de coagulation en traitement d'eau potable Thèse Doctorat. 2000.
- [14] **[Rodier, 1995], J. RODIER, C. BAZIN, L. RODI,** l'analyse de l'eau Ed : DUNOD, 8eme édition 1995.
- [15] **[Jacques, 2003], jacques le coarer,** Chimie le minimum à savoir autoformation, EDP Sciences. France., ISBN 2-86883-636-4, 2003
- [16] **[Hadj-Sadok, 1999], HADJ-SADOK, Z., K.,** Modélisation et estimation dans les bioréacteurs ; prise en compte des incertitudes : application au traitement de l'eau. Thèse de Doctorat de l'Université de Nice – Sophia Antipolis, Nice, France, 1999

- [17] **[Steyer 1998], STEYER, J.P. Modélisation**, Commande et Diagnostic des Procédés Biologiques de Dépollution. Habilitation à Diriger des Recherches, Laboratoire de Biotechnologie – INRA, Narbonne, France, 1998.
- [18] **[Queinnec,2000], QUEINNEC, I.** Contribution à la Commande de Procédés Biotechnologiques : Application au Traitement Biologique de la Pollution. Habilitation à Diriger des Recherches, Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes, Rapport LAAS No. 00455, Toulouse, France, 2000
- [19] **Marillys Macé 2010**: Directrice générale du Centre d'information sur l'eau, d'apporter des connaissances pédagogiques sur l'eau distribuée, la gestion de l'eau en France,
- [20] **Océane Bidault 2017 , 01 mars 2017**, Waterlogic Better thinking. Better water https://www.theguardian.com/environment/2016/aug/31/cleaning-the-worlds-water-we-are-now-more-polluted-than-we-have-ever-been?CMP=share_btn_link http://pacinst.org/app/uploads/2013/02/water_quality_facts_and_stats3.pdf <http://www.coserve-energy-future.com/various-water-pollution-facts.php> <https://thewaterproject.org/water-crisis/water-in-crisis-rural-urban-africa> <https://freshwaterblog.net/2016/9/-snapshot-of-the-worlds-water-quality-water-pollution-increases-in-africa-asia-and-latin-america> http://www.wwqa-documentation.info/assets/pollcy_brief_unep_wwqa_web3.pdf <http://www.waterbenefitshealth.com/water-pollution-facts.html>
- [21] **HASSEN TRABELSI 2014**: Etude de la dégradabilité et de la toxicité des colorants par ozonation et photocatalyse Pour obtenir le titre de Docteur De l'Université de Monastir, délivré par la Faculté des Sciences de Monastir ; Spécialité : Chimie.
- [22] **BOUKRAA DJELLAL SAIAH FATIHA 2010**: Traitement des eaux de rejets par sorption de colorant organique sur des argiles anioniques type HDL et comparaison avec des matériaux mésoporeux et macro-mésoporeux hiérarchisés, En vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT EN SCIENCES, UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN MOHAMED BOUDIAF FACULTE DES SCIENCES - DEPARTEMENT DE .
- [23] **BOUCHERIT NABILA 2016**: Traitement des colorants textiles par procédés de couplage Fenton-enzyme CHIMIE, Thèse de Doctorat en Sciences Spécialité : Chimie, UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU.
- [24] **Melle Chetoui Souheyla 2010**: Structures et propriétés physico-chimiques de substances colorantes de synthèse, Mémoire Présenté pour l'Obtention du Diplôme de Magister en Chimie , Option : Cristalochimie, Université Mentouri Constantine. Faculté des Sciences exactes, Département de Chimie.
- [25] **Mme BENAÏSSA Akila épouse KACEM CHAOUICHE 2011**: Etude de la dégradation photocatalytique d'un colorant synthétique et d'un tensioactif, Présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences En Génie des procédés, Université Mentouri Constantine .Faculté des Sciences de l'Ingénieur Département de Chimie Industrielle.
- [26] **(GRAEBE et LIBERMANN 1868)** decolorization of textile-dye-containing effluents: A review. <<http://www.chemvironcarbon.com/carbon/activatedcarbon.htm>> [consulted on 15/12/2007].
- [27] **SAMIHA HAMMAMI 2008**: Étude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels, pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Paris-Est et Tunis El Manar Spécialité : Géomatériaux.
- [28] **Lakhache Sofiane 2017**: Adsorption de Blue Méthylène sur des argiles brute et sodée Diplôme de MASTER En Chimie Inorganique & l'Environnement, UNIVERSITÉ Dr MOULAY TAHAR – SAÏDA - Faculté des Sciences Département Chimie.
- [29] **SALMI Djaafar et SLIMANI Kahina 2014**: Application de l'électroflottation électrocoagulation pour l'élimination d'un colorant textile Cas du Bleu d'indanthrène RS, Université A.MIRA-BEJAIA Faculté de Technologie Département d'Hydraulique.

- [30] **ZENNAKI Assia**2016: Préparation de composites argiles/polymère, Application à l'adsorption des colorants, UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAID- TLEMCEN Faculté des sciences Département de Chimie.
- [31] **BOUCHERIT NABILA**2016: Traitement des colorants textiles par procédés de couplage Fenton-enzyme CHIMIE, Thèse de Doctorat en Sciences Spécialité : Chimie, UNIVERSITE MOULOU MAMMERI TIZI OUZOU
- [32] **BOUCHERIT NABILA**2016: Traitement des colorants textiles par procédés de couplage Fenton-enzyme CHIMIE, Thèse de Doctorat en Sciences Spécialité : Chimie, UNIVERSITE MOULOU MAMMERI TIZI OUZOU
- [33] **U. Pagga, D. Brown:** Chemosphere 15(4) (1986) 479-491
- [34] **C. Bauer, P. Jacques, A. Kalt,;J. Photochem. Photobiol. A: chem. 140 (2001) 87-92. M. Stolte, M. Vieth:** Acta Endosc. 31 (2) (2001) 125–130.
- [35] **C.F.I. Jabs, H.P. Drutz, Am. J. Obstet. Gynecol:**185 (6) (2001) 1368–1373.
- [36] **Fujian X, C. Hong zhang et L. Zu ohu (2001):**Solid– state production of lignin peroxidase (LiP) and manganese peroxidase (MnP) by Phanerochaete chrysosporium using steam-exploded straw as substrate. Bioresour. Technol., 80, 149-151.
- [37] **Glenn J.K. et M.H. Gold (1983):**Decolorization of several polymeric dyes by the lignin- degrading basidiomycete Phanerochaete chrysosporium. Appl. Environ. Microbiol, 45,1741-1747.
- [38] **Crips C., A. John , J.A. Bumpus et S.D. Aust (1990):**Biodegradation of azo and heterocyclic dyes by Phanerochaete chrysosporium. Appl. Environ. Microbiol., 56, 1114-1118.
- [39] **Balan D.S.L. et R.T.R. Monteiro (2001):**Decolorization of textile indigo dye by ligninolytic.fungi. J. Biotechnol., 89, 141–145.
- [40] **Eichler ova I., (2005):**Orange G and remazol brilliant; blue R decolorization by white rot fungi Dichomitus squalens, Ischnoderma resinosa and Pleurotus calyptratus. Chemosphere , 60, 398–404.
- [41] **Hara zono, K. et K. Nakamura (2005):**Decolorization of mixtures of different reactive textile dyes by the whiterot basidiomycete Phanerochaete sordida and inhibitory effect of polyvinyl alcohol. Chemosphere, 59, 63- 68.
- [42] **Durán N., De Conti et E. Esp osit o (2002):**Ecological-friendly pigments from fungi. Critical Rev. Food Sci. Nutr., 42, 53-66.
- [43] **Kulla H.G. et T. Leisinger (1983).**Interference of aromatic sulfo groups in the microbial degradation of the azo dyes orange I and orange II. Arch. Microbiol., 135, 1-7.
- [44] **Robinson (2001).** Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. Bioresour. Technol., 77, 247-255.
- [45] **Nigam , P. et R. Marchant (1995).** Selection of a substratum for composing biofilm system of a textile effluent decolorizing bacteria. Biotechnol. Lett., 17, 993- 996.
- [46] **Swamy J. et J.A. Ramsa y (1999).**Effects of glucose and NH₄ + concentrations on sequential dye decoloration by Trametes versicolor. Enz. Microb. Technol., 25, 278-284.
- [47] **Hedi Ben Mansoura,b,c:** Oualid Boughzalaa, dorra Dridic, Daniel Barilliera, Leila Chekir-Ghedirab, Ridha Mosratia 2010 a: Équipe de Recherche en Physico-Chimie et Biotechnologie (ERPCB – EA3914), IUT-UFR Sciences, Université de Caen, Basse Normandie, France.

- [48] **Mouta oua kkil M., Y. Zer oual , F.Z. Dzayri , M. Talbi , K. Lee et M. Blghen (2003):**Purification and partial characterization of azoreductase from *Enterobacter agglomerans*. *Arch. Biochem. Biophys.*, 413, 139–146.
- [49] **Mouta oua kkil M., Y. Zer oual , F.Z. Dzayri , M. Talbi , K. Lee et M. Blghen (2004):** Decolorization of azo dyes with *Enterobacter agglomerans* immobilized in different supports by using fluidized bed bioreactor. *Current Microbiol.*, 48, 124–129.
- [50] **Pande y, B.V. et R.S. Upadhyay (2006):**Spectroscopic characterization and identification of *Pseudomonas fluorescens* mediated metabolic products of Acid Yellow-9. *Microbiol. Res.*, 161, 311-315.
- [51] **Blümel S.(1998):** Isolation of a bacterial strain with the ability to utilize the sulfonated azo compound 4-carboxy sulfoazobenzene as the sole source of carbon and energy. *Appl. Environ. Microbiol.*, 64, 2315–2317.
- [52] **Wong P.K. et P.Y. Yuen (1998):**Decolorization and biodegradation of methyl red by *Klebsiella pneumoniae* RS- 13. *Water Res.*, 30, 1736-1744.
- [53] **Kulla H.G., F. Klausener , U. Meyer , B. Lüde ke et T. Leisinger (1983).** Interference of aromatic sulfo groups in the microbial degradation of the azo dyes orange I and orange II. *Arch. Microbiol.*, 135, 1-7.
- [54] **Zimmermann T., H.G. Kulla et T. Leisinger (1982).**Properties of purified Orange II azoreductase, the enzyme initiating azo dyes degradation by *Pseudomonas* KF46. *Eur. J. Biochem.*, 129, 179-203.
- [55] **Feigel B.J. et H.J. Knac kmuss (1993).**Syntropic interactions during degradation of 4 aminobenzenesulfonic acid by a two species bacterial culture. *Arch. Microbiol.*,159, 124–130.
- [56] **Brohm K. et E. Frohwein (1937).**Nachweis von durch Säuerungsfarben künstlichen Eigelbfrabstoffen in Milchspeiseeis. *Zbl. Lebensmitt. Forsch.*,
- [57] **Chung K.T., G.E. Ful k et M. Egan (1978).** Reduction of azo dyes by intestinal anaerobes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 35, 5588-5620.
- [58] **Horitsu , H., M. Takada , E. Ida ka, M. Tomoyeda et T. Ogawa (1977).**Degradation of p-aminoazobenzene by *Bacillus subtilis*. *Eur. J. Appl. Microbiol.*, 4, 217-224.
- [59] **Wuhrmann K., K.I. Mechsner et T. Kappeler (1980).**Investigation on rate determining factors in the microbial reduction of azo dyes. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 9, 325-338.
- [60] **Yatome C., T. Ogawa , H. Hayashi et T. Ogawa (1991).**Microbial reduction of azo dyes by several strains. *J. Environ. Sci. Health, A* 26, 471-485.
- [61] **Suzuki T., S. Tim ofei , L. Kurunc zi, U. Diet ze et G. Schurmann (2001).** Correlation of aerobic biodegradability of sulfonated azo dyes with the chemical structure. *Chemosphere*,
- [62] **Maier J., A. Kandelbauer , A. Erlacher , A. Cavac o-Paul o et G.M. Gübit z (2004).**A new

alkali-thermostable azoreductase from *Bacillus* sp. strain SF. *Appl. Environ. Microbiol.*, 70

837–844.

[63] **Idaka E. et Y. Ogawa (1978)**. Degradation of azo compounds by *Aeromonas hydrophila* var. 2413. *Dyers Colour.*, 94, 91-94.

[64] **Chen K.C., J.Y. Wu, D.J. Liu et S.C.J. Hwang (2003)**. Decolorisation of the textile dyes by newly isolated bacterial strains. *J. Biotechnol.*,

[65] **Yatome C., T. Ogawa , D. Koga et E. Ida ka (1981)**. Biodegradability of azo and triphenyl methane dyes by *Pseudomonas pseudomallei* 13NA. *J. Soc. Dyers Colour.*, 97, 166-169.

[66] **Chang J.S., Chou, C., Y.C. Lin , P.J. Lin , J.Y. Ho et T.L. Hu (2001)**. Kinetic characteristic of bacterial azo dyes decolorization by *Pseudomonas luteola*. *Water Res.*, 35, 2841-2850.

[67] **Hu, T.L. (1994)**. Decolourization of reactive azo dye by transformation with *Pseudomonas luteola*. *Bioresour. Technol.*, 49, 47–51.

[68] **Abraham T.E., R.C. Senan , T.S. Shaffiqu , J.J. Roy, J.J., T.P. Poul ouse et P.P. Thomas** Bioremediation of textile azo dyes by an aerobic bacterial consortium using a rotating biological .(2003) contactor. *Biotechnol. Progr.*, 19, 1372-1376.

[69] **Sugiura W., T. Miyashita , T. Yokoyama et M. MOT00 Ara (1999)**. Isolation of azo-dye-degrading microorganisms and their application to white discharge printing of fabric. *J. Biosci. Bioeng.*, 88, 577-581.

[70] **Kalme S.D., G.K. Parshetti , S.U. Jadhav et S.P. Govindwar (2007)**. Biodegradation of benzidine based dye Direct Blue-6 by *Pseudomonas desmolyticum* NCIM 2112. *Bioresour. Technol.*, 98, 1405–1410.

[71] **Yu J., X. Wang et P.L. Yue (2001)**. Optimal decolorization and kinetic modeling of synthetic dyes by *Pseudomonas* strains. *Water Res.*, 35, 3579-3586.

[72] **Fang H., H. Wenr ong et L. Yue zhong (2004)**. Biodegradation mechanisms and kinetics of azo dye 4BS by a microbial consortium. *Chemosphere*, 57, 293–301.

[73] **Chung KT., E.G. Ful k et A.Y. Andrews (1981)**. Mutagenicity testing of some commonly used dyes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 42, 641-648

De France B.F., M.H. Carter et P.D. Joseph y (1986). Comparative metabolism and mutagenicity of azo and hydrazone dyes in the Ames test. *Food Chem. Toxicol.*, 24, 165-196

Jung R., D. Steinle et R. Anli ker (1992). A compilation of genotoxicity and carcinogenicity ata of aromatic .aminosulfonic acids. *Food Chem. Toxicol.*, 30, 635-660

Yahagi Y., M. Degawa , Y. Sein o, T. Matsushima , M. Naga o, T. Sugimura et Y. Hashim oto

(1975). Mutagenicity of mutagenic azo dyes and their derivatives. *Cancer Lett.*, 1, 91-96.

[74] **Jinqi L. et L. Houtian (1992)**. Degradation of azo dyes

by algae. *Environ. Pollut.*, 75, 273-278.

[75] **Hedi Ben Mansoura,b,c**: Oualid Boughzalaa, dorra Dridic, Daniel Barilliera, Leila Chekir-Ghedirab, Ridha Mosratia 2010 a: Équipe de Recherche en Physico-Chimie et Biotechnologie (ERPCB – EA3914), IUT-UFR Sciences, Université de Caen, Basse Normandie, France.

[76] **Neyens E., Baeyens J.** Weemaes M., De heyder B., *J. Hazard. Mat*, Vol 98, 2003

Sreelatha G., Ageetha V., Parmar J., Padmaja P., 2011 Equilibrium and kinetic studies on

.reactive dye adsorption using palm shell powder and chitosan, *J. Chem. Eng*, Vol 56

Eckerifelder W W., 1982 *Gestion des Eaux Usées Urbaines et industrielles*, Technique et

documentation Lavoisier

[77] **Hao O.J., H. Kim et P.C. Chiang (2000)**. Decolorization of wastewater. *Crit. Rev. Environ. Sci.*

.*Technol.*, 30, 449- 505

Robins on T., G. McMullan , R. Marchant et P. Nigam (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresour. Technol.*, 77, 247-255

Vendevivere P.C., R. Bianchi et W. Verstraete (1998). Treatment and reuse from the textile wetprocessing industry: review of emerging technologies. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 72, 289-302.

[78] (**C. MERLY et H. GABORIAU 2010**) .

[79] **Taylor J.S. et E.P. Jacobs (1996)**. Water treatment membrane processes. McGRAW HILL (Éditeur), New- York, NY, 238 p.

[80] **Calabro V., G. Pantano, R. Kang , R. Molinari et E. Drioli (1990)**. Experimental study on integrated membrane processes in the treatment of solutions simulating textile effluents. Energy and exergy analysis. *Desalination*, 78, 257-277.

[81] **Van der Bruggen B., L. Lejon et C. Vandecasteele (2003)**. Reuse, treatment and discharge of the concentrate of pressure-driven membrane processes. *Environ. Sci Technol.*, 37, 3733-3738.

[82] **ANSELME C. et E.P. JACOBS (1996)**. Water treatment membrane processes. McGraw Hill Mallevalle, New York, NY, USA, pp. 401-1087.

- [83] (**ABOUZAID A,2001**). Optimal decolorization and kinetic modeling of synthetic dyes by Pseudomonas strains. Water Res., 35, 3579-3586.
- [84] **BENAISSA A., (2012)**: Étude de la faisabilité d'élimination de certains colorants textiles par certains matériaux déchets d'origine naturelle. Thèse Université Abou Bakr Balkaid, Tlemcen ,Algérie,
- [85] **WEBER W J., MORRIS J Cm(1963)**: Kinetics of Adsorption on Carbon from Solution, J. Sanit. Eng. Div. ASCE 89,
- [86] **WELHAM A, (2000)**: The theory of dyeing (and the secret of life). J. Soc. Dyers Colour, Vol 116,
- [87] **XIULI HAN, WEI WANG., XIAOJIAN MA, (2011)**: Adsorption characteristics of methylene blue onto low cost biomass material lotus leaf. Chemical Engineering Journal.Vol171, p1
- [88] **OUBAGHA N, (2011)**. Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétique. Thèse de Doctorat, université mouloud mammeri,tizi ouzou,
- [89] **BARKA N, (2008)**.L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO₂ supporté.Thèse Université Ibn zohr Agadir,
- [90] **BETINA ROYER., NATALI F CARDOSO., EDER C LIMA.JULIO C P VAGHETTI., NATHALIA M SIMON., TATIANA CALVETE., RENATO CATALU`NA VESES,(2009)**.
- [91] **BHATNAGAR A., VILAR V J P., BOTELHO, C M S., BOAVENTURA R A R, (2011)**. A review of the use of red mud as adsorbent for the removal of toxic pollutants from water and wastewater. Environ. Technol.
- [92] **A.K. Patil, V.S. Shrivastava 2010**, Alternanthera bettzichiana plant powder as low cost adsorbent for removal of congo red from aqueous solution, Int. J. Chemtech Res. 2 842-850.
- [93] **M. Dogan, M. Alkan, O. Demirabas, Y. Ozedemie, C. Ozemetin 2006**. Adsorption kinetics of maxilon blue GRL onto sepiolite from aqueous solution, Chemical Engineering Journal, 124 89-101.
- [94] **A. E. Ofomaja(2008)**. Sorptive removal of methylene blue from aqueous solution using palm kernel fibre : effect of fibre dose. Biochem. Eng. J. 40 8-18.
- [95] **N. Nasuha, B.H. Hameed.2011**. ETUDE COMPARATIVE SUR LES CHARBONS ACTIFS OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU – SNIDE.

- [96] **LU Jinyan (2005)**, ETUDE COMPARATIVE SUR LES CHARBONS ACTIFS OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU – SNIDE.
- [97] **RICHARD Y., FIESSINGER F., 1970**. chapter 1 " le choix du charbon " ; chapter 3 "la régénération du charbon". In : la technologie du traitement des eaux potables par le charbon actif granulé. Techniques et sciences municipales, N°7,8,9 et 10.
- [98] **CHEMVIIRON. [updated 2004]**. Activated carbons [online]. Available on <http://www.chemvironcarbon.com/carbon/activatedcarbon.htm> [consulted on > .[2004/12/15
- :LENNTECH. [1]. Adsorption/Charbon actif [online]. Available on ;<<http://www.Lenntech.com/français/adsorption.htm>>
- :LENNTECH. [2]. Charbon actif sous forme de poudre ou de grains [online]. Available on <<http://www.Lenntech.com/français/charbonactif-grain-poudre.htm>>
- :LENNTECH. [3]. Régénération / Charbon actif [online]. Available on <http://www.Lenntech.com/français/charbonactif-regeneration.htm> [consulted on 20/12/2004].>
- [99] (**Lenntech, 2004**): Adsorption of polyacrylate and carboxy methyl ,cellulose on kaolinite : salt effects and competitive adsorption", Colloids and Surfaces Vol. 50, pp. 47-73.
- [100] (**LU Jinyan2005**). **LENNTECH**: Charbon actif sous forme de poudre ou de grains [online].
- [101] **BELKHARCHOUCHE Djanet2010** ,ADSORPTION DU BORE PAR LES ALUMINES MODIFIEES, Présenté pour obtenir le diplôme de MAGISTERE en Chimie Analytique Physique et Environnement, UNIVERSITE MENTOURI - CONSTANTINE.
- [102] **J.MAYET, (1994)**.La Pratique de l'Eau, Ed. Le Moniteur, Paris .
- [103] **Amor berez2015**. La Pratique de l'Eau, Ed. Le Moniteur, Paris .
- [104] **Järnström L. et Sternius P1990**, Adsorption of polyacrylate and carboxy methyl ,cellulose on kaolinite : salt effects and competitive adsorption", Colloids and Surfaces Vol. 50,

- [105] **SAOUDI Samiha et HAMOUMA Ouezna2013**: Adsorption d'un colorant basique bleu de méthylène sur une argile acidifié Université A. MIRA - Bejaïa - Faculté des Sciences Exactes Département de Chimie.
- [106] **Tiya Djowe, Antoine 2014** ,"Adsorbants et catalyseurs à base d'argile préparés par voie plasmachimique pour la dépollution des eaux résiduaires industrielles".
- [107] **L. Scrano 1997**, Transformations photochimiques des diphenyléthers en phase liquide et sur support solides. Doctorat Européen (chimie industrielle).
- [108] **M. El M'rabet 2002**, Contribution à l'étude de l'adsorption du carbofuran et du phénamiphos par les complexes argilo-humiques et par les sols et de la biodégradation du carbofuran. Thèse d'état, aguadir.
- [109] **Abouzaid A.,2001** Etude de différents traitements des effluents de l'industrie textile. Thèse de Doctorat, Université Chouaib Doukkali, Maroc.
- [110] **Reddad Z., Gerente C., Andres Y. Le cloirec P Environ. Sci. Technol, Vol 36, 2002.**
- [111] **Neyens E., Baeyens J., Weemaes M., De heyder B., J. Hazard. Mat, Vol 98, 2003.**
- [112] **Sreelatha G., Ageetha V., Parmar J., Padmaja P.,2011** Equilibrium and kinetic studies on reactive dye adsorption using palm shell powder and chitosan, J. Chem. Eng, Vol 56.
- [113] **Eckerifelder W ,1982** Gestion des Eaux Usées Urbaines et industrielles, Technique et documentation Lavoisier.
- [114] **ALA ABDESSEMED(2009)**: ETUDE DE L'ELIMINATION DE L'ETHYLE VIOLET PAR ADSORPTION SUR LA KAOLINITE ET LE CHARBON ACTIF ET PAR DES METHODES PHOTOCHIMIQUES EN MILIEU AQUEUX, UNIVERSITE MENTOURI-CONSTANTINE FACULTE DES SCIENCES EXACTES DEPARTEMENT DE CHIMIE.

ملخص

قمنا في هذه المذكرة بدراسة ظاهرة تلوث المياه بالملونات التي تشكل خطرا بالغاً على الانسان وجميع الكائنات الحية والمحيط

لهذا السبب عدة طرق لمعالجة المياه اتبعت للتقليل من هذا التلوث من بينها طرق بيولوجية وكيميائية وفيزيائية

ذكرنا كل هذه الطرق المتبعة وحسب راينا الطرق الفيزيائية وخاصة الامتزاز تعتبر اقتصادية وفعالة مقارنة بباقي الطرق الكلاسيكية

كلمات مفتاحية

الامتزاز , طرق المعالجة , الملونات , التلوث

Résumé

Dans cette étude, nous avons étudié le phénomène de la pollution des eaux par les colorants, qui constitue un danger grave pour l'homme, tous les êtres vivants et l'environnement. Pour cette raison, plusieurs méthodes ont été utilisées pour traiter les eaux afin de réduire cette pollution, y compris des méthodes biologiques, chimiques et physiques. Nous avons mentionné toutes ces méthodes utilisées et selon notre avis ; les méthodes physiques, l'adsorption en particulier sont considérées comme une méthode économique et efficace par rapport aux autres méthodes classiques.

Mots-clés

Pollution, colorants, méthodes de traitement, adsorption

Abstract

In this study, we studied the water pollution by dyes phenomenon, which constitutes a serious danger to humans, all living beings and the environment. For this reason, several methods have been used to treat water to reduce this pollution, including biological, chemical and physical methods. We have mentioned all these methods used and in our opinion; the physical methods, especially adsorption, are considered to be an economical and efficient method compared to other conventional methods.

Keywords

Pollution, dyes, treatment methods, adsorption

